

**НОВЫЕ
НАУНОЕМНИЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В ТЕХНИКЕ**

10

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

МОСКВА 1997

ББК 30.61
Н72
УДК 621.81-192(035)

Авторы: К.С. КАСАЕВ, Г.А. ПОЛТАВЕЦ, В.В.БУЛАВКИН,
А.Е. ГРИГОРЬЕВ, А.Б. ГУСЕЙНОВ, Е.П. ЛЕВИТАН,
М.С. НЕЙМАРК, В.А. ПОЛТАВЕЦ, Т.Г. ПОЛТАВЕЦ,
А.К. ПРОКОПЕНКО

Новые наукоемкие технологии в технике:
Н72 Энциклопедия. Т. 10. Системный подход к сложным
техническим объектам / К.С. Касаев, Г.А. Полтавец, В.В.
Булавкин и др.; Под ред. К.С. Касаева. – М., АО НИИ
«ЭНЦИТЕХ», 1997. – стр. 454: илл. 135

Н $\frac{2203000000}{(01)-97}$ Без объявления

ББК 30.61

© АО НИИ «ЭНЦИТЕХ», 1997 г.

С

Системный подход к сложным техническим объектам

«...Моя духовная культура основана на культе Человека в отдельной личности. Веками она стремилась показать Человека, подобно тому как она учила бы видеть собор в груди камней. Она проповедовала Человека, который превосходит отдельную личность...

Потому что Человек моей духовной культуры не определяется отдельными людьми. Напротив, люди определяются им. В нем, как и в любой Сущности, есть нечто такое, чего не могут объяснить составляющие ее элементы. Собор есть нечто совсем иное, нежели просто нагромождение камней. Собор — это геометрия и архитектура. Не камни определяют собор, а, напротив, собор обогащает камни своим особым смыслом. Его камни обогащены тем, что они — камни собора. Самые разнообразные камни служат его единству.

... Нужно восстановить Человека. Он — суть моей культуры. Он — основа моей Общины. Он — источник моей победы.»

Антуан де Сент-Экзюпери (1942)

ПРЕДИСЛОВИЕ

СИСТЕМНОСТЬ В МИРООЩУЩЕНИИ

Перед Вами, читатель, том, посвященный системному подходу к исследованию, созданию и эксплуатации сложных технических объектов, какими являются летательные аппараты и основанные на них большие технические системы. Том, видимо, познавателен и поле-

зен. В нем изложены следующие пять проблем:

- 1) возникновение и история понятия «Система»;
- 2) некоторые вопросы теории технических систем;
- 3) введение понятия «уровень сложности систем»;

4) два направления перехода системы из одного уровня сложности в другой, более сложный, иллюстрируемые примерами;

5) примеры систем и подсистем из ракетно-космической и авиационной техники и технологии.

Во многих работах по системному анализу даются рекомендации, что нужно делать в системных исследованиях. Однако редко встречаются работы, показывающие как это делать на практике. Поэтому обширные и разнообразные примеры служат демонстрации предлагаемых методов системного подхода. Они носят иллюстративный характер.

Но я бы хотел обратить Ваше внимание на то, что создание систем, в частности, высших уровней сложности, требует особенного **системного мироощущения**. И в этой связи позволите высказать идеи, содержание и результаты реализации которых несомненно близки, интересны и затрагивают проблему системности с новой стороны.

Так как в природе человека присутствуют и борются два начала — разрушающее и созидующее, то человек неосознанно стремится и разрушить большую систему и создать ее. И особенно это видно в отношениях между людьми, народами и государствами, т.е. между биологическими и общественными системами разных уровней и классов. Чтобы осознанно возросло созидующее начало, я предлагаю проект, направленный на духовное сближение людей, основанное на узнавании их психологии, их мыс-

лей и взглядов на фундаментальные стороны жизни. **Таким образом, мой проект направлен на создание систем высших уровней сложности.** Суть проекта в следующем.

Раздумывая о судьбах человека, народов и государств, т.е. об истории, настоящем и будущем высших систем, я вижу в качестве одной из главных причин сложившейся на Земле разобщенности — разную психологию, разные взгляды на жизнь, разный уровень взаимной информированности.

Я исхожу из мысли о том, что мы одна единая человеческая семья («*Gens una sumus*»). И все люди связаны между собой, как элементы единой сложнейшей системы. А все, что создало человечество, в том числе, различные религии, идеологии, политические концепции, — изначально предназначалось для того, чтобы подарить людям счастье.

Мне понятно, что средства не должны стоять выше целей, т.е. нельзя методы создания систем ставить выше самих систем. И следует неизбежно сохранять приоритет человечности над материальными интересами и идеологией. В нарушении этого принципа кроется причина возможного самоуничтожения человечества как вида, как высшей разумной системы. Спасение лежит на пути решения общечеловеческих проблем и, в частности, через изменение человеческих отношений.

Мир и полнота жизни возможны только через укрепление чувств-

ва всеобщей ответственности, глубокой озабоченности судьбой всех людей. Иначе говоря, становится очевидным, как в биологических и социальных системах их свойства определяются в большей мере свойствами подсистем. В основе этой идеи лежит, в сущности, простая мысль о равноценности желаний других людей с моими. Каждый из нас должен признать, что каждое живое существо хочет счастья и не хочет страданий ни себе, ни другим. Если же мы с эгоцентрических позиций по-прежнему будем стремиться использовать других в своекорыстных целях, то, кроме лишь временных выгод, мы не достигнем личного счастья. А ведь родиться именно человеком — само по себе необычное событие, поэтому разумно было бы воспользоваться этой возможностью как можно более умело и эффективно.

Все это требует нового подхода к старым проблемам, а значит, и новых методов создания систем. В мире все более растет взаимозависимость, а, значит, в поисках личного своего счастья разумнее было бы думать и о других. Первый шаг большинство людей уже сделало — любовь к своей семье и к своим родным. Теперь надо расширить «семью» за пределы родства, национальности и расширить на всех людей. Это приведет к тому, что я называю «разумной заинтересованностью», которая, можно надеяться, станет выше «ограниченной личной заинтересованности».

Поскольку в начале и в конце нашей жизни мы всецело зависим от добрых чувств других людей, почему же в середине нашей жизни нам не относиться к людям по-доброму? С появлением чувства сострадания проявляется истинная любовь и уважение к другим людям. И тогда личное счастье перестает быть целью своекорыстных усилий: куда большее счастье можно достичь, просто любя других и заботясь о них, всячески помогая. Иначе говоря, никакое свойство подсистемы не может полностью проявиться, если его нет у системы.

Чаще всего ни границы государств или имущественное положение, ни языковой барьер или цвет кожи разделяют людей, а разные мироощущения. Здесь различный информационный тезаурус переплетен с разным пониманием духовных ценностей. Даже принадлежащие к одному народу, к одной партии, к одной религии люди по-разному видят одни и те же явления жизни. Как мало похожих людей внешне, также сильно различаются они и в мыслях. Многообразие, безусловно, главный способ борьбы с энтропией, оно является бесценным богатством, хотя имеет и свои отрицательные стороны. Не зная мыслей и не понимая психологии другого, человек часто строил и строит свои отношения, опираясь на силу (я это называю торжеством «принципа пещеры»).

Строя общественные системы, мы неправильно подбираем эле-

менты, собираем вместе биологические объекты, совершенно по-разному воспринимающие мир. И воздействие силы здесь не помогает, в технике можно объединяемым в систему элементам, придавать новые свойства. В социальных же системах преодолеть несовместимость не удастся, если биологические объекты мыслят и смотрят на жизнь по-разному.

Что же надо сделать, чтобы эффективнее сблизить людей и народы, т.е. объединить биологические объекты в социальные системы? Путь несколько! В Европе, например, предлагают экономическую интеграцию (в какой-то мере на основе силы). Однако традиционно это делается в интересах одних за счет других.

Общим же, всеохватывающим является иной путь — путь, основанный на восприятии мыслей и психологии других людей от них самих. Как это сделать? Я считаю, что настало время и появились технические возможности организовать всемирное обсуждение (например, по телевидению или по радио) принципиальных животрепещущих тем, общих для всех людей и народов. И хотя существуют светские и религиозные передачи, которые смотрят и слушают миллионы, но активными участниками-исполнителями являются лишь десятки или сотни людей. **Новизна предлагаемой идеи** состоит в том, чтобы в таком всемирном обсуждении активными стали миллионы, и чтобы обсуждение

шло не минуты и часы, а многие месяцы.

Итак, я предлагаю:

1. Опираясь на мысль, что мы — члены единой высшей системы и основываясь на принципе «взаимной заинтересованности», начать всемирную целенаправленную долговременную кампанию по сближению людей и народов.

2. Работу по сближению людей и народов осуществлять новым способом — через мироощущение, узнавая мысли и чаяния людей от них самих.

3. Для этого организовать всемирное обсуждение фундаментальных для жизни людей тем.

4. Темы должны быть общими и затрагивать мысли большинства людей.

Что же следует из всего сказанного с позиций рассматриваемой тематики Энциклопедии? Во всех сферах деятельности отдельных людей и коллективов, в частности, при создании больших и сложных технических объектов, которые естественным путем превращаются в человеко-машинные системы, надо стремиться к их системному строительству с наделением их новыми и нужными свойствами. **При этом, наряду с овладением методами системного анализа и синтеза, следует развивать новую психологию, приводящую к новому мироощущению.** Только так удастся уменьшить разрушающее начало в человеке. И в этом смысле даже изложенные в данном томе отступления и приложения фи-

лософского плана, надеюсь, будут интересны, познавательны и поучительны, поскольку они посвящены кардинальным вопросам самой главной системы (**Вселенной**), коренным проблемам информатиологии, космическому мышлению и сознанию. Авторы высказывают надежду, что читатель станет их единомышленником, развивая высказанные здесь идеи и гипотезы, чтобы вместе строить и украшать Собор нашей

Цивилизации. И пусть читатель поймет, что описание некоторых известных ему идей и фактов дано для системной стройности обсуждения проблем.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЭНЦИКЛОПЕДИИ, доктор технических наук, профессор, действительный член Академии технологических наук Российской Федерации

Касаев К.С.

ВВЕДЕНИЕ

Двадцатый век ознаменован научно-технической революцией, его называют разными именами: век кибернетики, век атома, век космоса и т.п. С таким же успехом можно его величать веком системотехники. Бурное развитие авиации, прорыв человека в космос, строительство атомных и гидроэлектростанций, создание мощных информационно-вычислительных центров — все это было бы невозможно без сложнейших изделий машиностроительной, приборостроительной, электронной, энергетической, транспортной и других отраслей промышленности.

Одним из представителей таких изделий является современный **летательный аппарат (ЛА)**, который, будучи сложным системным объектом, требует для своей эксплуатации развитой структуры наземных комплексов. Объединяясь, они образуют **большую техническую систему (БТС)**. Однако параллельно с БТС и ЛА присутствует и другой пласт активно действующих создающих систем, куда входят **большая производственно-технологическая система (БПТС) и большая организационно-экономическая система (БОЭС)**. Действительно, не только завод, но и современная автоматическая линия, испытательный стенд, сборочный цех и т.д. — представляют

сложные технологические объекты, образующие БПТС. За короткий исторический срок человек создал развитую инфраструктуру внешней среды, окружив себя техническими и технологическими **человеко-машинными системами (ЧМС)**, превратив саму среду в некую сложную социальную систему.

Такое нагромождение систем разного типа, их замысловатые переплетения, необозримые связи и многочисленные варианты взаимовлияния существенно затруднили жизнь проектантов, конструкторов, технологов, эксплуатантов. Ощущается острая потребность наведения порядка в этом хозяйстве. У инженеров и ученых возникла необходимость в овладении системными методами. В соответствии с этими насущными требованиями времени в данном томе рассматриваются основные системные вопросы в соединении теории и практики. Здесь представлены материалы по краткой истории (гл.1) и методологии (гл.2) **системных исследований (СИ)**. Уделяется внимание системному принципу в биологических объектах, поскольку живая природа пока явно превосходит самые совершенные творения людей и может служить поставщиком оригинальных проверенных тысячелетиями идей. **Сис-**

темный подход (СП) изучается в диалектической связи материальных и идеальных объектов окружающего нас мира. Делается новый акцент на роли и месте информации как на связующем звене между объектами этих двух типов. В качестве инструмента для снятия возникающих между ними противоречий предложено использовать **конструкторско-технологическое решение (КТР)**. Изучены вопросы формирования, жизненный цикл и проблемы создания БТС. Показано насколько моделирование сложных систем отличается от методов, применяемых к простым объектам. Потребовалась разработка особой методологии построения динамических моделей. С помощью глобальной модели увязываются воедино активные и пассивные системы. Здесь коренным вопросом будет выбор критериев эффективности и оптимальности, которые должны отражать сложность системы, ее особенности.

Теоретические изыскания иллюстрируются на объектах различных иерархических уровней: БТС, ЛА и КТР. Широкий спектр подобранных примеров, заметно отличающихся объектами и решаемыми проблемами демонстрирует разнообразие путей применения СП. В главе 3 с системных позиций рассматриваются самолет и авиационно-транспортная система, ракета и ракетная система, ракета-носитель и космическая система. Применен СП (гл.4) к реше-

нию проблем технологии машиностроения, что позволило выявить КТР в качестве базового элемента изделия. Предложена система **технологически ориентированного проектирования (ТОПР)**. Для оценки эффективности, сравнения и выбора КТР в главе 5 разработаны модели и методический аппарат. Его возможности показаны (гл.6) на примере комплексной технологии производства ракетно-космической техники. Системные методы оказались весьма плодотворными для решения проблем обеспечения надежности и безопасности полетов.

Приводимые в работе весовые и экономические расчеты носят иллюстративный характер и призваны раскрыть все богатство возможностей СП.

Системный анализ (СА) и общая теория систем (ОТС) выходят на уровень некоторой меганауки и приближаются к философии. В сложившейся ситуации СП является одновременно и наукой, и искусством, и соревнованием вариантов БТС, и, наконец, философией. Поэтому в различных главах даны отступления историко-философского плана, которые набраны более мелким шрифтом. Часть материалов по философии и информатологии СИ вынесена в приложение. Литература (отметка * указывает на ее использование при разработке материалов других глав) распределена по главам, в отдельных случаях – по параграфам.

С

Системный подход к сложным техническим объектам

«Талантами измеряются успехи цивилизации, и они же представляют верстовые столбы истории, служа телеграммами от предков и современников к потомству.»

Козьма Прутков

ГЛАВА 1

КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ ИСТОРИИ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. ПРЕДЫСТОРИЯ СИСТЕМНОГО ДВИЖЕНИЯ

Первый этап **системного движения (СД)** можно назвать стихийно-специализированным. Он характеризуется тем, что многие древние философы, ученые, энциклопедисты в своих работах применяли термин «система» и, интуитивно воспринимая системный принцип или подход (СП), использовали его в конкретных теоретических исследованиях и в практической специализирован-

ной деятельности [12,79 и др.]. Но они не ставили цели системного объединения результатов различных наук, создания **общей теории систем (ОТС)**, разработки методологии и инструментария **системного анализа (СА)**, решения других задач, характерных для современного СД. Во всяком случае в явном виде они нигде об этом не заявляли.

Этот «стихийный этап» простирается до начала XX века. Как отмечается в работе [91], история развития **системных исследований**

(СИ) берет начало в период формирования исходных принципов научного познания, когда происходило становление науки в классической Греции V-III вв. до н.э. [П*31,32,39,47,55 и др.]. Историки СД рассматривают в основном исследования за последние сто лет, однако имеются работы, анализирующие и его первый этап [31].

Из дошедших до нас документов следует, что первым, кто метафоризировал слово «система» в качестве научного термина, поставив его в ранг категорийного понятия, был древнегреческий философ-материалист, один из основателей античной атомистики **Демокрит** (около 460-370 гг. до н.э.) [П*39]. Являясь «первым энциклопедическим умом среди греков», он, интуитивно применяя СП, рассматривал *Вселенную как систему бесчисленных миров разных возрастов, изучал физиологию человека и животных, ввел первую классификацию животных, исследовал проблему возникновения жизни в связи с периодами развития Земли, наделял семя в современном понимании генетическими свойствами, высказал идею об отборе и догадку о существовании микроорганизмов, разработал ряд вопросов происхождения языка и грамматики, эстетики и психологии, поэтики и стереометрии.*

Дальнейшая универсализация значения слова «система», наделение его высшим обобщенным смыслом (что позволило приме-

нять его и к природным и к искусственным объектам), осуществлена трудами древнегреческого философа-идеалиста **Платона** (428/7-348/7 гг. до н.э.), ученика одного из родоначальников *диалектики Сократа* (470/469-399 гг. до н.э.). Платон развил дедуктивный метод, обоснованный затем его учеником, впоследствии ученым-энциклопедистом, основоположником *формальной логики Аристотелем* (384-322 гг. до н.э.), который выделял четыре этапа познания: *опыт, искусство, мудрость, знание* [12].

Значение античной философии и науки в создании системного метода и самого понятия «система» отмечено в статье [31]. Там указывается, что важную роль в формировании системного изложения геометрии сыграл древнегреческий математик **Евклид** (III век до н.э.), который в своих «Началах...» подвел итог трехсотлетнему становлению греческой математики и создал фундамент для дальнейшего ее развития [П*55].

Идеи Аристотеля были подхвачены и развиты учеными Востока, среди которых заметно выделяются философ, математик и врач **Абу Али Ибн Сина** (около 980-1037) [П*56], написавший двадцатитомную «Книгу справедливости», где он разрешил 28 тысяч проблем западных и восточных философов, восемнадцатитомную философскую энциклопедию «Книгу исцеления», четыре

тома «Канона врачебной науки», десять томов «Книги по арабскому языку» – всего более 400 трудов, а также его друг, философ и ученый **Абу Райхан Бируни** (973-1048) [П*1,3]. Большой интерес в рассматриваемом плане СД представляют также древнекитайская (включая тибетскую) и древнеиндийская философии [110].

* * *

Среди европейских ученых, внесших заметный вклад в развитие принципа системности и его практическое использование, в первую очередь должны быть названы [29, 42, 43, 45, 59, 65, 96 и др.]:

Роджер Бэкон (1214-1292), Леонардо да Винчи (1452-1519), Микеланджело Буонарроти (1475-1564), Николай Коперник (1473-1543), Фрэнсис Бэкон (1561-1626), Галилео Галилей (1564-1642), Иоганн Кеплер (1571-1630), Рене Декарт (1596-1650), Бенедикт Спиноза (1632-1677), Исаак Ньютон (1643-1727), Готфрид Лейбниц (1646-1716), Вольтер (1694-1778), Карл Линней (1707-1778), Дени Дидро (1713-1784), Этьенн де Кондильяк (1715-1780), Жан де Аламбер (1717-1783), Иоганн Ламберт (1728-1777), Пьер Лаплас (1749-1827), Вильгельм Гумбольдт (1767-1835), Александр Гумбольдт (1769-1859), Грегор Мендель (1822-1884), Анри Ле-Шателье (1850-1936), Альберт Эйнштейн (1879-1955) и др.

Среди отечественных ученых должны быть упомянуты: Ломоно-

сов М.В. (1711-1765), Павлов М.Г. (1793-1840), Лобачевский Н.И. (1792-1856), Зимин Н.Н. (1812-1880), Чебышев П.Л. (1821-1894), Семенов-Тянь-Шанский П.П. (1827-1914), Бутлеров А.М. (1828-1886), Менделеев Д.И. (1834-1907), Столетов А.Г. (1839-1896), Чернов Д.К. (1839-1921), Умов Н.А. (1846-1915), Зелинский Н.Д. (1861-1953), Лебедев П.Н. (1866-1912), Федоров Е.С. (1853-1919), Циолковский К.Э. (1857-1935), Грузинцев Г.Г. (1880-1929), Шмидт О.Ю. (1891-1956) и многие другие.

В своих философских трудах **Иммануил Кант** (1724-1804) писал: «Научное знание есть *система*, в которой *целое главенствует над частями*» или «...Под *системой* же я разумею *единство* многообразных *знаний*, объединенных одной идеей» [59], т.е. он выделял *идеальные системы*.

Георг Гегель (1770-1831) и **Фридрих Шеллинг** (1775-1854) трактовали системность познания как важнейшее требование диалектического мышления [П*18,72]. Много усилий, направленных на соединение «*системности*» и принципа развития, предпринял Гегель, который подчеркивал важность «*иерархичности*», когда любой объект включается в более широкую систему. Эта идея была четко сформулирована им в «Энциклопедии философских наук» (1817), где он писал [П*18]: «*Философствование без системы* не может иметь в себе ничего научного... Всякое содержание получает оправдание лишь

как момент целого, вне которого оно есть необоснованное предположение, или субъективная уверенность... Природа должна быть рассмотрена как система ступеней, каждая из которых необходимо вытекает из другой...»

Французский энциклопедист **Кондильяк** отмечал применительно к искусству и науке: «...*Всякая система есть не что иное, как расположение различных частей... в известном порядке, в котором они все взаимно поддерживают друг друга и в котором последние части объясняются первыми*». В историческом обзоре [43] отмечается, например, необходимость использования при построении ОТС всеобщих принципов дифференциализации и интеграции, еще в 1896-1899 гг. сформулированных **Гербертом Спенсером** (1820-1903). В упомянутом обзоре отмечаются также выступления русского кристаллографа **Федорова Е.С.** (1906) и американского химика **Банкрофта В.** (1911) с идеей универсальности принципа смещения равновесия термодинамической системы **Ле-Шателье** (1884). Федоров в классическом труде «Симметрии правильных систем фигур» (1890) [П*60] разработал стройную систему классификации кристаллов и номенклатуры горных пород, учение об общих законах совершенствования в природе. Кстати, его идеи успешно использовал при разработке метода оптимизации баллистических структур спутниковых систем **Можаев Г.В.** [84],

что лишний раз подтверждает насколько плодотворны оказываются системные идеи, обоснованные в одной из наук, при перенесении их в другие науки.

Известный советский математик и логик **Грузинцев Г.А.** [П*20] сформулировал (1928) вполне современное понятие системы: «...*Всякая система состоит из элементов ее, связанных между собой определенными отношениями, которые образуют в целом лежащий в основе системы синтез*».

* * *

Приведенный список фамилий и цитирование можно было бы продолжить, потому что многие ученые XIX и особенно первой половины XX века разрабатывали отдельные системные идеи, не называя их системными, ибо тогда такой сформировавшейся области знаний, как СИ, еще не существовало. Среди тех, кто разрабатывал системные концепции или отдельные системные принципы, значительное место занимают биологи и близкие к ним специалисты: **Анохин П.К.**, **Белов Н.А.**, **Бернштейн Н.А.**, **Богданов А.А.**, **Вернадский В.И.**, **Дарвин Ч.**, **Докучаев В.В.**, **Завадский М.М.**, **Мечников И.И.**, **Мичурин И.П.**, **Опарин А.И.**, **Павлов И.П.**, **Розенблют А.**, **Сеченов И.М.**, **Тимирязев К.А.**, **Ухтомский А.А.** и др. Но в СД участвуют не только ученые. В начале века появляются фундаментально разработанные теоретически и прекрасно

исполненные на практике «Моя система» у Станиславского К.С. [141], у Нимцовича А.И. [89], у Ласкера Эм. [76].

Специалисты по биологическим и общественным наукам, естественно, первыми столкнулись с необходимостью применения СП в силу сложности изучаемых ими систем. При изучении системных образований неживой природы (космология, молекулярная и атомная физика) также использовался принцип системности. Когда человечество начало создавать машины, объединять их в комплексы, а затем и в системы, тогда же разработчики вынуждены были обратиться к системным методам, которые долго рассматривались как интуитивные, обобщающие опыт и базирующиеся на гениальности ученых и конструкторов.

Так что системотехниками, практически использовавшими системные принципы, были выдающиеся деятели, среди которых можно вспомнить многих наших ученых, конструкторов, организаторов промышленности, внесших большой вклад в развитие отечественной науки и техники. Среди них достойное место занимают Антонов О.К., Артоболевский И.И., Бабакин Г.Н., Бармин В.П., Болховитинов В.Ф., Вавилов Н.И., Вавилов С.И., Ветчинкин В.П., Глушков В.М., Грабин В.Г., Деметьев-П.И., Дегтярев В.С., Жуковский Н.Е., Ильюшин С.В., Иоффе А.Ф., Келдыш М.В., Королев С.П., Котин Ж.Я., Кошкин М.И., Крылов А.Н.,

Кржижановский Г.М., Курчатов И.В., Лавочкин С.А., Лаврентьев М.А., Лебедев С.А., Лебединский Л.С., Мандельштам Л.И., Микоян Ар.И., Мясищев В.М., Орджоникидзе Г.К., Петляков В.М., Пилюгин Н.А., Поликарпов Н.Н., Решетнёв М.Ф., Рязанский М.С., Симонов С.Г., Сухой П.О., Тихонравов М.К., Туполев А.Н., Устинов Д.Ф., Чаплыгин С.А., Челомей В.Н., Шахурин А.И., Шпитальный Б.Г., Шухов В.Г., Юрьев Б.Н., Яковлев А.С. Янгель М.К. и др.

1.2. ЗАРОЖДЕНИЕ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ТЕКТОЛОГИИ БОГДАНОВА

Первой весьма фундаментальной и оригинальной монографией, направленной на разработку системной методологии, является трехтомник **Богданова А.А.** «*Всеобщая организационная наука (тектология)*».

Первое издание «Тектологии» вышло [24] в трех книгах (1913, 1917, 1922), в которых были высказаны идеи, направленные на создание науки об общих законах, действующих в обществе, живой и неживой природе. Некоторые положения тектологии предвосхитили идеи кибернетики (обратная связь, моделирование и др.). Отрицая философию в традиционном смысле, на ее место автор ставил строго научные ценности

[127] , выдвигая свою «организационную диалектику». В противоположность диалектике Богданов предложил теорию равновесия, согласно которой все существующее представляет собой сменяющиеся друг друга состояния подвижного равновесия, устанавливающегося в результате столкновения различно направленных сил. **Тектология различает механизм формирующий и механизм регулирующей системы.** Основой первого является конъюгация (соединение элементов непосредственно или с помощью интрессии, т.е. через посредство какого-либо третьего элемента), а механизмом регулирования является подбор.

Обосновав два универсальных организационных принципа: *формирующего принципа регрессии и регулирующего принципа мирового подбора*, Богданов настойчиво доказывает их универсальность для объектов любой природы [146], рассматривая астрономию, биологию, технику и общество, например: « ...В технике мы нашли «организацию вещей» для человеческих целей; теперь мы находим ее в природе вне человеческих целей. ...Техническая задача в предприятии такова, чтобы *организовать рабочие силы и средства производства в планомерно функционирующую систему*: это организация людей и вещей в целесообразное единство. ... В общем, весь процесс борьбы человека с природою, подчинения и эксплуатации стихийных ее сил есть не что иное, как процесс организации

мира для человека, в интересах его жизни и развития. Таков объективный смысл человеческого труда. ...Еще очевиднее организационный характер назначения и вообще мышления.

...Специализация – необходимый этап в прогрессе форм организационного опыта... Но она имеет и другую сторону, которая с ее развитием выступает все сильнее и резче. Специализация ведет к расхождению методов. ... Многие крупнейшие перевороты, практические и особенно научные, происходили именно путем перенесения методов из одной специальной области в другую.

...Реформа биологии, выполненная Дарвиным, в значительной мере основывалась на примененной идеи борьбы за существование, точки зрения, заимствованной из экономического учения Мальтуса.

...Всю сумму рабочих сил общества – десятки и сотни миллионов разнообразно дифференцированных единиц – придется *стройно связать* в один коллектив, и *точно координировать* со всей наличной суммой средства производства – совокупность вещей, находящихся в распоряжении общества; – причем *в соответствии с этой исполинской системой должна находиться и сумма идей*, господствующих в социальной среде, иначе целое оказалось бы неустойчивым, механическое единение перешло во внутреннюю борьбу. Эта *триединая орга-*

низация – вещей, людей и идей – очевидно не может быть построена иначе, как на основе строгой научной плановости, а именно всего организационного опыта, накопленного человечеством». Здесь Богданов обосновывает подход с позиций сложной **человеко-машинной системы (ЧМС)**, причем умело связывает между собой *материальные и идеальные объекты* (см. рис.2.4.1).

Насколько значительным в СИ является субъективный момент убедительно говорит следующая фраза: «...Сложная и тонкая машина для знакомого с ее устройством человека – высокоорганизованная система; для дикаря – она – хаотическая груда металлических кусочков и пластинок, а когда он видит ее в действии – живое существо.»

Богданов доказывает, что возможен один вывод: для самых различных элементов Вселенной могут быть установлены общие формы организации. Он убежден, что его постановка вопроса отличается тем, что она основана:

1) на выяснении организационной сущности, 2) в полной мере универсальна, охватывая и практические и теоретические методы, и сознательные человеческие, и стихийные методы природы.

Среди основных устанавливаемых им понятий необходимо отметить:

Организованность: «... Во всей деятельности – в труде и мышлении – человечество имеет своим

объектом *различные комплексы, состоящие из разного рода элементов.*

...Как практическое так и познавательное отношение человеческой активности во всевозможных комплексах бывает двоякого рода: разлагающее (аналитическое, дезорганизирующее) и соединяющее (синтетическое, организующее).

Так, вся техническая жизнь заключается в том, что люди своими усилиями разделяют тела внешней природы и приводят полученные их части в новую связь, сообразно своим потребностям. Все познание сводится к разложению фактов опыта на такие или иные элементы и к мысленному сочетанию их, сообразно поставленным теоретическим задачам. Все формы человеческой деятельности; производственной, научной, художественной, как бы ни были они сложны и своеобразны, представляют лишь эти два момента, аналитический и синтетический, в их взаимной смене и сшестении.»

Это прямо выводит на **методы тектологии:** «...Задача тектологии – систематизировать организационный опыт; ясно, что эта наука эмпирическая, и к своим выводам должна идти путем индукции ...*Тектология представляет завершение цикла наук*». Богданов задолго до всех фактически определил место системологии среди других наук (см. рис.2.1.3).

В качестве методологической основы своей теории Богданов выдвигает всеобщий регулирующий механизм (**Принцип подбора в**

практике и в теории), суть которого в следующем: «...Объективный смысл всякой «полезности» есть усвоение человеком энергии из внешней среды; и с этой точки зрения трудовой процесс всегда представляет подбор полезного за счет вредного или бесполезного..., совмещение в труде планомерного подбора объектов с активным их изменением и мешало до сих пор уловить всегда присущий труду момент подбора. ...*Ясно выступают две стороны подбора: его объект, или то, что подлежит подбору, и его деятель, те активности и сопротивления, которые производят подбор.* ...Для техники в целом объект подбора – все бесконечно разнообразные комплексы природы, подбирающий деятель – труд.» Здесь представлено явно современное деление объектов в искусственной ЧМС на пассивные и активные (см. рис.2.4.7).

Тектологическая схема подбора сочетает два его типа: 1) *консервативный* и 2) *прогрессивный*. Свою формулу «затраты-усвоения» (дезассимиляция – ассимиляция) Богданов предложил применять не только в науке, но и для всех жизненных процессов. По существу, это один из современных критериев эффективности БТС (см. параграф 2.6).

Общие выводы содержат основные положения СИ применительно к ЧМС: «...В схеме подбора {рационального выбора – редактор тома} следует различать **три элемента: объект подбора, фактор или**

деятель, и основа подбора. Первичный для человека деятель подбора-это труд; первичный объект активности – сопротивление внешней природы; первичная основа – полезные или вредные человеку свойства объектов (*целеполагание – ред.*).

Консервативный подбор тяготеет к статическим результатам, типом которого являются устойчивые равновесия – простейшая форма организованности, свойственная по преимуществу неорганической природе. **Прогрессивный подбор** есть возрастание или уменьшение суммы элементов комплекта (его активностей – сопротивлений) вследствие преобладания ассимиляции над дезассимиляцией (положительный подбор) или наоборот (отрицательный). **Положительный подбор** изменяет строение комплекса в сторону большей неоднородности элементов и большей сложности внутренних соотношений. **Подбор отрицательный** – в сторону большей однородности элементов, меньшей сложности их связей. **Подбор есть элементарно-всеобщий механизм.**»

Переходя от регулирующего к формирующему механизму, Богданов устанавливает важнейшие принципы и приемы СА {терминология сохранена}:

А – принцип цепной связи; В – схема ингрессии; С – копуляция и конъюгация; D – некоторые частные случаи конъюгационных процессов; Е – конъюгация и ингрессия; F – организационные момен-

ты ингрессии; G – множественная ингрессия; H – некоторые специальные случаи ингрессии; J – ингрессия, эгрессия, депрессия.

В частности, в организационных моментах ингрессии Богдановым отмечается: «Почему ингрессивно-образованная система есть такое целое, которое больше суммы своих частей? Целое больше того, что имеется во всех его частях, вместе взятых, оказывается в двух случаях:

1) разность между конъюгационной суммой активностей и конъюгационной суммой сопротивлений значительнее, чем простая сумма соответствующих разностей для объединяемых комплексов в отдельности;..тогда ингрессия количественно увеличивает перевес активностей над сопротивлениями;

2) конъюгационная сумма специфических активностей превосходит такую же сумму сопротивлений, между тем как в том или другом из объединяемых комплексов отношение обратное – активность меньше сопротивления, тогда ингрессия порождает качественное изменение, повышающее организованность, устраняет дезорганизующий момент. В опыте же имеют значение именно разности. Опыт есть мир разностей, а не абсолютных величин, это выражается в универсальном принципе отнесенности.»

Процитированная выше работа является пионерской, обосновывающей общенаучную концепцию

«Исторически первого развернутого варианта общей теории систем» [146]. Она слишком опередила время, была непонята современниками и забыта. Поэтому часто можно встретить в литературе, что родоначальником современного системного движения является неоднократно подчеркивавший [17, 18] свой приоритет Людвиг фон Бергаланфи (1901-1971), огромный вклад которого в организацию этого движения после войны не вызывает сомнения. Однако приоритет принадлежит не ему, а автору «Тектологии». Это врач (окончил в 1899 г. медицинский факультет Харьковского университета) Александр Александрович Богданов (Малиновский) (1873-1928) – философ, экономист, политический деятель, ученый-естествоиспытатель, писатель-фантаст [П*8-12 и др.].

1.3. УЧЕНИЕ АНОХИНА О ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Теоретические и экспериментальные основы в физиологии и психологии, построенные на новых принципах исследования, обеспечивающих познание деятельности организма как единого целого во взаимодействии с окружающей его средой, разработал и внедрил академик лауреат Нобелевской премии (1904) Павлов И.П. (1849-1936), который создал учение о типах нервной системы, учение об

анализаторах, о локализации функции в коре головного мозга, о сердечно-сосудистой и пищеварительной системах, а также о системности в работе больших полушарий, учение о сигнальных системах (первая – «животная» и вторая – «речь и письмо») [96]. Его работы были продолжены.

Ученик Павлова И.П. и **Бехтерева В.М.** (1857-1927) академик **Петр Кузьмич Анохин** (1898-1974) предложил **теорию функциональных систем**, на основе которой сформулировал общие закономерности эволюционного процесса, представления об опережающем возбуждении и другие новые идеи в биологии. Анохин пошел намного дальше своих учителей, создав оригинальное учение [6-10].

Следует напомнить, что врач Богданов А.А. и биолог Людвиг фон Бергаланфи тоже изучали живую природу. Еще и сейчас человек, создавая технические системы, в их сложности всего лишь приближается по ряду функций к живому организму, а в начале века техника была несравненно проще современной – видимо это и послужило причиной того, что родоначальниками системных исследований стали биологи. Причем Анохин, как и Богданов, опубликовал свои системные идеи (1933-1940) намного раньше, чем Людвиг Фон Бергаланфи (1947) – об этом в работах по СИ обычно не упоминается, хотя уже в 1933 г. Анохин писал [6]:

«...С точки зрения классической рефлекторной теории исследователь всегда ставил перед собой вопрос: каким образом из отдельных рефлексов складывается или интегрируется нервная деятельность, в какие взаимоотношения вступают между собой отдельные рефлекторные дуги и т.д.

С точки зрения развития нервной деятельности и индивидуализации локальных ответных действий эта постановка вопроса не соответствует действительным отношениям в центральной нервной системе.

Очевидно вопрос должен быть поставлен иначе: *каким образом и в системе какого онтогенетически целостного комплекса развивается данный специфический вид нервной деятельности.*

О широком использовании Анохиным системного подхода к биологическим объектам говорят, например, его доклад и статья (1940) [8, 9].

Анохин первым (1935) из физиологов экспериментально доказал и теоретически обосновал, что «...воспринимающие периферические аппараты и рабочие ответственные органы составляют вместе с центральной нервной системой динамическое единство, в котором только для отдельных случаев можно с определенностью говорить о доминировании того или другого». В предисловии к своей книге он дал первое определение такой системы [9]:

«...Под **функциональной системой** мы понимаем круг определенных

физиологических проявлений, связанных с выполнением какой-то определенной функции (акт дыхания, акт глотания, локомоторный акт и т.д.). Каждая такая функциональная система, представляя собой до некоторой степени замкнутую систему, протекает благодаря постоянной связи с периферическими органами и в особенности с наличием постоянной афферентации от этих органов. ...К таким очерченным функциям можно отнести, например, локомоцию, дыхание, глотание, плавание и т.д... Мы считаем, что каждая функциональная система имеет определенный комплекс афферентных сигнализаций, который направляет и корригирует выполнение этой функции. Отдельные афферентные импульсы в данной функциональной системе могут исходить от самых разнообразных и часто топографически удаленных друг от друга органов. Например, при дыхательном акте такие афферентные импульсы идут от диафрагмы, межреберных мышц, легкого, трахеи и т.д., но несмотря на их различное происхождение, эти импульсы объединяются в центральной нервной системе благодаря тончайшим временным отношениям между ними.

«...Состав функциональной системы не может быть определен каким-либо анатомическим принципом. Наоборот, самые разные «анатомические системы» могут принимать участие и объединяются на базе одновременного возбу-

ждения при выполнении той или иной функции организма. ...Основной единицей нервной деятельности...является функциональная система».

Пристальное внимание читателя должно быть обращено на это несколько длинное определение функциональной системы, потому что при разработке современных технических систем, особенно таких как различные САПР технологических процессов или системы «искусственного интеллекта», насущной проблемой является взаимосвязь датчиков и других источников информации с процессами автоматизированных систем. Не менее важны проблемы алгоритмического обеспечения моделей, хотя бы частично приближающихся к уровню деятельности живого организма.

Научное наследие Анохина еще не полностью освоено его учениками-физиологами, тем более интересно инженерам интерпретировать и использовать оригинальные идеи в технических изделиях БТС.

Рассматриваемое определение очень интересно прокомментировал пятьдесят лет спустя Судаков К.В. (ученик Анохина) [142]:

«...В этом определении следует подчеркнуть, что функциональные системы представляют собой замкнутые организации, объединяющие центральные и периферические механизмы на основе постоянной аффектации от периферических органов. Нетрудно заметить, что уже в этой формулировке функцио-

нальной системы был заложен принцип регулирования по конечному эффекту – *кибернетический принцип обратной связи*.

Уместно напомнить, что кибернетика как наука была сформирована (1948) математиком Норбертом Винером (1894-1964), благодаря его творческому содружеству с биологами, как попытка объяснить непонятные явления в системах управления техническими объектами и в живых организмах. Представляя свою ставшую классической фундаментальную книгу [П*17], Винер назвал свой труд итогом более чем десятилетних исследований, предпринятых совместно с нейрофизиологом Артуро Розенблютом, которому он ее и посвятил. Как видим, и здесь не обошлось без биологов.

В работе [10] Анохин подчеркивал (1937): «...Функциональной системой мы называем комплекс нервных образований с соответствующими им периферическими рабочими органами, объединенный на основе выполнения какой-либо вполне очерченной и специфической функции организма.»

Позднее, развивая данное определение, он отмечал (1947) связь эффекта и действия: «...Функциональной системой мы называем всякую организацию нервных процессов, в которой *отдаленные и разнообразные импульсы нервной системы объединяются на основе одновременного и соподчиненного функционирования, заканчивающегося полезным приспособитель-*

ным эффектом для организма. В такой функциональной системе конечный эффект в виде работы каких-либо органов не может быть строго отделен от собственно нервных процессов. Рабочий эффект является по существу для нервной системы новым комплексным стимулом со сложной градацией специфически отдельных импульсов. Следовательно, понятие функциональной системы обязательно включает в себя циклические взаимодействия между центрами и периферией» [10].

Здесь следует отметить в его работах три принципиальных момента:

1) четко сформулированное значение полезного для организма эффекта как *базового звена (элемента)* функциональной системы;

2) *соподчинимость элементов*, образующих функциональную систему, конечному эффекту ее деятельности;

3) живой организм, вырабатывая собственное понятие эффективности, *постоянно контролирует* достижения промежуточных уровней, своевременно *вмешиваясь* на уровне функциональных систем в протекающие процессы.

Относительно системного подхода Анохин отмечал (1968): «... Ни одна организация, сколь обширной она ни была бы по количеству составляющих ее элементов, не может быть названа самоуправляемой системой, если ее функционирование, т.е. взаимодействие частей этой организации, не

заканчивается каким-либо полезным для системы результатом и если отсутствует обратная информация в управляющий центр о степени полезности этого результата...» [10].

Подобная трактовка полностью применима к различным сложным системам: техническим, производственным, организационно-экономическим, социальным и др. Однако здесь часто цели и критерии эффективности регламентируются сверху, из внешней суперсистемы, которая выступает в роли заказчика эффекта и координатора системы. Полезным в этом плане может быть также следующее высказывание Анохина: «...Системой можно назвать только комплекс таких избирательно вовлеченных компонентов, у которых взаимодействие и взаимоотношения принимают характер взаимодействия компонентов для получения фокусированного полезного результата».

По определению Анохина, функциональные системы – это динамические, саморегулирующиеся организации, все составные компоненты которых взаимосодествуют достижению полезных для системы и метаболизма организма в целом жизненно важных приспособительных результатов:

1. Показатели внутренней среды, обеспечивающие различные стороны тканевого метаболизма, такие как реакция рН, уровень $\text{CO}_2\text{-O}_2$, уровень питательных веществ, осмотическое давление,

температура и т.п. Их изменения формируют внутренние биологические потребности организма.

2. Результаты поведенческой деятельности, удовлетворяющие внутренние биологические потребности организма.

3. Результаты зоосоциальной деятельности животных и социальной деятельности человека.

4. Именно указанные результаты выступают в роли ведущих системообразующих факторов.

Природа делает подсказки о построении механизма формирования опережающих конструкторско-технологических решений для будущих перспективных изделий. Используя открытый академиком Ухтомским А.А. (1875-1942) принцип доминанты (1911-1923) [152] и теорию функциональных систем Анохина, можно, например, предложить различные схемы формирования новых КТР и способы их объединения в модули информационного банка, которые рассматриваются ниже.

В качестве резюме приведем общие принципы построения сложных систем, сославшись на книгу, в которой излагаются основы теории функциональных систем живого организма, разработанной Анохиным [142]:

«...Общая теория функциональных систем позволяет с новых позиций исследовать различные проявления живого организма – от его гомеостатических функций до активной целенаправленной деятельности животных и человека во

внешней среде. Несколько ведущих постулатов лежат в основе этой теории:

1) результат деятельности как ведущий, системообразующий фактор;

2) изоморфизм функциональных систем различного уровня;

3) саморегуляция как общий принцип организации этих систем;

4) избирательная мобилизация отдельных органов и тканей в целостную организацию функциональных систем. Взаимодействие отдельных элементов достижению конечных результатов;

5) иерархия функциональных систем;

6) мультипараметрическое регулирование функциональных систем по конечным результатам.

Перечисленные принципы сегодня находят основополагающее применение при разработке ЧМС. Подводя итог, следует особо выделить главную идею Анохина, оригинальность системного подхода которого к живому организму заключается в том, что при исследовании иерархической структуры биологической системы особым является выбор элементов (компонентов). В качестве таковых Анохин не рассматривает традиционные анатомические (вещественные) элементы: мышцы, скелет, нервные клетки или какие-то иные части тела. **На роль элементов живой системы выдвинуты отдельные функции и протекающие процессы в организме.** Отсюда появилось и название «функциональные системы».

О том, что для системотехники метод функциональных систем может оказаться перспективным, говорит пример применения методологии Анохина к построению высоконадежного самолета Ил-86, представленного в виде совокупности функциональных бортовых систем. Плодотворность такого подхода демонстрируется в параграфе 6.1.

1.4. ОРГАНИЗАЦИЯ И СТАНОВЛЕНИЕ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В США

Первым шагом по организации СД в США явилось создание на ежегодном конгрессе (1954) Американской ассоциации развития науки (AAAS – American Association for the Advancement of Science) по инициативе экономиста Боулдинга, биоматематика (известный философ, психолог и специалист по математической биофизике) Рапопорта, физиолога Жерара и биолога Бераланфи (австрийский биолог, эмигрировал в Канаду, затем в США) «Общества общей теории систем» («Society for General System Theory»). Позже его название было изменено на «Общество общих системных исследований» («Society for General System Research»). Оно организовано в целях содействия развитию теоретического анализа систем. Его *главные функции* [17]:

1) исследование изоморфизмов понятий, законов и моделей в раз-

личных областях науки для их переноса из одной дисциплины в другие;

2) способствование построению адекватных теоретических моделей для тех областей науки, где они отсутствуют;

3) исключение дублирования теоретических исследований;

4) выявление единства науки путем установления связей между специалистами в различных научных областях.

Начиная с 1956 г. Общество регулярно издает Ежегодник «General System». Затем был организован выпуск журнала «Mathematical System Theory». Ежегодно обществом проводятся собрания, посвященные обсуждению конкретных тем или проблем СИ. В 1959 г. при Кейсовском технологическом институте (ныне Case Western Reserve University) организован «Центр системных исследований» («System Research Center»), в котором объединились отделы **исследования операций (ИО)**, автоматике и вычислительной техники. Центр (шт. Огайо, Кливленд) проводит симпозиумы с обсуждением актуальных проблем СИ и ОТС, готовит специалистов и ведет исследования по проблемам ОТС, системотехнике, моделированию, практическому приложению теоретических результатов. Весной 1960 г. был созван Первый симпозиум под девизом «*Системы: исследование и синтез*», труды которого были изданы [П*77]. В 1963 г. состоялся Второй

симпозиум под девизом «*Взгляды на общую теорию систем*» [90]. Итоги пятнадцатилетней деятельности Общества подведены в работе [18].

С 1965 г. Американский институт радиоинженеров (IEEE) начал выпускать под редакцией Холла А. непериодическое издание Трудов по системным исследованиям и кибернетике («IEEE Transactions on System Science and Cybernetics»), где обсуждаются конкретные системотехнические проблемы и вопросы математического обоснования систем.

Полученные в США результаты нашли отражение в многочисленной литературе [3, 11, 19, 60, 69, 83, 90, 118, 119, 155, 156 и др.]. Упомянем некоторые из них. Рапорт А. отмечал [114-116], что математическая ОТС на абстрактном языке дает описание *трех аспектов системы: структуры, поведения и эволюции*. Боулдинг К. рассмотрел [П*26] два возможных подхода к построению ОТС. При *первом подходе* изучается эмпирический универсум, выбираются некоторые общие явления, обнаруженные во многих дисциплинах, и строятся модели. Боулдинг приводит ряд примеров применения этого подхода:

1) популяции-совокупности индивидуумов (характерной переменной является их возраст);

2) взаимодействие индивидуума с окружающей средой, поведение которого описывается гомеостатом, работающим на принципе равновесия;

3) развитие индивидуума как важнейший аспект «поведения»;

4) взаимоотношения между индивидуумами (теория связи и информации).

Второй подход заключается в упорядочении теоретических систем и понятий в соответствии с иерархией сложности. Для этих целей Боулдинг предложил следующий порядок расположения уровней:

I. *Статические структуры* или уровень основ (география и анатомия – расположение элементов в системе).

II. *Простые динамические системы* с детерминированными необходимыми движениями или уровень систематического анализа (часовой механизм, простая машина, Солнечная система).

III. *Управляющие механизмы или кибернетические системы* (модель гомеостата), в которых передача и обработка информации составляет основную функцию (сюда можно отнести и БТС. – ред. тома).

IV. *Открытые системы* или самосохраняющиеся структуры (клетка).

V. *Генетические сообщества* (растения; разделение труда между клетками; резкая дифференциация между генотипом и фенотипом, связанная с феноменом «запрограммированного» роста).

VI. *Животные* с повышенной мобильностью и самосохранением.

VII. *Человек*, обладающий свойством самоотражения (он не только знает, но знает, что он знает).

Это, вероятно, связано с феноменом языка и символизма.

VIII. *Социальные организации* (общественные структуры, куда можно отнести и ЧМС – ред.).

IX. *Трансцендентальные системы*, содержащие не поддающиеся анализу абсолюты и неизбежные непостижимости, которым свойственны систематическая структура и определенные взаимоотношения. (Это уровень информационной цивилизации, пока не освоенный человечеством – ред.)

Эшби различает два главных направления СИ [90]:

– в первом выводу делаются на основе эмпирического метода по результатам наблюдения конкретных систем (зоологических, физиологических и т.п.);

– во втором, рассматривая множество «всех мыслимых систем», его сокращают до приемлемых размеров.

Важным классом систем являются «Организации», определяемые Акофом как хотя бы частично самоуправляемые системы, обладающие следующими существенными признаками [3, 90]:

1) в состав элементов системы включены люди (имеется ввиду ЧМС);

2) система обладает структурой, в которой ответственность за принятие решений распределяется между людьми или группами людей (действия классифицируются по функциям, местоположению, времени и т.п.);

3) в системе имеются связи и средства, позволяющие указанным

группам знать и учитывать поведенческие других;

4) используемые в системе процедуры принятия решений (выбора действия) предполагают свободу выбора средств и целей (путей действия и желаемых результатов);

5) в системах предполагается различная степень адаптивности.

Для решения проблем по созданию эффективно организованных систем или улучшения функционирования существующих рассматриваются четыре подхода по направлениям: *содержания, структуры, связи, процедуры выбора.*

При классификации американскими исследователями выделяются следующие естественные системы [44, 64, 90, 155, 156]: а) открытые и закрытые; б) адаптивные; в) стабильные относительно некоторых переменных; г) с обратной связью. Для искусственных систем, обладающих рядом свойств естественных, учитываются и дополнительные: совместимость (гармоничность) при кооперациях; оптимизируемость и др.

1.5. СИСТЕМНОЕ ДВИЖЕНИЕ В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ

Ключевыми предпосылками становления СД и разработок системных методов исследований в СССР на первых порах являлись:

1) интенсивное развитие авиационных и ракетно-космических систем;

2) изучение философами-энтузиастами системного принципа;

3) внедрение математического моделирования;

4) разработка автоматических систем управления ЛА;

5) применение системных методов для повышения надежности и эффективности обслуживания сложных технических систем;

6) становление инженерной психологии и эргономики;

7) применение системного подхода к социологическим системам;

8) внедрение системных моделей и методов в анализ производственных объектов и технологий.

Все это потребовало разработки теоретических основ СИ, обоснования основных положений ОТС, создания методов прикладной математики, алгоритмизации задач, разработки моделей оценки эффективности и т.п. Наибольшее развитие в СССР получило системотехническое направление, давшее солидные практические и теоретические результаты [41, 46-48, 52, 58, 75, 86, 98, 102, 131, 157, 159 и др.]. Они тесно переплелись с работами по кибернетике и информатике. [4, 30, 103, 149, 165 и др.].

Системное движение активно развивалось (помимо Москвы) в Киеве, Ленинграде, Новосибирске, Куйбышеве, Ташкенте, Фрунзе, Горьком и др. городах Советского Союза [6-8, 26, 39, 58, 86, 92, 95, 107, 134, 166 и др.].

Вышло несколько тысяч публикаций, прямо посвященных системным исследованиям. Например,

в работе Дорошенко С.И. исследован массив, включающий 1074 публикаций с 1957 г. по 1974 г. [П*22]. Можно полагать, что значительно большее число работ содержит попутные упоминания и ссылки на системный подход и различные системные идеи. В этом море литературы становится трудно ориентироваться специалистам, а тем более тем, кто желает в своих исследованиях применять системные методы. Поэтому представляется необходимым кратко отметить некоторые из имеющихся работ, выделив из них основные с точки зрения приоритета и ценности полученных результатов, а также с точки зрения рекомендаций для первичного ознакомления тех специалистов, которые собираются использовать методы и достижения системных исследований в своей работе.

Значительные результаты достигнуты при проектировании, оптимизации и создании ЛА и построенных на их базе БТС. В большом ряду публикаций можно упомянуть следующие [51, 61, 80, 81, 94, 129, 130, 135, 143, 144, 148 и др.]. Имеются публикации по другим отраслям [2, 28, 32, 45, 74, 75, 95, 100, 103, 145, 164-165 и др.]. Много сделано специалистами по надежности систем [50, 87, 111, 113, 121, 126, 139, 143, 144, 153 и др.]. Системный подход нашел отражение в исследованиях общественных отношений [13, 20, 34, 35, 37, 45, 62, 65, 71, 154, 163 и др.].

Отработка конструкции изделий на технологичность (управление

технологичностью) с целью повышения эффективности процесса создания новых изделий ведется во многих отраслях промышленности. Серьезные успехи достигнуты в электронике. В машиностроении же этот путь изыскания плодотворных форм сотрудничества конструкторов и технологов еще только начался. Так, на основе системного подхода Афанасьевым В.П. и Селивановым С.Г. предложена математическая модель прогнозирования затрат в производстве в зависимости от показателей технологичности [П*5]. Они же для отбора перспективных конструкторских решений на предварительном этапе проектирования создали методику качественной оценки и отработки изделий на технологичность [П*6]. Для решения оперативных задач управления технологичностью Сыроватченко П.В. предложил концепцию гибкой системы обеспечения [П*59]. Важным переходом от философии к технологиям стало открытие принципа совместности [61-63]. Адамовым А.П. разработан эвристический алгоритм отработки технологичности конструкции [П*2]. Комплексной оценке технологичности разнотипных горных машин с учетом частных показателей посвящена работа Морозова В.И. и Воронина Б.В. [П*42]. Борисов Ю.Д. рассмотрел взаимосвязь выбора эффективных КТР и отработки на технологичность [П*14]. В ряде публикаций содержится предложе-

ния по разработке нормативно-справочной документации для проектировщиков, содержащей упорядоченную технологическую информацию с увязкой к конструкторским решениям. Однако не разработаны предложения по механизму реализации КТР. Вопросам проектирования, выбора оптимального конструкторского решения и технологическим проблемам посвящен ряд работ [1, 16, 27, 40, 54, 82, 122, 133, 134, и др.].

Уже в начале становления системотехники рассматривался вопрос участия человека в большой системе. Этому способствовало интенсивное развитие у нас инженерной психологии и эргономики, восприятие БТС как ЧМС [15, 35, 103, 142 и др.]. Например, Пушкин В.Н. рассмотрел [109] технико-психологические аспекты взаимодействия человека и БТС на примере анализа диспетчерского труда дежурного по железнодорожной станции. На основе экспериментального исследования оперативного мышления человека и учета специфики конкретной деятельности были сформулированы требования к диспетчерским шитам управления. Им рассмотрено и обратное воздействие техники с позиций приспособления человека к технике в условиях управления большими системами. На основе изучения творческой деятельности изобретателей, ученых и шахматистов Пушкин В.Н. исследует соотношение психологии творческого

мышления и эвристического программирования [П*104].

Заметен вклад советских ученых в инженерную психологию, эргономику, в создание систем, обеспечивающих безопасность и жизнедеятельность людей [25, 80, 103, 121, §3-4*2, §3-4*5, §3-4*15 и др.].

Важным для СИ является разработка информационного направления в сложных объектах [38, 53, 67, 72, 151, 164 и др.].

В Советском Союзе по системным исследованиям было издано много книг отечественных и зарубежных авторов, материалов конференций, сборников трудов, курсов лекций, отдельных статей по системному подходу и т.п. В научных журналах и в специальных работах по различным отраслям науки часто упоминалась необходимость применения системного анализа, было защищено несколько докторских и масса кандидатских диссертаций. Получены значительные результаты по общей теории систем [5, 14, 22, 23, 55-57, 63, 66-68, 73, 77, 85, 93, 97-103, 109, 117, 120, 123-125, 128, 132, 135-140, 147-154, 157-166 и др.]. Особо следует упомянуть, что в 1969 г. Институтом истории естествознания и техники АН СССР был выпущен сборник, положивший начало ежегоднику «Системные исследования». Всего вышло 22 тома (1969-92), в которых опубликовано 366 статей [17, 18, 21, 30, 31, 33-35, 49, 91, 114-116, 162 и др.] по разделам:

- философско-методологические проблемы СИ;

- логико-математический аппарат моделирования;
- системный подход в биологии, психологии и педагогике;
- системные идеи в конкретно-научном знании;
- приложение теории систем к исследованию науки;
- приложение к социально-экономическим системам;
- история развития системных исследований и др.

Системные исследования велись (кроме СССР и США) в других странах [36, 70, 78, 88, 104-106, 112 и др.].

Советский Союз принял активное участие в создании Международного института прикладного системного анализа (International Institute for Applied Systems Analysis – IIASA), устав которого подписали 4 октября 1972 г. в Лондоне 12 стран. Научное руководство деятельностью ИИАСА осуществляет Совет Института, который в 1976-87 гг. возглавлял Гвишиани Д.М., а с 1987 г. Михалевич В.С. Это косвенно говорит об успехах советских ученых в СИ и практическом применении системного подхода, которые нашли мировое признание.

ЛИТЕРАТУРА

- *1. Автоматизация системы ТПП в машиностроении//Под ред. Горанского Г.К. — М., Машиностроение, 1976.
- *2. Аганбегян А.Г., Багриновский К.А., Гранберг А.Г. Система моделей народно-хозяйственного планирования. — М., Мысль, 1972.
- *3. Акоф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах. — М., Сов. радио, 1979.
- *4. Андреев Н.И. Корреляционная теория статистически оптимальных систем. — М., Наука, 1966.
5. Андронов А.А., Понтрягин Л.С. Большие системы. — М., ДАН СССР, 1987, том 14.
6. Анохин П.К. Проблемы эмбриогенеза нервной деятельности. — М., «Успехи современной биологии». 1933, том 2, вып. 6, стр.40—69.
7. Анохин П.К. Проблемы центра и периферии в современной физиологии нервной системы. — В кн.: Проблемы центра и периферии в физиологии нервной деятельности./ Горький, 1935, стр. 9—70.
8. Анохин П.К. Проблемы локализации с точки зрения системных представлений о нервных функциях. — М., «Невропатология и психиатрия», 1940, том 9, вып.6, стр. 31—44.
9. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. — М., Медицина, 1975.
10. Анохин П.К. Философские аспекты теории функциональной системы. Избр. труды, — М., Наука, 1978.
- *11. Аоки М. Оптимизация стохастических систем. — М., Наука, 1971.
12. Аристотель. Метафизика. М—Л., 1934.
- *13. Афанасьев В.Г. Общество: системность, познание и управление. — М., Политгиздат, 1981.
- *14. Ахундов М.Д. Концепции пространства и времени: истоки, эволюция, перспективы. — М., Наука, 1982.
- *15. Батуев У.А. Высшие интегративные системы мозга. — М., Наука, 1967.
- *16. Белянин П.Н., Илзон М.Ф., Жогин А.С. Гибкие производственные системы. — М., Машиностроение, 1988.
17. Берталанфи Л. Общая теория систем — обзор проблем и результатов. — М., «Системные исследования», 1969, 30—54.
18. Берталанфи Л. История и статус общей теории систем. — М., «Системные исследования», 1973, 20—32.
- *19. Биркгоф Д. Теория структур. — М., ИИЛ, 1952.
20. Блауберг И.В. Проблемы целостности в марксистской философии. — М., 1963.
21. Блауберг И.В. Целостность и системность. — М., «Системные исследования», 1977, стр.5—28.
22. Блауберг И.В., Садовский В.Н., Юдин Э.Г. Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности. — М., 1969.
23. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. — М., 1973.
24. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука (тектология). — СПб, ч.1, 1913, ч.2, 1917; 2-ое изд. — М.—Берлин, 1922; 3-ье изд., Л.—М., Книга, ч.1, 1925, ч.2, 1927, ч.3, 1929; М., Экономика, /отв. ред. Абалкин Л.И., кн.1—2, 1989.
25. Богданов А.А. Борьба за жизнеспособность. — М., 1927.

- *26. Бройло Н.Ф. Экономическая эффективность при проектировании промышленных систем автоматизации. — Ленинград, Стройиздат, 1969.
- *27. Булгаков А.А. Программное управление системами машин (от фрезерного станка до завода-автомата). — М., Наука, 1980.
- *28. Бурков В.Н., Ириков В.А. Модели и методы управления организационными системами. — М., Наука, 1994.
29. Бэкон Ф. Соч. в 2-х томах. — М., 1977—78.
30. Гаазе—Рапопорт М.Г. Кибернетика и теория систем. — М., «Системные исследования», 1973, 63—75.
31. Гайденко П.П. У истоков понятия системы (проблема единого и многого в философии Платона). — М., «Системные исследования», 1979, 358—378.
32. Гвишиани Д.М. Организация и управление. 2-ое изд. — М., 1972.
33. Гвишиани Д.М. Материалистическая диалектика — философская основа системных исследований. — М., «Системные исследования», 1979, 7—28.
34. Гвишиани Д.М. Теоретико-методологические основания системных исследований и разработка проблем глобального развития. — М., «Системные исследования», 1982, 7—25.
35. Геловани В.А. Человеко-машинная система моделированы процессов глобального развития. — М., «Системные исследования», 1980, 155—173.
36. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. — М., Мир, 1973.
- *37. Глушков В.М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС. — М., Статистика, 1975.
- *38. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. Изд. 2-е, — М., Наука, 1987.
- *39. Голенко Д.И., Лифшиц С.Е., Кеслер С.Ш. Статистическое моделирование в технико-экономических системах (управление разработками). — Ленинград, 1977.
- *40. Горанский Г.К., Бондарева Э.И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. — М., Машиностроение, 1981.
- *41. Дабаян А.В. Проектирование технических систем. — М., Машиностроение, 1986.
42. Декарт Р. Избранные произведения. — М., Госполитиздат, 1950.
43. Де Кондильяк Э.Б. Трактат о системах, в котором вскрываются их недостатки и достоинства. — М., 1938.
- *44. Джонсон Р., Каст Ф., Розенцвейг Д. Системы и руководство (теория систем и руководство системами). Изд. 2-е, доп. Пер. с англ. (1967), М., Сов.радио, 1971.
45. Диалектика в науках о природе и человеке. — Труды 3-го Всесоюзного совещания по философским вопросам современного естествознания (22—24 апреля 1981, Москва). Кн. 1—4. — М., Наука, 1982.
46. Добролюбов А.И., Акунович С.М. Автоматизация проектирования систем управления технологическими машинами. — М., Машиностроение, 1974.
47. Довбня Н.М., Юревич Е.И. Построения и этапы проектирования роботизированных технологических комплексов. — В сб.: Управление робототехническими системами и их обслуживание. — М., Наука, 1983, стр. 211—216.
- *48. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. — М., Наука, 1972.
49. Емельянов С.В., Напельбаум Э.Л. Системы, целенаправленность, реф-

лекция. — М., «Системные исследования», 1981, 7—38.

*50. Елифанов А.Д. Надежность автоматических систем. — М., Машиностроение, 1964.

*51. Елифанов А.Д. Избыточные системы управления ЛА. М., Машиностроение, 1978.

*52. Жимерин Д.Г., Мясников В.А. Автоматизированные и автоматические системы управления. — 2-е изд., перераб. и доп. — М., Энергия, 1979.

*53. Информационная система промышленного предприятия. — М., Прогресс, 1977.

54. Исаченко В.А., Касаев К.С. О методологии развития технологий. М., «Вестник машиностроения», 1990, №5, 7—9.

*55. Казаков И.Е. Статистическая теория систем управления в пространстве состояний. — М., Наука, 1975.

*56. Казаков И.Е., Мальчиков С.В. Анализ стохастических систем в пространстве состояний. — М., Наука, 1983.

*57. Калашников В.В. Качественный анализ поведения сложных систем методом пробных функций. — М., Наука, 1978.

*58. Камиллов Ш.А. Автоматизация управления и прогнозирования отраслей промышленности. АН Узб. ССР, НПО «Кибернетика» / — Ташкент, Фан, 1984.

59. Кант И. Сочинения в шести томах. — М., 1963—66.

*60. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. — М., Мир, 1980.

61. Касаев К.С. Принципы и методология испытаний на герметичность. — М., «Дефектоскопия», 1980, №11, 42—44.

62. Касаев К.С. О принципах научно-технического творчества. — М., «Вопросы изобретательства», 1987, № 9, 45—49.

63. Касаев К.С. О свойствах объектов с позиций синергизма. — М., «Вестник машиностроения», 1991, №3, 7—8.

*64. Квейд Э. Анализ сложных систем. — М., Сов. радио, 1969.

*65. Кедров Б.М. Классификация наук. Прогноз К.Маркса о науке будущего. — М., Мысль, 1985.

*66. Колмаковский В.Б., Носов В.Р. Устойчивость и периодические режимы регулируемых систем с последствием. — М., Наука, 1981.

*67. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. — М., Наука, 1987.

*68. Костенко В.И., Столяров Ю.С. Модель и машина. — М., ДОСААФ, 1981.

*69. Кости Д.Ж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы. — М., Мир, 1982.

70. Котарбинский Т. Избранные произведения. Пер. с польск. — М., ИИЛ, 1963.

71. Кузьмин В.П. Принцип системности в теории и методологии К.Маркса. — М., Политиздат, 1976.

72. Кузьмин И.В., Кедров В.А. Основы теории информации и кодирования. Киев, издательское объединение «Вища школа», 1977.

*73. Куликовский Р. Оптимальные и адаптивные процессы в системах автоматического регулирования. Пер. с польского Д.И.Иорданского. — М., Наука, 1967.

74. Ладенко И.С. Логические проблемы системного анализа трудовых ресурсов. — Новосибирск, 1975.

*75. Лазарев И.А. Композиционное проектирование сложных агрегативных систем. — М., Радио и связь, 1986.

76. Ласкер Эм. Учебник шахматной игры. 6-е изд. — М., Физкультура и спорт, 1980.

*77. Ляфшиц А.Л., Мальц Э.А. Статистическое моделирование систем

массового обслуживания. — М., Сов. радио, 1976.

*78. **Ложе И.** Информационные системы. Методы и средства. Пер. с франц. под ред. К.Л.Гоффана. — М., Мир, 1979.

79. **Луcreций К.Т.** О природе вещей. В двух томах. М.—Ленинград, 1946—47.

*80. **Малоземов В.В., Кудрявцева Н.С.** Системы терморегулирования космических аппаратов. — М., Машиностроение, 1985.

*81. **Малышев В.В., Красильников М.Н., Карлов В.И.** Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов. — М., Машиностроение, 1989.

*82. **Малышев Н.Г., Суворов А.В., Верба В.С.** Методы проектирования моделей ГАП. — Ростов-на-Дону, Издательство Ростовского университета, 1987

83. **Месарович М.** Теория систем и биология. — М., Мир, 1971.

84. **Можаяев Г.В.** Задача о непрерывном обзоре Земли и кинематически правильные спутниковые системы. — М., «Космические исследования», 1972, том 10, вып. 6.

*85. **Мороз А.И.** Курс теории систем. — М., Высшая школа, 1987.

*86. **Набиев О.М., Нусратов Т.С.** Системное проектирование в технологической подготовке машиностроительного производства. — Ташкент, Фан, 1980.

*87. **Нечипоренко В.И.** Структурный анализ систем (эффективность и надежность). — М., Сов. радио, 1977.

88. **Николис Г., Пригожин И.** Самоорганизация в неравновесных системах (от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации). — М., Мир, 1979.

*89. **Нямцович А.И.** Моя система. Пер. с нем. — М., Физкультура и спорт, 1984.

*90. **Общая теория систем.** — М., Мир, 1966.

91. **Огурцов А.П.** Этапы интерпретации системности научного знания (античность и новое знание). — М., «Системные исследования», 1974, 154—186.

92. **Олдрин В.М., Картанов С.С.** Морфологический анализ систем. — Киев, Наукова думка, 1977.

93. **Опойцев В.И.** Нелинейная системостатика. — М., Наука, 1986.

*94. **Основы синтеза систем летательных аппаратов.** // Под ред. Лебедева А.А. — М., Машиностроение, 1987.

95. **Павлов В.Н.** Межотраслевые системы. Математические модели и методы. — Новосибирск, Наука, 1986.

96. **Павлов И.П.** Полное собрание сочинений. Тома 1—6. — М., 1951—52.

*97. **Первозванский А.А.** Случайные процессы в нелинейных автоматических системах. — М. Гос. изд. физ.—мат. лит., 1962.

*98. **Первозванский А.А.** Математические модели в управлении производством. — М., Наука, 1975.

*99. **Первозванский А.А., Гайцгоря В.Г.** Декомпозиция, агрегирование и приближенная оптимизация. — М., Наука, 1979.

*100. **Перельман А.И.** Биокосные системы Земли. — М., Наука, 1976.

*101. **Попков Ю.С., Посохин М.В., Гутнов А.Э., Шмульян Б.Л.** Системный анализ и проблемы развития городов. Под ред. Емельянова С.В. — М., Наука, 1983.

*102. **Попов Е.П.** Робототехника и гибкие производственные системы. — М., Наука, 1987.

103. **Поспелов Д.А., Пушкин В.Н.** Мышление и автоматы. М. 1972.

104. **Пригожин И.** Введение в термодинамику необратимых процессов. — М., ИИЛ, 1960.

105. Пригожин И. Неравновесная статистическая механика. — М., Мир, 1964.
106. Пригожин И. Дефей Р. Химическая термодинамика. — Новосибирск, Наука, 1966.
- *107. Прохоренко В.Г. Методологические принципы общей динамики систем. Минск, 1969.
- *108. Пуарье Д. Эконометрия структурных измерений (с применением сплайн-функций). Пер. с англ. 1976. — М., Финансы и статистика, 1981.
109. Пушкин В.Н. Оперативное мышление в больших системах. М—Л, Энергия, 1965.
110. Радхакришнан С. Индийская философия. Тома 1—2. 1956—57.
- *111. Райкин А.Л. Элементы теории надежности для проектирования технических систем. — М., Сов. радио, 1967.
- *112. Райншке К. Модели надежности и чувствительности систем. Пер. с нем. — М., Мир, 1979.
- *113. Раков А.И. Надежность радиорелейных систем связи. — М., Связь, 1971.
114. Рапопорт А. Различные подходы к общей теории систем. — М., «Системные исследования», 1969, 55—79.
115. Рапопорт А. Принцип математического изоморфизма в общей теории систем. — М., «Системные исследования», 1973, 158—172.
116. Рапопорт А. Различные подходы к построению общей теории систем: Элементаристский и организмический. — М., «Системные исследования», 1983, 42—60.
- *117. Растринин Л.А. Системы экстремального управления. — М., Наука, 1974.
- *118. Ритс Дж.П. Производственные системы: планирование, анализ и контроль. — М., Прогресс, 1972.
- *119. Роберто Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. Пер. с англ. под ред. А.И. Теймана. — М., Наука, 1986.
- *120. Рудвик В.Н. Военное планирование и анализ систем. — М., Воениздат, 1972.
- *121. Руленко Ю.Н., Ушаков И.А. Надежность систем энергетики. — М., Наука, 1986.
- *122. Рыбальский В.И. Проектирование и создание больших производственных систем. — М., Экономика, 1971.
123. Сагатовский В.Н. Опыт построения категориального аппарата системного подхода. — М., «Философские науки», N 3, 1976.
124. Садовский В.Н. Основания общей теории систем. — М., Наука, 1974.
- *125. Саркисян С.А., Ахундов В.М., Минаев Э.С. Анализ и прогноз развития больших технических систем. — М., Наука, 1983.
- *126. Севериев Н.А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке: Учеб. пособие для вузов. — М., Высш. школа, 1989.
127. Сетров М.И. Об общих основаниях тектологии Богданова, кибернетики и теории систем. «Ученые записки кафедр вузов Ленинграда. Философия», вып. 8, — Л., 1967.
128. Сетров М.И. Общие принципы организации систем и их методологическое значение. — М., 1971.
- *129. Сильверстов С.Д., Васильев В.В. Структура космических измерительных систем. — М., Сов. радио, 1979.
- *130. Сняжков А.Н., Шаймарданов Ф.А. Системы автоматического управления ЛА и их силовыми установками: Учебник для студентов высших технических учебных заведений. — М., Машиностроение, 1991.

*131. Системное проектирование интегрированных АСУ ГПС машиностроения. Под общ. ред. Ю.М.Соломенцева и др. — М., Машиностроение, 1988.

*132. Системный анализ механизмов поведения. Под ред. Судакова К.В. и др. — М., Наука, 1979.

133. Системный анализ технологических процессов. Тезисы докл. отрасл. НТК. Смоленск, ЦООНТИ ЭКОС Мин. пром. средств связи СССР, 1977.

134. Системный подход в совершенствовании ТПП.— Материалы НТК, ред. Скворцов Т.П./ — Горький, 1973.

*135. Скляров И.Ф. Методология системных исследований. — М., Изд-во МАИ, 1995.

*136. Скорняков Л.А. Элементы теории структур. — М., Наука, 1970.

*137. Снапелев Ю.М., Старосельский В.А. Моделирование и управление в сложных системах. — М., Сов. радио, 1974.

*138. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. — М., Высш. школа, 1985.

*139. Справочник. Надежность технических систем. Под ред. проф. И.А.Ушакова. — М., Радио и связь, 1985.

*140. Стабни И.Т., Моисеева В.С. Автоматизированный системный анализ. — М., Мащ, 1984.

*141. Станиславский К.С. Об искусстве театра. Избранное.—М.,ВТО, 1982.

142. Судаков К.В. Общая теория функциональных систем. — М., Медицина, 1985.

*143. Судаков Р.С. Испытания технических систем: Выбор объемов и продолжительности. — М., Машиностроение, 1988.

*144. Судаков Р.С., Тёскин, О.И. Испытания технических систем и их элементов. — М., Знание, 1980.

*145. Сыроежкин И.М. Основы теории хозяйственных систем. — Ленинград, ЛГУ, 1974.

146. Тахтаджян А.Л. Тектология: история и проблемы. — М., «Системные исследования», 1972, 270—278.

*147. Теория прогнозирования и принятия решений. // Под ред. С.А. Саркисяна.— М., Высш. школа, 1977.

*148. Тепловое проектирование систем: Сб.науч. тр. под ред. Панкратова Б.М. — М., Изд-во МАИ, 1990.

149. Тютин В.С. Отображение, системы, кибернетика (теория отражения в свете кибернетики и системного подхода). М., Наука, 1972.

150. Уёмов А.И. Вещи, свойства, отношения. М., АН СССР, 1963.

*151. Урсул А.Д. Информация. Методологические аспекты. — М., «Наука», 1971.

152. Ухтомский А.А. Доминанта. М—Л., Наука, 1966.

*153. Ушаков И.А. Построение высоконадежных систем. — М., Знание, 1974.

154. Фофанов В.П. Социальная деятельность как система.— Новосибирск, Наука, 1981.

*155. Холл А.Д. Опыт методологии для системотехники.—М., Сов. радио, 1975.

*156. Хорасфас Д.Н. Системы и моделирование. — М., Мир, 1967.

*157. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование.// — 2-е изд., перераб. и доп.— М., Энергоатомиздат, 1985.

*158. Цвиркун А.Д. Структура сложных систем. — М., Сов. радио, 1975.

159. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. — М., Физматгиз, 1963.

*160. Чураков Е.П. Оптимальные и адаптивные системы. — М., Энергоатомиздат, 1987.

*161. Шаракпанэ А.С., Железнов И.Г., Ивинский В.А. Сложные системы. — М., Высшая школа, 1977.

162. Юдин Б.Г. Системные представления в функциональном подходе. — М., «Системные исследования», 1973, 108–126.

163. Юдин Э.Г. Системный подход к принципам деятельности. — М., Наука, 1978.

*164. Юзвипин И.И. Методы анализа и синтеза информационно-вычислительных систем бытового обслуживания. — М., Легк. и пищ. пром-сть, 1984, 200.

*165. Юзвипин И.И., Полтавец Г.А. Особенности создания и развития многоканальной информационно-вычислительной системы массового обслуживания Вычислительного центра коллективного пользования службы быта Мосгорисполкома. В сб.: Технический прогресс на предприятиях бытового обслуживания в свете решений XXVI съезда КПСС. — М., 1982.

*166. Юсупбеков Н.Р., Адылов А.А., Кухтенков И.П. Системы и управление. Динамические системы. (отв. ред. Кабулов В.К., НПО «Кибернетика» АН Узб. ССР). — Ташкент, Фан, 1984.

«Наука — это неустанная многовековая работа мысли свести вместе посредством системы все познаваемые явления нашего мира»

Альберт Эйнштейн

ГЛАВА 2

МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. СПЕЦИФИКА СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основным моментом любой методологии является четкая постановка задачи, которая предполагает выявление в процессе познания тройки: «объект-образ-модель» (рис.2.1.1). Более сложным (чем познание) выступает процесс преобразования мира (рис.2.1.2). Чтобы понять особенности системной методологии, следует учитывать особую роль и место СИ, найти их «нишу» среди других наук. Поскольку природа СИ междисциплинарная, их место установлено над другими науками, как это показано на рис.2.1.3 [63]. Таким образом, СИ несут прежде всего метаметодологическую нагрузку, «строя мосты» между философией и конкретно-прикладными наука-

ми. Такая констатация близка к мнению, согласно которому соотношение системных исследований и философии определяется следующим образом [П*61]: «... диалектический материализм — это целостное мировоззрение и научная методология, а системный подход одна из его граней..., разработка принципов системного подхода есть по существу развитие одной из граней теории и методологии диалектического и исторического материализма».

Как отмечено в работе [27], современная наука оказывается «трехслойной». Первый наиболее фундаментальный слой отведен философии. Третий слой представляет собой совокупность всех частных наук (физика, химия и т.д.), изучающих объекты и способы их взаимодействия в пределах



Рис.2.1.1. Методологическая схема научного познания мира

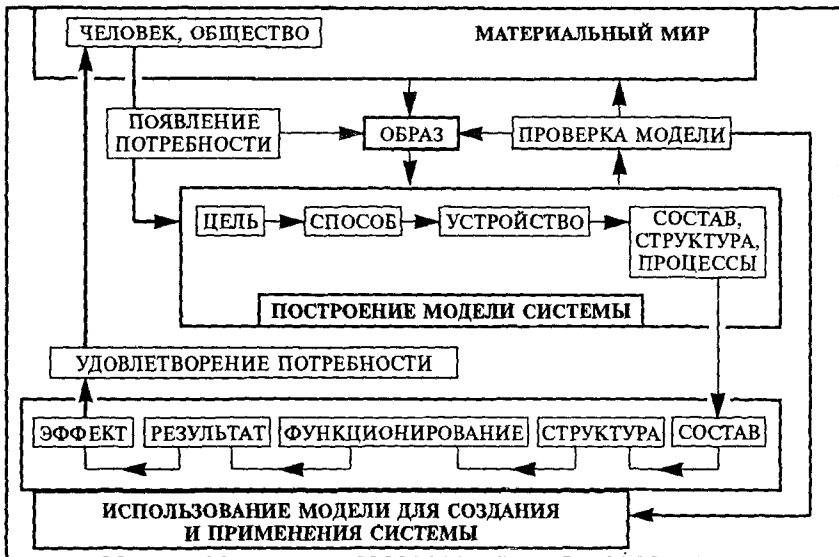


Рис.2.1.2. Методологическая схема преобразования объектов мира

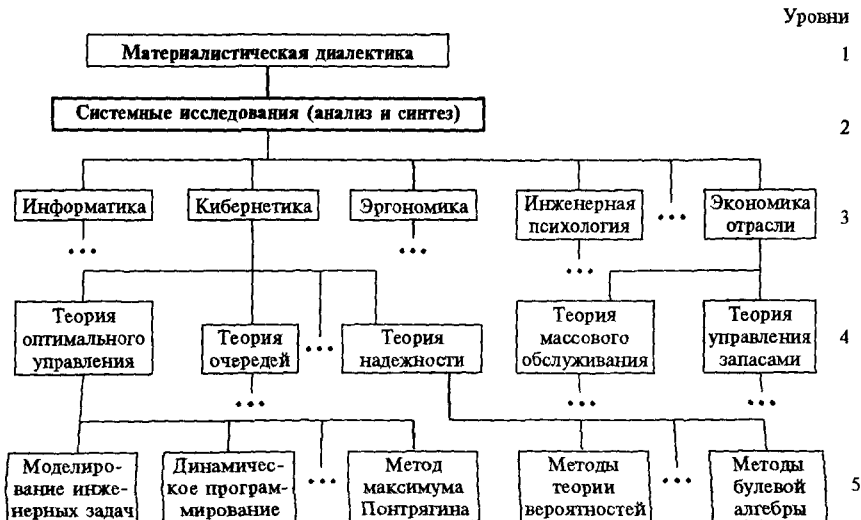


Рис.2.1.3. Иерархия инструмента исследований сложных человеко-машинных систем по уровням:

1 - философия; 2 - методология; 3 - наука; 4 - теория; 5 - методы.

какой-то одной основной формы движения материи или ее фрагмента. Между этими двумя слоями образовался третий «слой» научного знания, представленный системными направлениями. Подобное место отводил для своей телеологии Богданов А.А. [П*11].

Следует выделить моменты, определяющие разработку теоретических основ системного метода (общей теории систем) и выбор математического аппарата (других применяемых методов) [1-17, 24-28, 34, 35, 40-56, 61-68, 70-75, 78-83 и др.], к которым ведут:

а) жизненные потребности конкретных практических приложений,

б) необходимость разрешения философских проблем бытия.

Для этого при описании системных объектов необходимо учитывать:

а) фиксацию настоящего $S_{\text{наст}}(t_{\text{наст}})$ момента-состояния (или привязанного к временному интервалу) объекта, описываемого его *составом и структурой*;

б) переход из одного состояния $S_m(t_m)$ в другое состояние $S_{m+1}(t_{m+1})$, описываемый совокупностью *функциональных процессов*;

в) *жизненный цикл*, обозначающий на шкале времени упомянутые состояния и переходы.

Переход из состояния S_m в S_{m+1} удобно представлять произошедшими в объекте изменениями, которые могут касаться:

а) состава элементов и их количества;

б) связей между ними (внутренней структуры);

в) количества и пропускной способности входов и выходов;

г) функций, осуществляемых объектом относительно внешней среды;

д) функций, обеспечивающих процессы внутри объекта.

Главный вывод из приведенных схем и рассуждений (часть из которых вынесена в приложение) заключается в *признании факта параллельного существования двух миров: материального (вещного) и идеального (образно-знакового)*. Следовательно, существуют материальные и идеальные объекты, а, значит, из них можно составлять соответствующие системы. СИ представляют по сути дела постоянно повторяющийся своеобразный цикл превращения материального в идеальное, а затем на новом уровне идеального в материальное (реальное). Этот процесс совмещения происходит так же как и диалектическое объединение теории и практики.

Установив, что в природе имеются материальные и идеальные объекты, отметим их общность. Каждый объект состоит из отдельных частей, обладает различными свойствами, взаимодействует (находится в некоторых отношениях) с другими объектами той же или иной природы. Понятие состояния (S_{m+1}) условно фиксирует свойства и отношения объекта в некоторый момент времени (t_{m+1}) в заданной области пространства.

Объект перемещается в пространстве, изменяя свои свойства и отношения во времени. Такие изменения называются процессами. **Совокупность процессов представляет функционирование объекта во времени и в пространстве.**

В системе координат « n -мерное пространство-время» (E^n-t) объект, переходя из точки A_1 в точку A_2 , меняет свои свойства $\{a_i\}$ и отношения с другими объектами (B, V, Γ, \dots):

$$\{b_{AB}, b_{BA}, b_{AV}, b_{VA}, b_{AG}, b_{GA}, \dots\}. \quad (2.1.1)$$

В совокупности эти изменения определяют переход из A_1 в A_2 , который сопровождается процессами изменения:

- местоположения каждой части объекта (поступательно-вращательное движение) с относительным перемещением (деформация объекта);
- количественных характеристик отдельных свойств;
- количества взаимодействующих объектов;

– количества отношений с этими объектами;

– «силы» этих отношений.

Поскольку функционирование происходит во времени, то его удобно описать цепочкой последовательных состояний (рис.2.1.4). В какой-то конечный момент времени (t_n) жизненного цикла объекта изменения определяющих свойств могут достичь таких значений, что он перестанет наблюдаться в заданном классе, например: испаряется вода, и жидкость становится паром; жидкий металл в форме превращается в твердую заготовку и т.п. Таким образом, «умирает» (преобразуется) старый (A_1) и «возникает» (рождается) новый (A_n) объект, который исследуется уже другими способами, средствами, специалистами. В естественной природе схема этого перехода проста и включает только материальные объекты (рис.2.1.5). При изучении таких явлений заметная роль отводится науке, которая в общем случае решает задачи в следующих направлениях:



Рис.2.1.4. Динамика изменения системы

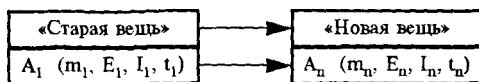


Рис.2.1.5. Схема «рождения» нового объекта

- поиск неизвестных объектов;
- раскрытие неизвестных свойств объекта или уточнение известных с целью расширения объема информации об объекте, собранной в его образе;
- то же об отношениях (процессах) между объектами окружающего мира;
- то же о процессах внутри объекта.

Эволюция системных объектов сложна и многогранна, она происходит:

- от дифференциации на элементы к интеграции;
- от координации к субординации, иерархический ряд объектов выступает как восходящий от низшего к высшему, от простого к сложному, отражая принцип развития;
- от субъективности к объективности, когда в качестве обоснования классификации выступают связи самих явлений окружающего мира;
- от разрозненности подходов к междисциплинарности, приводящей к комплексному многоаспектному подходу;

- от однолинейности к многоуровневости;
- от замкнутости объектов к их взаимодействию;
- от сепаратизма объектов к глобальности суперсистем;
- от функциональности к субстратности;
- от множественности наук к единой системологии;
- от одномерности к многомерности.

В искусственной природе создаваемых человеком вещей эта схема обновления мира (наблюдение – анализ – синтез) существенно сложнее и включает, кроме материальных, идеальные объекты (рис.2.1.6). Особенность сложной схемы на рис.2.1.6 в отличие от простой (рис.2.1.5) заключается в наглядной иллюстрации принципа совмещения материальных и идеальных объектов в практической деятельности человека.

Специалист в любой области науки интуитивно всегда понимает насколько в нашем смысле существенно отличаются объекты от их образов и их моделей, которыми он старается описать важные для него в данный момент свойства и

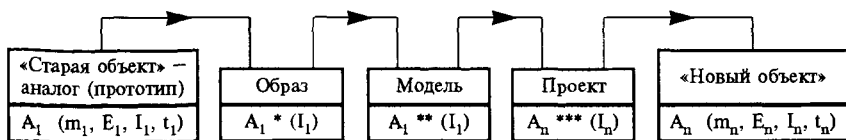


Рис.2.1.6. Динамика изменения мира человеком (создание системы)

отношения. Взаимосвязи объекта, образа и моделей показаны на рис.2.1.7. Отличия между составляющими этой святой для ученого

троицы (объект-образ-модель) иллюстрируются сравнением схем на рис.2.1.8, рис.2.1.9 и рис.2.1.10. Легко заметить, что палитра опи-

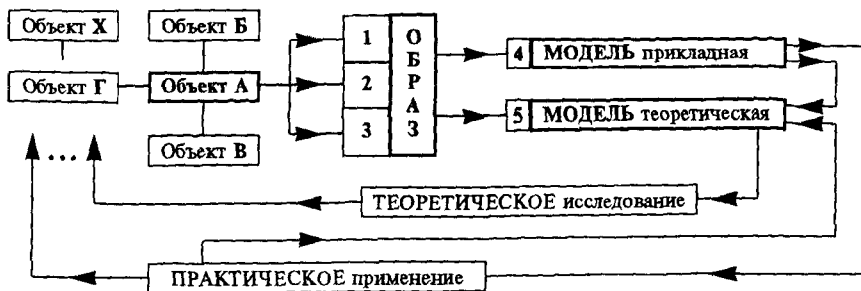


Рис.2.1.7. Взаимосвязь объекта, образа и моделей:

- 1 - расширение объема знаний о свойствах объекта А путем раскрытия неизвестных и уточнения известных;
- 2 - выявление новых отношений и раскрытие старых связей с известными объектами Б, В, Г;
- 3 - выявление новых объектов (Х) взаимодействия и связей с ними;
- 4 - формирование и использование моделей для конкретных целей;
- 5 - формирование и использование моделей-гипотез для прогнозирования и поиска новых объектов (Х), отношений, свойств.

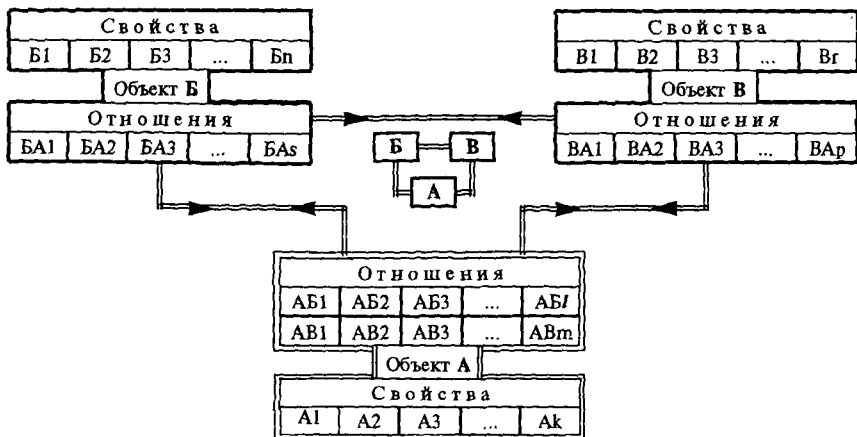


Рис.2.1.8. Схема взаимодействия объекта А с объектами Б и В.

сания беднеет от объекта к модели: уменьшается количество свойств и отношений, а также степень их «чёткости и проработанности». Совместный анализ схем на рис.2.1.8, рис.2.1.9 и рис.2.1.10 показывает, что в творческом процессе, изображенном на рис.2.1.6, происходят два главных изменения. Во-первых, мощности мно-

жеств $\{A, AB, AV, B, BA, V, VA\}$, обозначенные на рис.2.1.8 (k, l, m, n, s, r, p), весьма существенно уменьшаются при переходе от объекта A к образу A^* . Затем при переходе от A^* к модели A^{**} это уменьшение еще усиливается. Действительно, количество свойств и отношений, существующих реально в объекте, известных

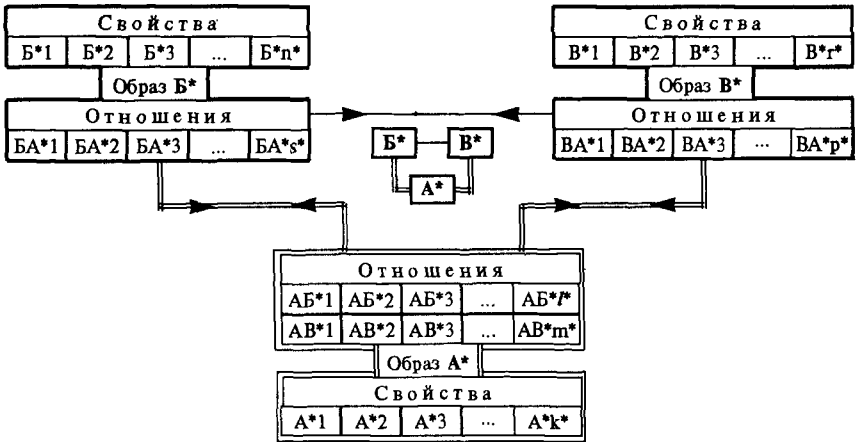


Рис.2.1.9. Схема взаимодействия образа A^* с образами B^* и V^* .

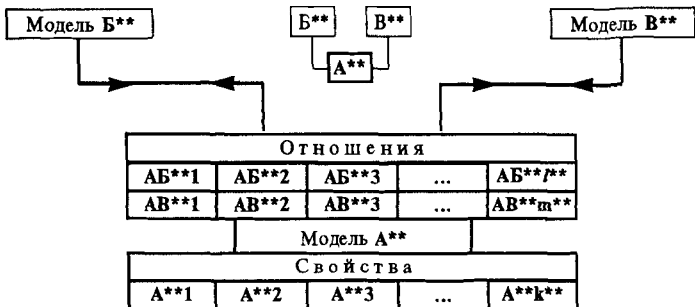


Рис.2.1.10. Схема взаимодействия модели A^{**} с моделями B^{**} и V^{**} .

при формировании образа (*) и закладываемых в модель (**), всегда находятся в ранжированных отношениях упорядоченности:

$$\begin{aligned} k &>> k^* > k^{**}; & l &>> l^* > l^{**}; \\ m &>> m^* > m^{**}; & n &>> n^* > n^{**}; \\ p &>> p^* > p^{**}; & r &>> r^* > r^{**}; \\ s &>> s^* > s^{**}. \end{aligned}$$

(2.1.2)

Итак, для системных исследований характерны:

- 1) целостное рассмотрение;
- 2) выделение главного фактора (базового элемента, момента, уровня, стороны и т.д.) и группирование вокруг него остальных;
- 3) выявление высшей ступени развития данного объекта и его соотношения с присутствующими в нем низшими ступенями, характера их стыковки и взаимных переходов;
- 4) раскрытие взаимосвязи внутренней стороны изучаемого объекта с его внешней стороной;
- 5) нерасторжимость общего и частного;
- 6) неразрывность информационной связи между объектом, образом и моделью.

2.2. РОЛЬ И МЕСТО ИНФОРМАЦИИ В СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТАХ

Общие проблемы методологического анализа роли информа-

ции в системной организации объектов придают особое предпочтение этой количественной характеристике материи. Естественно, в одной книге невозможно охватить все сколько-нибудь значительные работы и направления теории информации, поэтому здесь будут рассматриваться наиболее важные и характерные для технического приложения, как главного направления энциклопедии [4, 20, 27, 36, 41, 69, 76, 82, 84 и др.]. Историко-философские аспекты информационно-логических проблем вынесены в Приложение 3. С философской точки зрения информация (в отличие от массы и энергии) относится к особой категории характеристик, будучи присущей не только материальным, но и идеальным объектам, у последних, конечно, нет ни массы, ни энергии. Если материальные объекты составляют части материальной Вселенной, то идеальные объекты представляют часть информационного поля человека или коллектива людей. Поэтому именно информация является связующим звеном между материальным и идеальным миром. Это наделяет ее уникальными свойствами:

- независимость от вида материального носителя, с помощью которого она сохраняется и транспортируется,
- возможность уничтожения вместе с носителем, если это был «единственный экземпляр»,
- возможность размножения без потери, когда переходя на

множество носителей (в том числе, в мозг другого человека), она остается в неизменном объеме у «своего хозяина».

Информацию подразделяют на объективную, соответствующую материальному миру, и субъективную из мира идеальных образов и моделей. **Объективная информация** ($I_{об}$) присуща любому объекту. **Субъективная информация** ($I_{суб}$) присутствует в образах и моделях, отражая возможность субъекта воспринять и использовать информацию. При этом всегда выполняется условие $I_{суб} < I_{об}$, т.е. у объекта объем информации всегда больше, чем у его образа (см. рис.2.1.8-2.1.10). Это связано не только со способами отражения, но и с разнообразием носителей информации, способов модуляции и кодирования, преобразования, передачи и получения и т.п. Понятно, что информация не всегда связана с отражением, а присуща самим объектам, она содержится в вещах и в том случае, если они практически не испытывают воздействия со стороны. Хотя, конечно, проявляется информация лишь в процессе отражения, без которого она нам не доступна. Поэтому часто делается ошибочный вывод, что информация не может существовать вне отражения. Отражение – процесс передачи информации от объекта к субъекту, поэтому важно понять, как $I_{об}$ превращается в $I_{суб}$.

Наиболее существенные особенности информации следует искать

в связи со структурой, упорядоченностью, организацией. Для сложных объектов различного типа (биологических, общественных, технических) свойственны: активность поведения, активное отображение, информационная связь элементов и целеполагание, которые тесно связаны с принципом субординации и иерархичности структуры самоуправляемых систем. Информация в них имеет множество аспектов [69]:

- семантический (содержание и значение),
- аксиологический (ценность информации),
- семиотический (обозначение в определенной знаковой системе),
- коммуникативный (каналы связи),
- теоретико-отражательный (роль в процессах отображения),
- гносеологический (средство познания),
- физический (воплощение информации в материальном носителе),
- прагматический (отношение к информации субъекта-получателя),
- количественный и некоторые другие.

Поскольку семантические отношения выступают как отношения информации к объекту (передатчик информации) и субъекту (получатель), поэтому важно установить более четкие связи информации с понятиями знака, значе-

ния, ценности, образа, сигнала, кода, кодирования и т.п. Особый интерес представляет информация для управления системами.

Серьезный анализ **сложных самоуправляемых систем** провел Украинцев Б.С., определив [68], что они выделяют себя из окружающей среды и не дают ей поглотить себя посредством поддержания динамического равновесия с изменяющимися внешними условиями в соответствии с принципом активного равновесия или простого приспособления. Направленность поведения является фактором устойчивости функционирования самоуправляемой системы или ее функциональным инвариантом, так как направленность изменения состояния самоуправляемой системы для нее внутренне необходима и закономерна. Эта планомерная направленность поведения самоуправляемых систем связана с их целеполагающей деятельностью. Одним из ведущих принципов самоуправления Украинцев назвал принцип активного самодвижения на основе регулярного воспроизводства маловероятных состояний системы и ее элементов *за счет извлекаемой из внешней среды энергии*. Этим автор резко ограничивает класс самоуправляемых систем. Приведенный им принцип требует уточнения и расширения применительно к любым искусственным системам, т.к. их прогрессивное функционирование возможно только при постоянной подпитке банка данных новой ин-

формацией прямым образом и на основе обратной связи. Поэтому в дальнейшем будем полагать, что внутрисистемные процессы идут более широко – за счет извлекаемых из внешней среды *массы вещества, энергии и информации*.

Иногда высказывается мнение, что содержанием информации является отображение внешнего мира самоуправляемой системой. Отсюда следует ошибочный вывод, что без субъекта, способного к отображению и выбору, информация не существует [69].

Относительно живых и общественных объектов можно сказать, что познающая сама себя материя производит информацию, содержанием которой являются познанные законы природы, общие для всех объектов материального мира, в том числе и живых самоуправляемых систем. Эта информация нужна для сохранения и выживания в изменяющихся условиях. Процесс самоуправления идет по схеме: «Целеполагание – Принятие решения (выбор поведения) – Целеосуществление». Анохин П.К. подчеркивал [см. §1.3], что осознание необходимости ввести в структуру целостной деятельности сам факт «принятие решения» в настоящее время охватывает все более и более широкий круг физиологов. Но в равной степени это касается и других сложных объектов.

Организация информационного обслуживания в искусственных самоорганизующихся системах ос-

новывается на четком взаимодействии информационных органов (и служб) и на применении современных технических средств и способов хранения, поиска, воспроизведения (преобразования) и передачи информации. Проблемными являются вопросы ее кодирования и декодирования, свертывания и уплотнения. Информационными органами могут быть как отдельные учреждения (институт, центр), так и структурные подразделения ведомств, учреждений, фирм или предприятий. Совокупность информационных органов в рамках какой-либо отрасли составляет отраслевую информационную систему (службу) [41 и др.].

Объективными причинами сложности выбора поведения в самоуправляемых системах с использованием информации являются:

– стремление машины к равновесию (Эшби У.Р.);

– быстрое освобождение от избыточных степеней свободы и реализация одной возможности, имеющей приспособительное значение в данный момент и именно в данной ситуации (Анохин П.К.);

– циркуляция информации, приводящая к неразделимости техники управления и техники связи, концентрирующихся вокруг фундаментального понятия сообщения (Винер Н.);

– неисчерпаемость информационного ресурса для мирового сообщества (Юзвизин И.И. [82]);

– сжатие многочисленной и многоканальной разнообразной информации для вполне определенного канала высококодированной информации, связанного с принятием и исполнением решения (Анохин П.К.);

– внутренняя «ведущая мотивация» изменения состояния системы (Анохин П.К.);

– функциональный инвариант или исходная цель (Украинцев Б.С.);

– непредсказуемость или реализация «свободы воли» (Уолд Л.);

– неоднозначность связи фактического следствия выбора с вызвавшей его причиной (Украинцев Б.С.);

– высокая активность самоуправляемой системы, проявляющаяся в самопроизвольных переходах в маловероятные состояния вместе с упрощением общей ситуации или ограничением степеней свободы (Украинцев Б.С.);

– элемент самовыражения, попытка утверждения независимости от внешнего воздействия (Данэм Б.) и др.

Необходимым объективным главным условием акта выбора поведения служит внешняя причина «принятия решения», возникающая независимо или в зависимости от состояния и поведения самоуправляемой системы. Здесь налицо влияние внешних факторов, нарушающих динамическое равновесие элемента, подсистемы или самоуправляемой системы, нарушение ее гомеостазиса, их функционального инва-

рианта. Главным объективным условием *выбора поведения* является внутренняя причина «принятия решения»: «ведущая мотивация», «критерий выбора», внутренняя «исходная цель» функционирования, выражаемая функциональным инвариантом. Важным объективным *условием необходимости* принятия решения является отношение противоречия между внешней и внутренней причинами. Выбор предполагает наличие множества (как минимум) реальных возможностей разрешения противоречия, а также наличие средств выбора и материальных средств превращения реальной возможности в действительность.

В практически бесконечном многообразии выборов соответствия причины (цели) и способа ее достижения различаются следующие виды [68]:

- монофинальный (на действие одной причины выбирается одно определенное состояние системы),

- эквифинальный (на разные внешние причины или одну изменяющуюся причину выбирается одно состояние – гомеостат, сохраняющий динамическое равновесие, связанное с исходной целью),

- полифинальный (на одну причину возможен ответ несколькими вариантами поведения из множества, представляющего множества различных вариантов основной исходной цели, множества реальных возможностей из-

менения состояний системы и множества реальных средств целеосуществления).

Полифинальный выбор (как правило, решает оперативную задачу) неоднозначно связан с внешней причиной и целью, отличаясь заметно большей активностью от эквифинального, а также адаптивностью, благодаря расширению области существования решения.

2.3. СУЩНОСТЬ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

2.3.1. Системность Вселенной и её объектов

Предпосылкой **системного подхода (СП)** и первым этапом его применения является системное представление исследуемого объекта и исследование его именно в этом аспекте, в котором он представлен как система. То есть должны быть четко определены в исследованиях: цель, объект (как система) и предмет, а затем выбран соответствующий метод. Может оказаться, что поставленная задача решается более простыми методами конкретных наук и имеются соответствующие правила, формулы, теории, модели и т.д. Тогда нет смысла усложнять задачу «научообразной системностью». Необходимо «дойти до такого уровня трудностей и созреть», чтобы понять невозмож-

ность решения поставленной проблемы без системных методов. Теория систем предлагает некий общий подход к описанию естественных, технических и социальных объектов [2-7, 19, 29, 37, 42, 49, 57, 67 и др.].

Системный подход представляет определенную комплексную методологию для решения научных и практических проблем. В то время как теория направлена на получение данных об объективной реальности, методология направлена на сам процесс получения данных. Являясь методологической основой, СП реализуется на трех этапах:

- 1) при формулировании задач исследования,
- 2) при решении этих задач,
- 3) при организации процесса исследования.

Особенно сильно СП проявляется при формулировании проблем. Он позволяет осуществить более научное, комплексное их формулирование, что весьма важно при решении исследовательских и практических задач. Он позволяет взглянуть на проблему в новом свете, предполагая обобщенное понимание объекта исследования как системы, которая в процессе развития меняет структуру, состояние и поведение, во взаимосвязи с целевым функционированием. В первую очередь следует обращать внимание на потоки вещества, энергии и информации.

При этом предполагается, что сам процесс исследования осуще-

ствляется субъектом, представляющим некоторую активную систему. В дальнейшем будет идти речь о иерархии активных и пассивных систем.

Системный подход – наиболее общая категория в системных исследованиях, которая исходит главным образом из комплексности анализа объекта и строгой «систематизации» исследования. Основными принципами СП являются принципы целостности, сложности и организованности. В прикладном аспекте СП можно интерпретировать как сочетание комплексного анализа, системного моделирования (проектирования) и системного управления (организации эксплуатации). Собственно системное исследование начинается с изучения объекта под специфическим (целевым) углом зрения – какими общесистемными свойствами, так называемыми системными параметрами он характеризуется. Параметрическая оценка объекта дает возможность установить его тип. Это необходимо для того, чтобы определить закономерности, действующие в рамках данного типа. Использование общесистемных закономерностей – важнейшая черта СП. Таким образом, методология системного исследования в конечной стадии должна иметь выход в общую теорию системы. Иначе использование системного метода будет неполным.

В Приложении 2 доказано, что понятие «СИСТЕМА» введено для

методического удобства анализа природных явлений или синтеза создаваемых человеком искусственных технических объектов. Об этом всегда необходимо помнить, иначе можно получать абсурдные результаты. Определенная условность этого понятия является результатом того, что **ВСЕЛЕННАЯ** **едина и неделима**. Собственно говоря, это и есть **единственная СИСТЕМА**, а все остальное лишь ее части-подсистемы. Там же обосновано следующее определение [63]:

СИСТЕМОЙ называется условно отграниченная от внешней среды совокупность взаимосвязанных объектов (элементов).

2.3.2. Строение и свойства систем

Следует различать два типа систем:

1) целостный материальный объект, представляющий собой закономерно обусловленную свойствами внешней среды совокупность взаимосвязанных внутренних элементов. Для живых, общественных и искусственных объектов эта связь представляет функциональное взаимодействие;

2) идеальный (абстрактный) объект, элементами которого являются образы, выработанные сознанием человека, например, математическая модель.

Огромное значение в определении качественной специфики

системы, ее особенностей, свойств имеет *структура*, представляющая собой *способ взаимосвязи, взаимодействия образующих ее компонентов*.

Внутренняя форма организации системы, выступающая как единство ее состава и устойчивых взаимосвязей между ее элементами, определяет **структуру**. Многоуровневость (иерархичность) является характерной чертой системных объектов. Такой объект в СИ часто оформляют тремя уровнями. Система находится на **первом уровне**. **Второй уровень** составлен из **подсистем** – совокупностей взаимосвязанных и взаимодействующих элементов **третьего уровня**, реализующих определенную группу функций системы. Элементы системы – относительно обособленные ее части, – не являясь системами данного уровня, при непосредственном взаимодействии между собой порождают систему определенного функционального назначения. Элементы (их тип и количество) и связи между ними определяют ее свойства. Поскольку в системе элементы структуры неравноценны не только с точки зрения их места, роли в функционировании системы, но и с точки зрения *перспектив, возможностей* ее совершенствования и развития, то следует особо выделять **базовый элемент**. Структура предполагает определенную динамическую устойчивость пространственно-временных связей элементов. Для

сложных многоуровневых структур характерны три свойства: целостность, трансформация, саморегуляция. Структурность — неотъемлемый атрибут всех реально существующих объектов и систем [7, 49].

Для системного объекта характерно не только наличие связей между составляющими его подсистемами и элементами (определенная организованность системы), но и неразрывное единство со средой, во взаимоотношениях с которой он проявляет свою целостность. Для всех динамических систем естественной (биологической), технической и социальной (общественной) природы характерна реализация в них функций обработки, передачи, хранения и управления информационными, энергетическими и технологическими процессами.

Главная (целевая) функция системы характеризует проявление ее свойств в данной совокупности отношений и представляет собой способ действия (выживание, существование и развитие) ее при контакте с внешней средой. Функция системы является проявлением свойств, качеств во взаимодействии с другими объектами системного и несистемного порядка. *Факторами системности* являются те силы, механизмы и органы, которые наряду со структурой объекта обеспечивают сохранение его качественной специфики, его функционального развития.

Любой системе присущи в различной степени те или иные основные свойства, каждое из которых зиждется на частных «подсвойствах». Среди них в системных исследованиях выделяются следующие:

1* Целостность определяется подсвойствами: интегральность системы; индивидуальность, автономность и специфичность элементов; внутреннее единство; отграниченность от внешней среды.

2* Иерархичность (каждый элемент системы в свою очередь может рассматриваться как система, а исследуемая в данном случае система представляет собой один из элементов более широкой системы): дискретность и непрерывность элементов; многокомпонентность; многослойность.

3* Динамичность: организованность и изменчивость во времени; нестационарность; процессуальность (временная последовательность состояний); наличие начала и конца жизненного цикла; изменчивость и консервативность.

4* Обусловленность поведения системы свойствами: отдельных элементов и отношений между ними, структуры, окружающей среды, характером «целевой установки» (устойчивость, управляемость, эффективность).

5* Открытость (взаимозависимость системы и среды: система формирует и проявляет свои свойства в процессе взаимодействия со средой, являясь при этом ведущим активным компонентом воздейст-

вия). Хотя в природе не существует закрытых систем, степень их открытости может быть различной.

6* Специфичность: зависимость каждого элемента, свойств и отношений от его места, функции и т.д. внутри целого.

7* Устойчивость: равновесность, гибкость, синергетичность, кооперативность, самоорганизованность, адаптивность, живучесть, помехозащищенность, надежность, безопасность; гармоничность (эстетичность).

8* Управляемость: операционность, функциональность, целенаправленность, прогнозируемость, оптимизируемость, конструктивность, технологичность, эксплуатационность, экономичность, эффективность.

9* Моделируемость: структурность (возможность описания системы через установление ее структуры, т.е. сети связей и отношений); адекватность; сложность (невозможность полного охвата); качественность и количественность факторов; детерминированность, стохастичность и неопределенность количественных описаний; неполнота описаний; многомерность и множественность описаний (в силу принципиальной сложности адекватное познание требует построения множества различных моделей); антропность; эстетичность и этичность.

10* Глобальность: первичность, проблемность, макрокопичность, многокомпонентность, крупномас-

штабность, полисферность; конвенциональность, кооперативность; порождаемость, преемственность, перспективность, воспроизводимость; социологичность, экологичность, эргономичность; унифицируемость, стандартизируемость.

Выделяются следующие способы целостного описания систем [21-25]:

- 1) сочетание представлений научных дисциплин без сведения их к единой теоретической основе;
- 2) представление сложного объекта в виде структурной схемы, т.е. как системы, через которую протекает либо вещество, либо энергия, либо информация;
- 3) использование системного подхода.

Применению СП сопутствует выделение этапов системотехнической деятельности [7, 22, 25, 44, 49, 55, 73 и др.]:

- 1) прогнозирование (процессуальное представление);
- 2) внешнее структурирование (макроскопическое представление);
- 3) внутреннее структурирование (иерархическое представление);
- 4) функциональное конструирование (функциональное представление);
- 5) морфологическое и технологическое конструирование (микроскопическое представление).

Рассматривая классификацию систем, Рапопорт А., установив

связи между областями исследований, привел [1*114] таблицу с четырьмя типами объектов. В нее добавлены еще три типа, связанных с классификацией искусственных объектов, которые включены в нижнюю часть табл.2.3.1 (шапка сохранена по первоисточнику).

Табл. 2.3.1.

Классификация системных объектов

Тип	Объект	Структура	Действие	Становление
1	Общество	Этнография, описательная социология	Экономическая теория, социальная психология	История
2	Группа	Социометрия	Динамика групп	Динамика групп
3	Особь	Анатомия	Экспериментальная психология	Психология развития
4	Клетка	Гистология	Физиология клетки	Эмбриология, дифференциация тканей
5	БТС	Конструкция, материал, КТР	Проектирование, потенциальная и фактическая эффективность, управление	Жизненный цикл
6	БПТС	Производственные предприятия	Технология, материаловедение	Технологическая подготовка производства
7	БОЭС	Заказчик, Производитель, Потребитель, физические лица, юридические лица, рынок	Организация, экономика, менеджмент, маркетинг	Получение прибыли, инвестиция, инфляция, банкротство

2.4. СИСТЕМОТЕХНИКА

2.4.1. Большая техническая система

В современных условиях к авиационной, ракетной и космической технике (АРКТ) предъявляются все более высокие технические, экономические и социальные тре-

бования на значительное повышение технического уровня и эффективности применения летательных аппаратов (ЛА), что является важной народнохозяйственной и военной проблемой. Решение этих задач неразрывно связано с повышением качества проектирования и конструирования, так

ются и закладываются основные технические характеристики и параметры разрабатываемых технических средств. При этом особое значение приобретают проблемы реализации мыслей конструктора в металле, то есть технологические вопросы, от которых в значительной мере зависят стоимость и качество изделий.

Увеличение масштабов создаваемых авиационных, ракетных и космических объектов привело к тому, что они превратились в большие технические системы (БТС). Усиление взаимосвязи и взаимообусловленности между входящими в них составляющими подсистемами, комплексами и изделиями сопровождается дальнейшим усложнением задач, решаемых конструктором, материаловедом и технологом. Разрослись кооперации организаций и предприятий, участвующих в создании ЛА и БТС, а это увеличивает объемы, растягивает сроки и поднимает стоимость выполнения работ. Возникает потребность решения ряда организационных, экономических, технологических и других проблем. Все это вызывает необходимость применения СП.

Теоретическими и прикладными аспектами решения проблем анализа и синтеза технических объектов, требующих всестороннего планового подхода, занимается системотехника. Она возникла в результате усложнения процесса инженерного проектирования технических систем, его рационализа-

ции с системных позиций и получила широкое применение в самых разных областях техники. Пожалуй, именно применительно к техническим объектам получены наиболее заметные результаты СИ [8, 12, 17, 21-26, 33, 51, 53 58, 59, 66, 71-74 и др.]. Аппарат и методы исследования системотехники в значительной мере основываются на методологическом фундаменте СП и ОТС. Следует указать на сходство в определенных пределах между системотехникой и системными исследованиями, системным подходом. Главное отличие заключается в исследуемом объекте системотехнической деятельности — сложной технической системе, которая признана синонимом понятий «сложный инженерный объект» или «инженерная система».

Системотехника рассматривается разными авторами и как техническая наука, и как отрасль техники, и как научно-техническая деятельность, и как практический метод, поэтому существует множество определений системотехники. Анализируя мнения различных авторов, можно принять, что **системотехника представляет собой [22,25]:**

1) *сферу деятельности*, выделившуюся из традиционной инженерной практики и направленную на организацию процесса создания, использования и развития сложных инженерных систем (т.е. стыковку проектных задач и кооперацию специалистов различных профилей, решающих эти задачи),

обеспечение интеграции частей системы в единое целое;

2) *область знания*, комплексную научно-техническую дисциплину, объединяющую средства, методы, принципы анализа и организации инженерной деятельности; приемы и процедуры проектирования и исследования инженерных систем; методы современных математических, технических, естественно-научных и общественных дисциплин, используемых для исследования и проектирования сложных объектов и организации их эксплуатации;

3) *конкретно-методологическую позицию*, связанную с целостным рассмотрением инженерной системы, процесса ее исследования, проектирования, создания и развития, а также с использованием идей кибернетики и системного подхода.

Очевидно, что технический объект можно рассматривать как частный случай сложной системы вообще. Его особенностями являются:

1) искусственный характер происхождения;

2) ориентация на решение заданных задач рациональным способом;

3) наличие элементов с известными свойствами и упорядоченными связями, ориентированными на целевое предназначение системы;

4) создание технической системы предполагает наличие активной технологической системы, создающей объект;

5) технический объект непременно входит в сложную человеко-машинную систему (ЧМС), организующую и сопровождающую его весь жизненный цикл от зарождения идеи до снятия с эксплуатации.

В связи с перечисленным можно принять следующее определение.

Технической называется (ориентированная человеком во времени и пространстве для выполнения целевого предназначения) система, элементами которой являются функционально взаимосвязанные технические изделия.

Большой технической системой (БТС) будем называть объект, комплексы, подсистемы и изделия которого размещены на значительных расстояниях друг от друга, а процесс их создания требует значительных средств и времени. **Сложной технической системой (СТС)** является объект, претерпевающий в течение своего жизненного цикла заметные изменения в составе элементов, структуре и решаемых задачах. Итак, сделан акцент на различиях: БТС определяются масштабами формы, СТС — динамикой содержания. Но применительно к системным объектам АРКТ следует заметить, что они и большие, и сложные одновременно, поэтому употребляемые термины БТС и СТС часто воспринимаются как синонимы. В применяемой в дальнейшем аббревиатуре «БТС» вкладываются оба эти свойства.

Традиционная системотехника рассматривает лишь техническую составляющую. Таким путем осуществляется разработка требований, проектирование оптимальных ЛА, конструирование, технологическое проектирование и даже оптимизация при эксплуатации. Предлагается нарушить эту традицию и расширить поле деятельности системотехники. Отметим, что в изготовлении изделий БТС участвует **большая производственно-технологическая система**

(БПТС), а в организации всего жизненного цикла БТС существенную роль играет **большая организационно-экономическая система (БОЭС)**. Учитывая участие человека на всех этапах создания и эксплуатации БТС, будем представлять ее как **человеко-машинную систему (ЧМС)**, уделяя должное внимание эргономике, инженерной психологии, обеспечению жизнедеятельности и безопасности экипажей ЛА и наземных служб (рис.2.4.1).

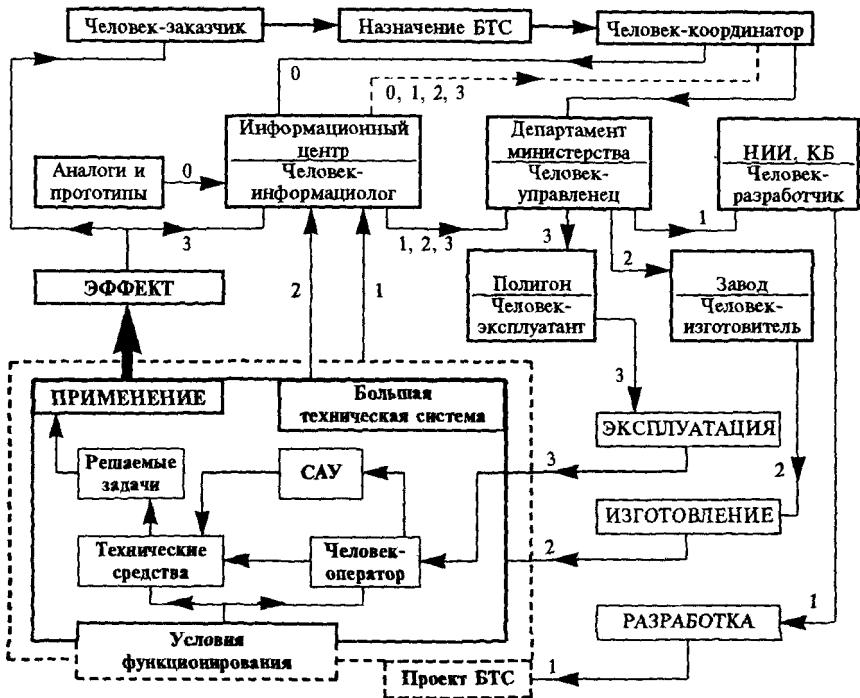


Рис.2.4.1. Структурная схема человеко-машинной системы

Системотехника, занимающаяся оптимизацией создания и применения сложных технических объектов, содержит такие основные направления СИ [14, 21-26, 31 и др.] :

- структурный анализ и синтез систем;
- анализ вещественного, энергетического, информационного обменов;
- человеко-машинное представление технических, производственно-технологических и организационно-экономических систем;
- исследование стратегий управления и поведения при анализе оптимального развития БТС, БПТС и БОЭС.
- исследование операций применения БТС.

Декомпозиция и композиция, анализ и синтез, познание частей через целое и целого через части выступают в единстве. Главная практическая задача системотехники состоит в том, чтобы, обнаружив и описав сложность, обосновать такие дополнительные физически реализуемые связи, которые бы, будучи наложенными на сложную систему, сделали ее управляемой в требуемых пределах, сохранив при этом такие области самостоятельности, которые способствуют повышению ее адаптивности и эффективности. Включенные в гомеостаз новые связи должны усиливать благоприятные и ослаблять неблагоприятные тенденции поведения

системы, сохраняя и укрепляя ее целенаправленность, но ориентируя ее на интересы надсистемы.

Из всех методологических концепций системотехническая наиболее близка к «естественному» человеческому мышлению — гибкому, неформальному, разноплановому. Системный подход объединяет естественно-научный метод, основанный на эксперименте, формальном выводе и количественной оценке, с умозрительным методом, опирающимся на образное восприятие окружающего мира и качественный синтез. В исследовании любой технической системы можно указать несколько главных вопросов [25 и др.]:

1. *Выделение проблемы:* учесть все, что нужно, и отбросить то, что не нужно.

2. *Описание:* выразить на едином языке разнородные по физической природе объекты, явления и факторы.

3. *Установление критериев:* определить, что значит «хорошо» и «плохо» для сравнения альтернатив.

4. *Идеализация:* ввести рациональную идеализацию проблемы, упростив ее до допустимого предела.

5. *Декомпозиция:* найти способ разделения целого на части, не теряя свойств целого.

6. *Композиция:* найти способ объединения частей в целое, не теряя свойств частей.

7. *Решение:* найти решение проблемы.

2.4.2. Жизненный цикл большой технической системы

В зависимости от сложности разрабатываемой системы АРКТ, имеющегося задела и опыта исполнителей, а также отпущенного времени и выделенных средств возможны различные графики планирования жизненного цикла большой технической системы. **Жизненным циклом (ЖЦ)** называется период времени от зарождения идеи до снятия изделия с эксплуатации и утилизации. Весь цикл БТС можно разбить на от-

дельные части, указанные в табл.2.4.1. Первые три этапа направлены на создание техники. Для того, чтобы понять сложный характер жизни БТС, осмыслить особенности принятия решений и выполняемых человеком функций СИ в таблице представлены этапы, стадии, подэтапы, а также отмечены промежуточные процедуры контроля деятельности, принятия и утверждения решений. В реализации ЖЦ БТС (рис.2.4.1), кроме Исполнителя, участвуют Заказчик и Контролер (Госкомиссия и представитель Заказчика) [63].

Таблица 2.4.1.

Перечень типовых этапов, стадий и подэтапов жизненного цикла большой технической системы

Этап (основной участник)	Стадия, подэтапы	Дополнительный участник
1	2	3
1. Научно-исследовательская работа (НИИ, исследовательские подразделения)	1. Выдача ИД. 2. Постановка задачи и выбор альтернатив. 3. Сбор информации. 4. Анализ аналогов и прототипов. 5. Исследование возможностей. 6. Проведение экспериментальных работ. 7. Выбор варианта решения задачи и построения БТС. 8. Разработка и выпуск НТО. 9. Разработка проекта ТЗ. 10 Оформление, утверждение и выдача ТЗ, решение на ОКР.	Заказчик Заказчик Заказчик
2. Опытно-конструкторские работы (КБ, опытный завод, стенды, полигон)	1. Технические предложения (ТП): а) выдача ИД; б) разработка ТП; в) прием ТП (защита, экспертиза и выпуск заключения); г) доработка окончательной редакции ТП.	Представитель Заказчика Госкомиссия

Продолжение таблицы 2.4.1.

1	2	3
	<p>2. Эскизное проектирование (ЭП):</p> <p>а) выдача ИД;</p> <p>б) разработка ЭП;</p> <p>в) создание макетов, изготовление отдельных элементов бортовых систем изделия, опытных образцов;</p> <p>г) экспериментальные работы;</p> <p>д) прием ЭП (защита, экспертиза и выпуск заключения);</p> <p>е) доработка окончательной редакции ЭП;</p> <p>ж) разработка и выпуск проекта ТТТ;</p> <p>з) выбор проектного варианта;</p> <p>и) утверждение головной организации;</p> <p>к) оформление, утверждение и выдача ТТТ.</p> <p>3. Техническое проектирование:</p> <p>а) выдача ИД;</p> <p>б) разработка РД;</p> <p>в) технологическая подготовка производства;</p> <p>г) разработка комплексной ПЭО;</p> <p>д) разработка комплексной ПОН;</p> <p>е) разработка ЭД;</p> <p>ж) разработка документации на УТС;</p> <p>з) выпуск документации на дооснащение наземных технических средств;</p> <p>и) прием документации.</p> <p>4. Производство макетов и опытных образцов изделий:</p> <p>а) изготовление блоков, агрегатов, составных частей бортовых систем;</p> <p>б) изготовление бортовых систем;</p> <p>в) изготовление макетов;</p> <p>г) изготовление опытных образцов изделий.</p> <p>5. Заводские и летно-конструкторские испытания (ЛКИ):</p> <p>а) испытания составных частей;</p> <p>б) доработка РД;</p> <p>в) заводские испытания технологических макетов и образцов;</p> <p>г) отработка систем и обеспечение готовности к натурным испытаниям;</p> <p>д) корректировка документации;</p> <p>е) межведомственные испытания;</p> <p>ж) ЛКИ в реальных условиях;</p>	<p>Представитель Заказчика</p> <p>Госкомиссия</p> <p>Заказчик</p> <p>Заказчик Заказчик</p> <p>Представитель Заказчика</p> <p>Заказчик</p> <p>Заказчик</p> <p>Представитель Заказчика</p> <p>Представитель Заказчика</p> <p>Представитель Заказчика</p>

Окончание таблицы 2.4.1.

1	2	3
	з) корректировка РД; и) специальные испытания; к) корректировка РД. 6. Сдача опытного образца 7. Натурные Госиспытания: а) изготовление образцов для натуральных испытаний; б) проведение испытаний; в) корректировка документации; г) устранение замечаний; д) выпуск директивных документов.	Госкомиссия Госкомиссия Заказчик
3. Серийное производство (завод, строительные, монтажные организации)	1. Выпуск документации: а) подготовка КД для серийного производства изделий; б) корректировка конструкторской и технологической документации; в) корректировка ЭД. 2. Производство: а) изготовление изделий; б) изготовление элементов наземных комплексов; в) капитальное строительство сооружений БТС; г) монтаж и развертывание БТС. 3. Снятие изделий с серийного производства	Представитель Заказчика Представитель Заказчика Заказчик
4. Эксплуатация (полигон, СК, КИК, ПСК, СНК и т. п.)	1. Госиспытания и сдача БТС Заказчику. 2. Обслуживание (профилактика, замена, ремонт и т. п.). 3. Дежурство. 4. Применение. 5. Модернизация. 6. Снятие с эксплуатации. 7. Утилизация.	Госкомиссия Заказчик Заказчик Заказчик Заказчик Госкомиссия

Примечание. В табл. 2.4.1. введены следующие сокращения:

ИД — исходные данные;

КД — конструкторская документация;

НТО — научно-технический отчет;

ПОН — программа обеспечения надежности;

ПЭО — программы экспериментальной отработки;

РД — рабочая документация;

ТЗ — техническое задание;

ТТГ — тактико-технические требования;

УТС — учебно-тренировочные средства;

ЭД — эксплуатационная документация.

В таблице не указаны подготовка кадров, создание инфраструктуры, детали развертывания ТПП, другие вспомогательные работы. Перечисленные этапы, стадии и подэтапы не обязательно выполняются в указанном порядке. Возможны перестановка местами и параллельная работа. Этап эксплуатации может быть разбит на подэтапы опытной и штатной эксплуатации.

2.4.3. Принципы декомпозиции и оптимальности большой технической системы

Для исследования технического объекта методами СИ его представляют в виде системы и расчленяют (проводят **декомпозицию**) на подсистемы, а те в свою очередь — на элементы. Число таких уровней не фиксировано. Этот процесс можно продолжать пока не будут получены в некотором смысле «неделимые» элементы. В зависимости от типа объекта декомпозиция может быть как материальной, так и концептуальной (идеальной, абстрактной).

Вариантов членения объектов неисчислимо множество, поэтому для одной и той же системы могут быть построены существенно отличающиеся варианты декомпозиции, при этом в разных подсистемах может быть разное количество элементов. В основу деления системы на подсистемы (или на элементы) должен быть

положен некоторый признак или принцип, позволяющий однозначно объединять и различать элементы одного уровня. Поскольку такие признаки назначаются исследователем, исходя из конкретных целей изучения систем, то они могут носить индивидуальный характер. Это, естественно приводит к разным способам декомпозиции одной и той же системы (подсистемы).

Поэтому прежде, чем проводить декомпозицию системы необходимо четко и однозначно установить признак и процедуру расчленения системы. Когда они выбраны, то строится структурное дерево системы.

Если целью исследования является оценка эффективности и выбор путей ее повышения, то предлагается в качестве основных использовать четыре вида декомпозиции (рис.2.4.2):

1) **целевая** (многослойная структура членения назначения, целей и задач, а также процедуры принятия решений);

2) **техническая** (стратифицированное описание системы, обеспечивающее моделирование с помощью конструкторско-технологических решений);

3) **организационная** (перевод БТС в разряд ЧМС путем эшелонирования для обеспечения управляемости и координируемости с целью реализации оптимального функционирования);

4) **управленческая** (изучение информационных аспектов, выявление

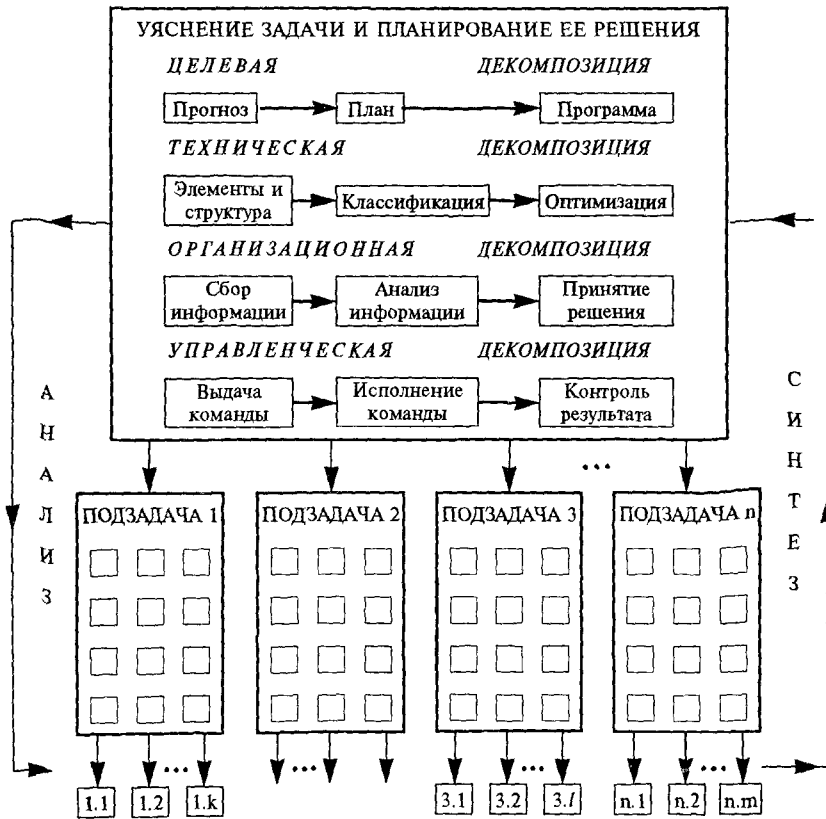


Рис.2.4.2. Структурная схема алгоритма процесса решения мыслительных задач различного уровня

ние контуров управления, определение этапности исполнения и контроля).

Такой подход построен на известном постулате, согласно которому эффективность есть соотношение результатов применения БТС и затрат на нее. Оценка результатов производится на основе целевой декомпозиции. Затраты

определяются с использованием технической декомпозиции. Оценка эффекта и выбор управляющих воздействий с целью повышения эффективности и оптимизации процесса эксплуатации осуществляется с помощью организационной структуры. В теории оптимального управления широкое применение нашел метод ди-

намического программирования, основанный на принципе оптимальности Беллмана [П*7]:

Оптимальная стратегия обладает тем свойством, что каковы бы ни были первоначальное состояние и первоначальное решение, последующее решение должно определять оптимальную стратегию относительно состояния, полученного в результате первоначального решения.

Как известно, в основе этого принципа лежит замена оптимизации траектории движения на интервале $t_n < t_i < t_k$ процедурой поочередной оптимизации, начинаемой с конца: первоначально на малом интервале $t_{k-1} < t_i < t_k$, затем на интервале $t_{k-2} < t_i < t_{k-1}$ и так до последнего малого интервала $t_n < t_i < t_{n+1}$. Иначе говоря, каждый участок оптимальной траектории $t_{n-1} < t_i < t_n$ также является оптимальным, т.е. во всякий момент времени управление обязательно оптимально, если оно оптимально в течение всего движения. В соответствии с принципом оптимальности Беллмана вектор оптимального управления $U(u_1, u_2, u_3, \dots)$ рассматривается в виде последовательности оптимальных решений $u_1(t_1), u_2(t_2), u_3(t_3), \dots$ многошагового процесса. Этот метод применяется для траекторий при неизменном критерии оптимальности. Например, критерием может служить расход топлива, тогда на каждом участке

при ЛА оценивается расход топлива и суммированием получается общий расход. Оптимизация полетной траектории предполагает его минимизацию.

По аналогии с рассмотренным принципом была предложена и впоследствии успешно подтвердилась гипотеза об оптимизации систем путем последовательной оптимизации ее элементов на различных уровнях иерархии: от элементов к подсистемам, от подсистем к системе. Рассматриваются системы, формулировка оптимизации которых ограничена зависимостью от подсистем ближайшего уровня иерархии. В этом случае стратегия оптимизации систем характеризуется следующим образом [62]:

Оптимальная система обладает тем свойством, что, каково бы ни было решение по оптимизации подсистем, последующее решение должно определять систему, оптимальную относительно исходных составляющих подсистем.

Аналогично постулируется для подсистем: независимо от первоначального решения по оптимизации элементов, последующее решение должно определять подсистему, оптимальную относительно исходных составляющих элементов. Следовательно, была существенно расширена область применения принципа Беллмана на системный анализ. Многошаговый

реход от одного уровня иерархии к другому по аналогии с переходом от одного участка оптимизируемой траектории к другому. С переходом от траекторий движения ЛА к процессу его создания и развития обоснован [62] **принцип оптимальности больших (сложных) технических систем.**

Если система (состав, структура и состояние системы, управляющие воздействия и функционирование) оптимальна в данный момент времени, то оптимальны каждая подсистема и каждый элемент в этот же момент.

Если элемент далее рассматривается как системный объект, то он оптимален в предыдущей формулировке, т.е. оптимальность нижестоящего уровня иерархии системы рассматривается «в интересах» вышестоящего уровня. Конечно, оптимальность системы оценивается по своему критерию эффективности, а оптимальность элемента — по своему. В этом заключается **коренное отличие предлагаемого подхода от принципа Беллмана**, где критерий не меняется в течение всего многошагового процесса оптимизации.

Рассматриваемые системы, очевидно, должны быть иерархическими, т.е. обладать рядом характеристик, основными из которых являются [49]:

— вертикальная декомпозиция (последовательное друг над другом расположение подсистем);

— приоритет действия (право вмешательства вышестоящих подсистем);

— зависимость действия подсистем верхнего уровня от фактического исполнения нижними уровнями своих функций.

Такие системы при правильном их построении должны удовлетворять постулату совместности и принципам координации, сформулированным Месаровичем [49]. Однако, как показали исследования, принцип оптимальности, являясь необходимым, не обеспечивает достаточности условий. Поэтому для его распространения на БТС кроме иерархичности и координируемости необходимо учитывать также **принцип декомпозиции технических объектов** [62].

Декомпозиция суперсистемы (с целью последующей ее оптимизации) на системы должна проводиться через декомпозицию ее критерия эффективности:

$$(R_i)_j = \prod_{k=1}^n (R_k)_j \quad (2.4.1a)$$

В свою очередь, декомпозиция системы на подсистемы проводится по аналогичному закону:

$$(R_k)_j = \prod_{l=1}^m (R_l)_j \quad (2.4.1b)$$

и т.д. через несколько уровней вплоть до декомпо-

**зиции подсистемы на эле-
менты:**

$$(R_x)_y = \prod_{z=1}^p (R_y)_z. \quad (2.4.1c)$$

Здесь обозначены: $i, j, k, l, \dots, x,$
 y, z — иерархические уровни (от
верхнего вниз);

R — критерий эффективности;
 $\prod (R_y)_k$ — изотонный закон ком-
позиции, свертывающий критерии
предыдущего j -го уровня по слож-
ным правилам;

n, m, p — численность элементов
на соответствующих уровнях.

При такой постановке уровень
иерархических срезов возможен до
того предела, пока удастся пред-
ставить критерий эффективности
подсистемы как композицию кри-
териев всех входящих в нее эле-
ментов. Предлагаемый подход не
исключает применения приема де-
композиции на ранних стадиях
СИ, когда система еще оконча-
тельно не определена, а критерии
не выбраны. Следовательно, пред-
лагаемый прием необходимо при-
менять итерационно с учетом вы-
явления на каждом этапе СИ но-
вых сведений о системе и ее эле-
ментах.

Для того, чтобы обеспечить изо-
тонность законов композиции,
необходимо рассмотреть вопрос о
монотонности критериальных
функций. В простейшем случае
двухуровневой иерархической сис-
темы S , содержащей элементы $z_1,$
 z_2, z_3, z_4, \dots , при оптимизации
максимизируемого (минимизируе-

мого) критерия эффективности
системы $R(S) = R_s$ его значение
достигает своей верхней (нижней)
границы:

$$R_s = R_{\text{opt}}(S) = \text{Sup}_{u_i \in U} R_{u_i}(z_1, z_2, z_3, z_4, \dots), \quad (2.4.2)$$

где u_i — i -ый вариант решения
из множества $\{U\}$ управляющих
векторов допустимых решений.

Указанное условие оптимально-
сти элементов соответствует дости-
жению верхней грани (Supremum)
частным критерием каждого эле-
мента. При стремлении критерия
системы R_s к значению R_{opt} долж-
но обеспечиваться:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_{\text{opt}}(z_1) = \text{Sup}_{u_1 \in U} R_1(z_1, U), \\ R_2 &= R_{\text{opt}}(z_2) = \text{Sup}_{u_2 \in U} R_2(z_2, U), \\ R_3 &= R_{\text{opt}}(z_3) = \text{Sup}_{u_3 \in U} R_3(z_3, U), \\ R_4 &= R_{\text{opt}}(z_4) = \text{Sup}_{u_4 \in U} R_4(z_4, U), \dots \end{aligned} \quad (2.4.3)$$

Естественно, что расширенный
принцип оптимальности систем
может применяться лишь в сово-
купности с принципом декомпо-
зиции и только в том случае, когда
справедлива на всех уровнях ие-
рархии следующая Лемма [62]:

**Максимизируемая крите-
риальная функция системы
должна иметь такой харак-
тер зависимости, чтобы уве-
личение любого из частных
критериев элементов не
ухудшало критерия системы.**

Например, при увеличении значения критерия элемента z_2 должно выполняться условие:

$$R_s(R_1, R_2 + \Delta R_2, R_3, R_4, \dots) \geq R_s(R_1, R_2, R_3, R_4, \dots) + \Delta R(R_2 + \Delta R_2). \quad (2.4.4)$$

В зависимости от поставленных целей любую систему представляют в виде различных структур, в том числе, если в основу построения дерева $\{D_0\}_n$ положить свойство иерархичности, то получается иерархическая структура $\{S_0\}_{n+1}$ системы с $(n+1)$ -м уровнем в виде соответствующего дерева (рис.2.4.3).

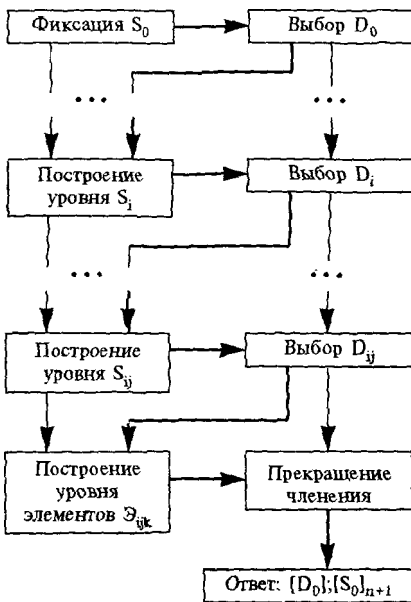


Рис.2.4.3. Схема построения дерева системы

Проводя на нулевом уровне декомпозицию D_0 некоторой системы S_0 , получим:

$$D_0(S_0) = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_i, \dots, S_N\} = \{S_i\} \quad (i=1, 2, 3, \dots, N), \quad (2.4.5)$$

где $\{S_i\}$ – множество подсистем. Далее проводя декомпозицию D_1 подсистемы S_i , получим

$$D_1(S_i) = \{S_{i1}, S_{i2}, S_{i3}, \dots, S_{ij}, \dots, S_{iM}\} = \{S_{ij}\} \quad (j=1, 2, 3, \dots, M). \quad (2.4.6)$$

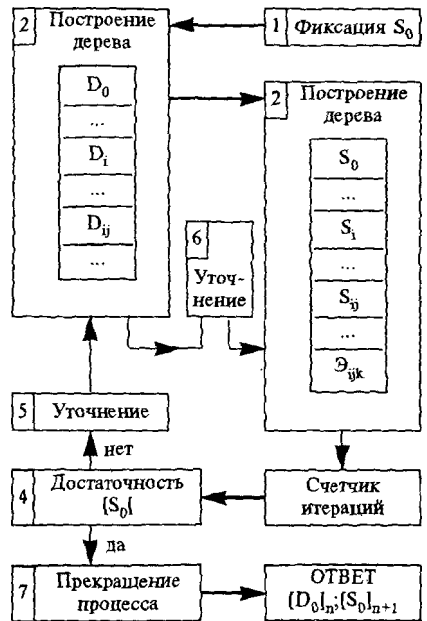


Рис.2.4.4. Этапность итерационного процесса построения дерева системы

Операции проводятся до уровня элементов \mathcal{E}_{ijk} . Процесс построения деревьев исследуемой системы осуществляется итерационно (рис.2.4.4):

- 1) выбирается главный признак декомпозиции (конструкционная, технологическая, целевая и т.п.);
- 2) строится дерево декомпозиции (D_0);
- 3) на основе его строится дерево системы (S_0);
- 4) проверяется степень проработанности варианта;
- 5) уточняется дерево декомпозиции;
- 6) уточняется дерево системы;
- 7) процесс прекращается.

Уточнение и построение дерева декомпозиции может вестись перекрестным способом, когда каждый последующий уровень декомпозиции выбирается после проведения операции декомпозиции системы на предшествующем уровне, как показано на рис.2.4.3.

2.4.4. Системный анализ проблем создания большой технической системы

При анализе проблем создания большой технической системы на базе ЛА должны охватываться, с одной стороны, проектируемые изделия, а с другой стороны, БПТС и БОЭС, которые создают БТС. В такой сложной ЧМС объединены пассивные (или создаваемые)

и активные (или создающие) системы. Это определяет основные страты, по которым следует провести декомпозицию сложной системы, исследующей и создающей изделия, входящие в БТС:

- а) конструкционная,
- б) материаловедческая,
- в) технологическая,
- г) производственная,
- д) организационная.

Надо особо пояснить, что первые две страты требуют декомпозиции создаваемой БТС, а три последние – декомпозиции сложной суперсистемы (БПТС+БОЭС), создающей ЛА и БТС в целом. Возникает необходимость изучения особенностей взаимосвязи большой технической системы и сложной создающей системы. С этой целью все множество систем можно разделить по признаку обрабатываемого компонента (m, E, I) на три одноцелевых класса [63]:

- 1) $S(I)$ – информационный (получение, обработка, хранение, доставка информации);
- 2) $S(m)$ – массообрабатывающий (переработка и транспортировка масс различных веществ);
- 3) $S(E)$ – энергетический (сбор, накопление, преобразование, передача энергии).

Кроме перечисленных следует указать на двухцелевые (двухкомпонентные) системы: $S(m-E)$, $S(m-I)$, $S(E-I)$, а в самом общем случае будем рассматривать трехкомпонентную суперсистему: $S(m-E-I)=S(M)$. Следует отметить, что фиксация однокомпонентных

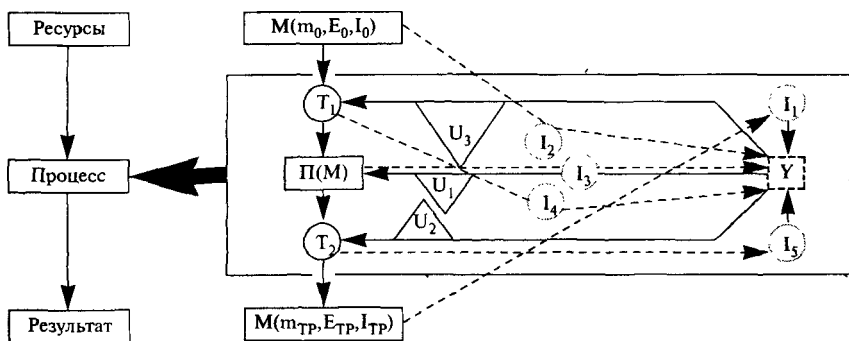


Рис. 2.4.5. Функциональная схема трехкомпонентной суперсистемы

и двухкомпонентных систем являются условной, поскольку в природе существуют только трехкомпонентные системы, в которых происходит движение материи (M), т.е. одновременно перерабатываются масса, энергия и информация. Однако при анализе искусственных систем, создаваемых человеком, удобно выделять ту компоненту, которая определяет целевое назначение системы, а переработка двух других компонент является вынужденной процедурой. Для системного подхода к решению проблемы проектирования и производства изделий БТС представляется целесообразным исходить из самого общего случая трехкомпонентной суперсистемы $S(M)$.

Функциональная схема трехкомпонентной суперсистемы, построенная по методике параграфа 2.3.1, показана на рис. 2.4.5, где исходные начальные ресурсы (их состав, количество и местополо-

жение) представлены нулевыми векторами количественных характеристик материи (m_0, E_0, I_0) а требования к конечным результатам – векторами ($m_{тр}, E_{тр}, I_{тр}$). Выход отходов ($m_{отх}, E_{отх}, I_{отх}$) для упрощения схемы на ней не показан. В данной суперсистеме S в качестве базового элемента выделен комплекс средств переработки материи $\Pi(M)$, основной функцией которого является проведение соединительно-разъединительных операций над массой, энергией и информацией. В результате этого получают новые требуемые сочетания компонент. Комплекс транспортных средств обозначен символом T . Для управления всей системой должен быть создан комплекс средств управления – Y , которые на основе анализа информационных потоков I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 выдают управляющие воздействия U_1, U_2, U_3 на соответствующие технические средства или

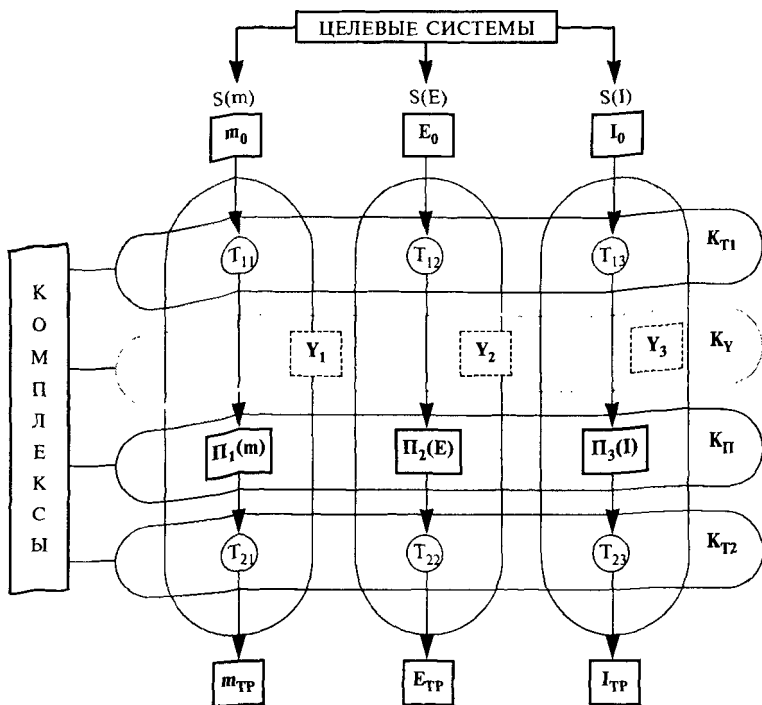


Рис. 2.4.6. Декомпозиция большой технической суперсистемы на технические комплексы и целевые системы

комплексы. Для оптимального прогнозирования процессов развития, управления ими и оценки эффективности БТС предложено [63] использовать как минимум три вида декомпозиции, показанные на рис.2.4.6:

1 – целевую декомпозицию на системы $S(m)$, $S(E)$ и $S(I)$;

2 – техническую декомпозицию на комплексы транспортировки ресурсов (K_{T1}), доставки результатов (K_{T2}) и удаления отходов (K_{T3} – не изображен), комплексы пере-

рабатывающих средств (K_P) и средств управления (K_Y);

3 – организационную декомпозицию (на ней остановимся подробнее). БТС на рис.2.4.5 и рис.2.4.6 изображена на этапе ее эксплуатации, однако для наших целей представляет интерес весь жизненный цикл системы и особенно этапы исследования, проектирования и создания БТС. При этом с учетом динамики развития состав БТС условно можно описать формулой:

$$S_{\text{БТС}} = S_{\text{БТС}}(S_A, S_M, S_{\text{Пр}}, S_{\text{ТС}}), \quad (2.4.7)$$

где S_A и S_M – аналог (прототип) и модель технической системы;

$S_{\text{Пр}}$ и $S_{\text{ТС}}$ – проект и эксплуатируемые технические средства. Перечисленные этапные образцы (S_M , $S_{\text{Пр}}$, $S_{\text{ТС}}$) создаются в результате усилий многих организаций, предприятий и учреждений, которые удобно разделить по пяти активным системам:

$S_{\text{инф}}$ – информационная система, работающая в нулевом итерационном цикле (см. рис.2.4.1);

$S_{\text{иссл}}$ – исследовательская система, которая на основе требований Заказчика изучает аналог (S_A) и формирует модель системы (S_M) в форме НТО, ТЗ, ТТГ и иных документов; $S_{\text{разр}}$ – разрабатывающая система, результатом деятельности которой является совокупность проектов ($S_{\text{Пр}}$), объединяющая всю документацию (ЭП, рабочих и другие проекты, в том числе их технологические части);

$S_{\text{произ}}$ – производственная система, обеспечивающая ТПП, освоение, изготовление, испытания технических средств БТС ($S_{\text{ТС}}$) и ввод ее в строй (капитальное строительство, серийное изготовление, монтаж и т.п.);

$S_{\text{экспл}}$ – эксплуатирующая система, которая занимается целевым применением $S_{\text{ТС}}$ по заданному назначению.

Здесь не рассматривается очень важная, но выпадающая за рамки

наших исследований торговая система $S_{\text{торг}}$, которая реализует либо саму систему, либо результаты ее деятельности, торгуя эффектом. В зависимости от этого $S_{\text{торг}}$ будет в цепи активных систем находиться или между $S_{\text{произ}}$ и $S_{\text{экспл}}$, или завершать эту цепь.

Отметим, что активные системы $S_{\text{инф}}$, $S_{\text{иссл}}$ и $S_{\text{разр}}$ в основном работают с информацией, т.е. являются системами класса $S(I)$, а $S_{\text{произ}}$ в большей степени будет представлять класс $S(m)$ или $S(m-I)$. Система $S_{\text{экспл}}$ также чаще всего относится к классу $S(I)$, хотя в силу специфики решаемых БТС задач возможны варианты с классами $S(m)$, $S(E)$ или $S(m-E)$.

Если продолжить углубление рекурсий производственных систем ($S_{\text{произ}}$), то необходимо рассматривать процессы проектирования и реконструкции заводов под производство новых технических изделий. В том числе надо анализировать вопросы технического перевооружения отрасли и ТПП. Ограничимся здесь рассмотрением взаимодействия перечисленных выше активных систем и результатов их деятельности (пассивных систем), представленных на рис.2.4.7.

Для замыкания организационной структуры в любой БОЭС необходимо увязать активные системы: $S_{\text{инф}}$, $S_{\text{иссл}}$, $S_{\text{разр}}$, $S_{\text{произ}}$, $S_{\text{экспл}}$. Эту функцию берет на себя система координации $S_{\text{коор}}$, которая наряду с решением задач стимулирования работы активных систем и форми...

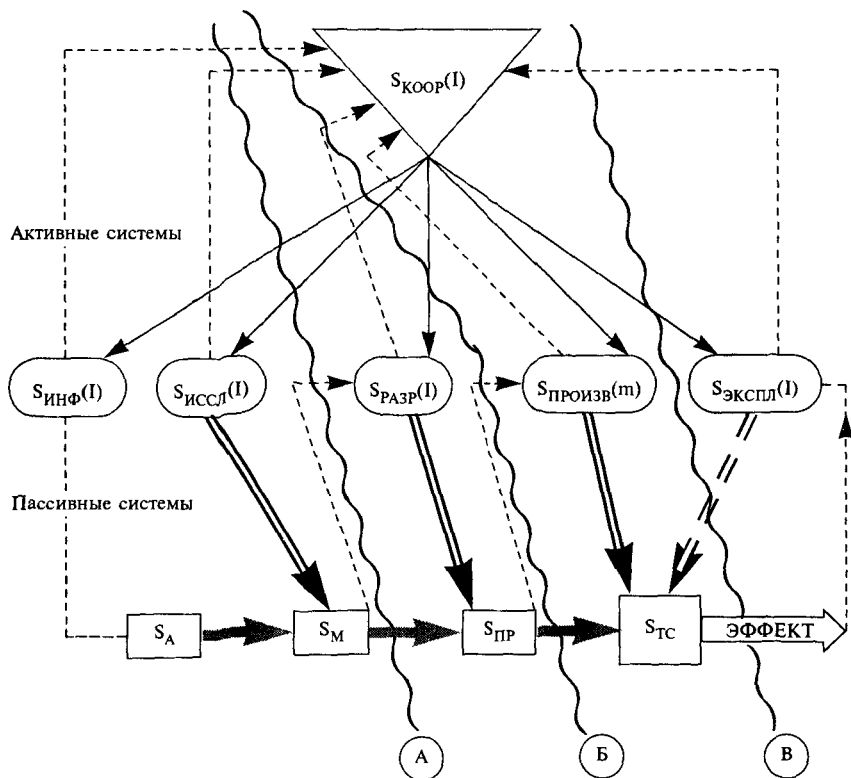


Рис. 2.4.7. Схема взаимодействия активных и пассивных систем

рования требований к процессам исследования, проектирования, производства и эксплуатации осуществляет задание, контроль и коррекцию требований по функционированию $S_{ТС}$, выделяя также на эксплуатацию текущие ресурсы $dm_{ЭК}(t)$, $dE_{ЭК}(t)$, $dI_{ЭК}(t)$, необходимые для поддержания заданных уровней надежности и эффектив-

ности $S_{ЭКСПЛ}$ и $S_{ТС}$. Вся совокупность рассмотренных систем и будет представлять сложную человеко-машинную суперсистему [33]:

$$\begin{aligned}
 S_{ЧМС} &= S_{пасс} + S_{акт} + S_{коор} = \\
 &= (S_A US_M US_{ПР} US_{ТС}) + \\
 &+ (S_{инф} US_{иссл} US_{разр} US_{произ} US_{экспл}) \\
 &\quad + S_{коор}.
 \end{aligned}
 \tag{2.4.8}$$

Знак U подчеркивает возможность пересечения функциональных обязанностей, т.е. активные и пассивные системы не суммируются, а объединяются.

На рис.2.4.7 схематически для конкретизации формулы (2.4.8) показаны взаимосвязи различных активных систем (обозначены овалами) и результатов их функционирования, т.е. пассивных систем (обозначены прямоугольниками). Система-координатор обозначена треугольником. Здесь 0-й иерархический уровень представляет координатор $S_{\text{коор}}$; 1-й уровень – активные системы $S_{\text{акт}}$; 2-й уровень – пассивные системы $S_{\text{пасс}}$. Следует иметь в виду, что каждая из упрощенно изображенных здесь систем имеет сложную внутреннюю структуру, аналогичную представленным на рис.2.4.5 и рис.2.4.6. Различные линии со стрелками обозначают разный характер связей (рис.2.4.7):

- 1) сплошные одинарные стрелки – координационно-управляющие воздействия от $S_{\text{коор}}$ к $S_{\text{акт}}$;
- 2) пунктирные одинарные стрелки – обратные информационные связи от $S_{\text{акт}}$ к $S_{\text{коор}}$;
- 3) заштрихованные стрелки – жизненный цикл БТС;
- 4) двойные без штриховки стрелки показывают «изготовителя» и его «объект» – продукт деятельности.

Анализируя схематически представленный на рис.2.4.7 жизненный цикл БТС, следует отметить наличие объективно существую-

щих «барьеров», которые обозначены волнистыми линиями с буквами А,Б,В:

А – между НИИ, задающим требование и формирующим комплексную модель, и КБ, разрабатывающим проект БТС.

Б – между КБ и производством, изготавливающим БТС.

В – между производством и эксплуатирующей организацией.

Если добавить $S_{\text{торг}}$, то появятся проблема сбыта продукции, анализа рынка, маркетинга и т.п., возникнет барьер Г. Противоречия между активными и, как результат, между пассивными системами для разных барьеров разрешаются различными путями. Барьер А «преодолевается» на этапе согласования ТЗ на БТС с последующим уточнением на этапе защиты эскизного проекта. Преодоление этого барьера достаточно хорошо обеспечено методически.

Барьер В «преодолевается» на этапе госиспытаний при сдаче системы заказчику и при опытной эксплуатации. И этот процесс в методическом плане, а также практически тоже вполне отработан.

Самым сложным оказывается барьер Б, по-существу, это технологический барьер между КБ и производством. Его «преодоление», в отличие от барьеров А и В, в традиционно сложившейся схеме, которая методически была слабо отработана, требовало много времени, большого количества итерационных уточнений, согласований, доработок, переделок не

только в процессе изготовления опытных партий изделий, но и в серийном производстве. Это наиболее дорогостоящий и опасный по своим последствиям «барьер», приводящий к «лихорадке» производства и резко снижающий эффективность процесса создания БТС. Как правило, его преодоление осуществляется не упреждающим разрешением противоречий, а запоздалой реакцией после их проявления. Однако при должном внимании к стыку «разработка – производство» и в случае принятия заблаговременных решений, наибольший эффект от управления достигается именно здесь, в этом узком месте всего жизненного цикла БТС.

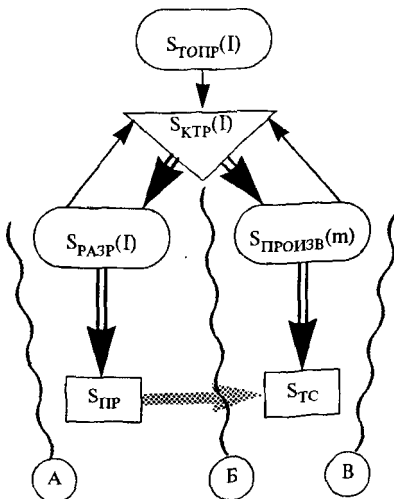


Рис. 2.4.8. Фрагмент сложной организационно-производственной системы

Такое особое свойство барьера Б объективно объясняется переходом от проектной (информационного типа) системы $S_{\text{разр}}(I)$ к производственной (массообработывающего типа) системе $S_{\text{произ}}(m)$. Принципиальные различия этих активных систем связаны с существенным различием их определяющих компонент (I) и (m), это и объясняет трудности перехода «от бумаги к металлу». Для разрешения возникающих здесь противоречий (с позиций системного подхода) было сформулировано и обосновано перспективное научное направление – **технологически ориентированное проектирование** новых изделий БТС на базе опережающего формирования, отработки и применения **конструкторско-технологических решений** (КТР) [33].

Суть его можно проиллюстрировать так. Выделив на рис.2.4.7 этот участок из схемы взаимодействия активных и пассивных систем, введем новый элемент: систему ($S_{\text{КТР}}$), работающую с КТР и как бы заменяющую координатора. По характеру связей видно, что «Система КТР» относится к информационному классу, решая задачи (рис.2.4.8):

1) приема информации от $S_{\text{разр}}=S_{12}(I)$ и $S_{\text{произ}}=S_{13}(m)$;

2) обработки, в том числе синтеза этой информации с целью получения новых ее совокупностей, в роли которых выступают КТР;

3) передачи директивной (обозначено двойными стрел-

ками) информации обратно к $S_{\text{разр}}$ и $S_{\text{произ}}$.

По существу своего назначения «Система КТР» должна «уничтожить барьер Б». Для создания системы $S_{\text{КТР}}(I)$ и обеспечения нормального ее функционирования потребуется ввести в виде дополнения к существующей $S_{\text{разр}}$ новую активную научно-исследовательскую систему технологического обеспечения проектирования $\Delta S_{12}(I) = S_{\text{ТОПР}}(I)$, которая так же, как и $S_{\text{КТР}}(I)$, может и должна использоваться в интересах всей отрасли, т. е. служить интересам многих КБ и производств, создающих всю совокупность разрабатываемых в отрасли изделий и БТС.

2.4.5. Классификация сложных систем и технологий

Классификация является важнейшей составляющей любой науки, она характеризует уровень исследований и объем накопленных знаний [38, 39]. Переходя к классификации сложных систем, следует рассмотреть вопрос о приоритетности признаков, которые можно расположить в следующем порядке:

- 1) материальность (вещи, образы, модели);
- 2) вид природы (неживая, живая, общество);
- 3) тип системы (активная, пассивная);
- 4) класс обрабатываемого компонента (m, E, I);

- 5) сложность (простая, целенаправленная, самоорганизующаяся);
- 6) целенаправленность (исследовательская, прикладная);
- 7) функциональность (перерабатывающая, транспортная, управляющая);
- 8) эффективность (основная, обеспечивающая, вспомогательная);
- 9) сфера действия (космос, атмосфера, суша, подземная, наводная, подводная);
- 10) предназначенность (мирная, военная, многоцелевая);
- 11) автономность (закрытая, частично закрыто-открытая, открытая).

В этом перечне в зависимости от целей системного исследования БТС и БПТС признаки по значимости могут меняться местами, их ряд всегда может быть расширен, например, учитывая государственность, техническое исполнение, применимость, динамичность, управляемость, преемственность, глобальность, практичность и др.

По каждому из признаков можно развивать классификационное дерево. В качестве примера рассмотрим седьмой признак. В общем случае основными системными процессами являются:

- 1) транспортировка в пространстве и во времени (хранение) исходных компонентов (ресурсов);
- 2) переработка их (преобразование с помощью соединитель-

но-разделительных операций исходных компонентов сырья в требуемый продукт того же компонента или преобразование одного компонента в другой, например, описываемое формулой $E=mc^2$);

- 3) транспортировка в пространстве и во времени конечного продукта к месту назначения и отходов к месту утилизации;
- 4) управление процессами внутри системы на основе обработки информации о требованиях, ресурсах и внутрисистемных процессах.

В соответствии с этим в БТС выделяются пять комплексов технических средств (которые можно в свою очередь рассматривать в соответствии с принципом иерархичности как сложные системные объекты):

- транспортирующий сырье,
- перерабатывающий,
- транспортирующий продукты,
- транспортирующий отходы,
- информационно-управляющий.

Более подробная классификация различных ЛА и построенных на их базе БТС приводится в 3-ей главе.

Представляет интерес системный анализ технологий. Сложившаяся стандартизированная и применяемая на практике классификация технологических операций машиностроения и приборостроения [38] идет в основном от практики производства деталей и изделий, т.е. от технологической функции к изготовляемому объекту. Такой консервативный подход служит тормозом для поиска новых наукоемких тех-

нологий, объединяющих способы, вещества и устройства на уровне изобретений и открытий. Более прогрессивным было бы использование классификатора «от конечной цели производства». Именно **идя от функциональности к субстратности**, системная методология изменяет и усиливает взаимосвязь всех наук: естественных, технических и общественных.

Предлагаемый ниже вариант технологической классификации переносит отправную точку (признак) «от способа производства» (от процесса и имеющихся технологических средств, материалов) на желаемый результат «от изготавливаемого объекта». К примеру, задаются форма и размеры детали, требуемые внутренние и поверхностные свойства. Деталь должна успешно выдерживать транспортировку «от станка» к «потребителю». Ее качество должно быть проконтролировано, а свойства испытаны. В конце концов заказчику неважно, каким способом изготовлена деталь: литьем, штамповкой, сваркой или механической сборкой, фрезерованием и т.д. Сейчас эти способы разбиты по разным переделам. И хотя не все они отнесены к формообразованию, фактически речь во всех случаях идет именно об образовании заданной формы изготавливаемой детали. В основу существующей классификации положены производственные удобства: наличие инструмента, специалиста-профессионала, отработанной технологии и т.п. Такая классифика-

ция, безусловно, тоже необходима, прежде всего для технологов. Но ее «зауженный подход» существенно ограничивает сферы применения новых наукоемких технологий другими специалистами.

Исходя из постановки проблемы «от изготавливаемого объекта», легко увидеть, что основные технологические процессы (операции) предназначаются для:

1) перевода объекта из одного класса в другой путем изменения формы (заготовка → деталь);

2) создания некоторого «внутреннего» свойства объекта (армирование);

3) улучшения характера взаимодействия с внешней средой («внешнего свойства» — эмалирование).

Исходя из этого и опираясь на существующую классификацию [38], целесообразно выделить семь классов технологий:

1) формоизменение (формообразование),

2) изменение внутренних свойств,

3) изменение поверхностных свойств,

4) контроль качества,

5) испытание свойств,

6) хранение и транспортировка,

7) утилизация.

Первые три класса справедливо признать **основными**, в них входят технологии изготовления.

Наиболее обширным является *первый класс* технологических процессов, изменяющих форму исходной заготовки (полуфабриката, материала). Сюда относятся:

— обработка резанием (токарная, сверлильная, фрезерная,...);

— электрохимическая, электрофизическая обработка;

— обработка давлением (ковка, штамповка,...

— литье, порошковое спекание, ...;

— формообразование из полимерных материалов, керамики, стекла и резины;

— сборка и соединение (механическое, сваркой, пайкой, склеиванием, диффузионным сращиванием,...) и др.

Второй класс включает: термообработку, армирование, вулканизацию, намагничивание и размагничивание, создание пористой структуры, изменение кристаллического строения, равномерное размещение присадок, изменение радиационных свойств и др.

К *третьему классу* относятся: поверхностная термообработка (закалка, отжиг), диффузионное насыщение, обезжиривание, окрашивание, шлифование, плакирование, цинкование, лакирование, напыление и др. Здесь наглядно видна путаница в признаках существующих классов: одновременно встречаются и материал, и способ, и средство, и процесс.

Следующие два класса **вспомогательные**.

Класс четвертый включает:

— контроль величин пространства и времени (размеров, расположения, формы, ...);

— контроль шероховатости;

— контроль механических величин (массы, плотности, давления,...);

- контроль электрических и магнитных величин;
- контроль тепловых величин и т.д.

Пятый класс содержит:

- испытания на надежность, на функциональность, на герметичность, на безопасность и т.п.;
- испытания механические;
- испытания на внешние воздействия (климатические, термические, электромагнитные, химические, биологические, ...) и др.

Последние два класса представляют **обеспечивающее** направление.

В *шестом классе* встречаются:

- перемещение внутривоздочное (прием, складирование, транспортировка между цехами, складами и т.п.),
- транспортировка за пределы производства,
- консервация и упаковывание,
- расконсервация и распаковывание,
- разборка крупногабаритного изделия перед транспортировкой и сборка после доставки на место использования;
- диагностика и плановые проверки состояния при хранении;
- защита от внешних (метеорологических, биологических и пр.) воздействий;
- охрана от вредительства и др.

В *седьмой класс* (он в классификаторах даже не упоминается) необходимо включить:

- методы разборки и сортировки;
- разгерметизацию,
- дефектацию,

- удаление опасных радиоактивных, химических и прочих составляющих;
- переработку утиля и др.

Следует отметить, что в существующих ГОСТах и классификаторах технологических операций машиностроения и приборостроения [38] наиболее отработанными с системных позиций являются разделы: «технический контроль» и «испытания». При контроле правильно выбран признак «поставленная задача удовлетворения заданным требованиям», а не способ или инструмент ее решения как, например, при обработке резанием. При испытаниях совершенно справедливо проверяются свойства «внутренние» или «способность противостоять внешнему воздействию». С этих позиций и составлены классы, в которые всегда легко «вписать» новые технологии.

2.5. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

2.5.1. Основы метода моделирования

Общих методов системного анализа, которые были бы пригодны для изучения и создания любых систем, в настоящее время нет. Задачи анализа и синтеза больших систем решаются построением соответствующих моделей. Различные цели создания моделей можно свести к двум основным:

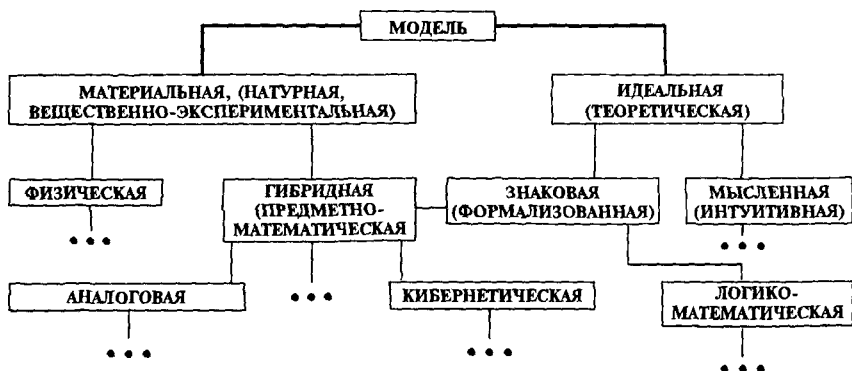


Рис. 2.5.1. Схема классификации моделей

1) служить инструментом конкретного расчета и выдачи рекомендаций;

2) дать возможность с помощью убедительного математического аппарата подкреплять эвристические догадки, интуицию и опыт лица, принимающего решения.

На рис.2.5.1 приведена схема первичной классификации моделей. Существует несколько направлений использования моделей [5, 8, 46, 60, 79 и др.]:

1) осмысление действительности и добыча новых знаний;

2) оптимальное проектирование объекта и технологий;

3) рациональное применение объекта в штатных и необычных ситуациях;

4) тренировки и обучение;

5) прогнозирование результатов и оценка эффективности;

6) выявление отрицательных и опасных последствий и др.

При исследовании БТС большое значение имеют модели: производственно-организационные, технологические, экономические. В прикладных задачах находят применение описательные и воспроизводящие (предсказывающие) модели. В технике модели служат вспомогательным средством создания и применения изделий (оптимизация и управление). В социальных науках их применяют для объяснения явлений и предсказания последствий от различных действий.

Изучая будущее системы с помощью моделей, часто решают проблемы:

1) прогнозирование (долгосрочное на 10-30 лет);

2) планирование (среднесрочное на 5-10 лет);

3) оптимальное программирование (краткосрочное на 1-5 лет).

При создании моделей приходится решать разнообразные за-

дачи: выявление функциональных отношений, описание свойств и отношений, оценка точности, сравнение с реальностью, анализ чувствительности, определение диапазона инвариантности, прогнозирование изменений и т.п.

В качестве основополагающего принципа моделирования предлагается использовать последовательное уточнение и усложнение моделей, когда вначале строятся грубые, но простые и легко обозримые модели, позволяющие получить необходимую информацию о главных воздействующих факторах. Затем они последовательно усложняются и уточняются результаты. Этот принцип позволяет практическим путем найти предел сложности модели, после которого дальнейшее усложнение может привести кроме ненужных затрат времени на моделирование еще и к искажению результатов из-за погрешностей в исходных данных и в ходе моделирования.

2.5.2. Математическое моделирование

После появления мощных ЭВМ стали широко использоваться **математические модели** вместо физических. С их помощью быстрее получаются результаты, меньше риска [8, 12, 32, 46, 52, 60, 79 и др.]. Но основа любой модели, в том числе и математической, — феноменологическая. Это означает, что какой бы абстрактной ни была модель, история ее созда-

ния всегда начинается с опытного изучения явления (феномена). Поэтому основными идеями всех оптимизационных моделей, определяющими принципами их построения, являются:

1) опора на физику явлений с разделением процесса на операции и соответствующая декомпозиция системы;

2) соблюдение детального материального баланса затрат ресурсов (m_0, E_0, I_0) и выпуска продукции ($m_{тр}, E_{тр}, I_{тр}$) с учетом образующихся отходов ($m_{отх}, E_{отх}, I_{отх}$).

При построении математической модели для решения задачи синтеза оптимальной системы надо придерживаться следующего порядка:

1) произвести качественное описание исторически сложившихся структур систем-аналогов, подобных исследуемой системе;

2) составить описание графа-сети научных проблем;

3) выбрать общий критерий функционирования всей системы;

4) построить математическую модель информационной динамики процесса в целом и определить на ее основе частные критерии оптимальности функционирования подсистем;

5) получить практические рекомендации по оптимизации исследуемой системы из общих теоретических положений, полученных в результате моделирования.

Приступая к использованию моделей для решения системных проблем, следует понимать причи-

ны и истоки конкретной возникшей проблемы, исходя из самой сути категории «проблема». Хотя «проблема» с греческого переводится как «задача», традиционно проблемой считается комплекс трудных теоретических или практических задач, требующих решения в условиях противоречивой ситуации относительно объектов, процессов и явлений. Среди практических трудностей применения моделей чаще всего встречаются:

а) сложность перехода от теории к практике;

б) трудная реализуемость технических средств «в металле»;

в) невозможность обеспечения функционирования;

г) недостижимость удовлетворяющего результата из-за расхождений требований и возможностей.

Эти трудности можно свести к трем кардинальным проблемам:

1) экономической (нехватка денежных средств);

2) организационной (невозможность осуществить запланированные взаимодействия элементов в системе и требуемый уровень функционирования);

3) адаптационно-адекватностной (реальность модельного решения).

По сути такая глобальная организационно-экономическая проблема заключается в трудности заблаговременного выбора оптимального распределения расходуемых ресурсов на всех этапах жизненного цикла системы. Существуют следующие способы

целостного описания сложных систем:

1) сочетание представлений научных дисциплин без сведения их к единой теоретической основе;

2) представление сложного объекта с помощью общей теории в виде структурной схемы, т.е. как системы, через которую в основном протекает либо вещество, либо энергия, либо информация.

При создании моделей БТС и ЧМС их Разработчиком совместно с Заказчиком должны выделяться определенные этапы системотехнической деятельности [22, 25, 67, 75 и др.]:

1) прогнозирование (процессуальное представление);

2) внешнее структурирование (макроскопическое представление);

3) внутреннее структурирование (иерархическое представление);

4) функциональное конструирование (функциональное представление);

5) морфологическое и технологическое конструирование (микроскопическое представление).

В процессе становления и широкого распространения БТС возникла необходимость в разработке особой методологии моделирования сложных систем. Работы в этом направлении ведутся с момента активного использования ЭВМ, имеются значительные концептуальные и практические достижения, хотя исчерпывающими их называть еще рано. Представляется целесообразным при моде-

лировании системных объектов использовать:

1) разработанный Бусленко Н.П. метод агрегирования систем [12];

2) теорию многоуровневых иерархических систем Месаровича М. [49];

3) принципы оптимальности и декомпозиции иерархических систем [62], построенные по аналогии с принципом оптимальности Беллмана [П*7];

4) глобальное моделирование суперсистемы с выделением пассивных, активных и координирующих систем с поблочной оптимизацией в локальных моделях подсистем [П*42];

5) декомпозицию системы по многим признакам (целевая, техническая, организационная, экономическая, экологическая и т.п.) [62];

6) динамический подход к критериальной базе [П*44].

Обычно в процессе разработки моделей выделяются следующие итерационно повторяющиеся этапы:

- 1) идентификация проблемы и постановка задачи;
- 2) анализ и описание объекта (А), перевод его в образ (А*);
- 3) построение модели (А**);
- 4) адаптация и корректировка;
- 5) применение для решения задачи;
- 6) анализ результатов и уточнение модели.

С использованием СП выявляются в качестве базовых элементов для моделирования традици-

онно рассматриваемые компоненты: состав, структура, свойства, отношения, процессы функционирования. Наибольшую ценность составляют многоцелевые модели, объединяющие все или хотя бы часть компонентов. Но такие модели, разумеется, более сложны для создания и применения.

Ивахненко А.Г. разработал оригинальный Метод группового учета аргументов, им рассмотрена **теория самоорганизации (СО)** с позиций практического прогнозирования [30]: «Известна ... неэффективность многих математических моделей сложных объектов. Принципы прогнозирования будущего также пока малоэффективны.» Он отмечает, что «...кибернетические модели могут доказать как одну, так и противоположную точки зрения. Достаточно подобрать соответствующую априорную информацию, всецело зависящую от субъективных исходных предположений автора модели.» Подчеркивая простоту предлагаемого Метода, Ивахненко утверждает [31]: «...Синтез модели по методам самоорганизации не требует глубокого понимания объекта. ...Организация измеряется степенью снижения энтропии – меры дисперсности объекта. ...Метод решения должен быть универсальным для всех задач. Человек практически задает машине только небольшую таблицу экспериментальных данных для ряда возможных наблюдаемых величин (указывая «среду» решения задачи) и,

главное, — критерий селекции математической модели сложного объекта.»

Согласно теории СО универсальный метод решения задач — это перебор (т.е. последовательное опробывание) различных вариантов математических моделей и их комбинаций при постепенном увеличении сложности. Оптимальное решение находится при сложности модели, адекватной сложности объекта («закон адекватности» объекта и регулятора). Для сложных процессов более эффективным оказался подход СО. Очевидно, полный перебор не требует разработки никакой теории. Разработка теории требуется только при необходимости вынужденного сокращения и рационализации перебора.

Основное открытие в этой теории состоит в установлении следующего принципа «...при постепенном повышении сложности математической модели некоторые критерии сначала снижаются, доходят до минимума, а затем начинают повышаться. Машина при помощи перебора способна находить минимум критерия. Это дает возможность передать вычислительной машине процесс нахождения единственной модели оптимальной сложности, т.е. реализовать на ней общую идею СО модели сложного объекта. Роль человека при этом довольно скромна: он указывает машине только критерий выбора и среду решения задачи. Изучение объекта необходи-

мо лишь в такой степени, чтобы грамотно выбрать достаточно полный список наблюдаемых переменных — «среда» решения задачи — и указать универсальный критерий селекции модели оптимальной сложности.»

Ивахненко формулирует пять основных задач, которые в будущем для осуществления полной самоорганизации нужно передать машине [30, 31]:

- 1) выбор критерия селекции;
- 2) выбор среды моделирования или списка возможных переменных, образующих так называемую систему элементов данного сложного объекта;
- 3) выбор опорной функции и ее сложности;
- 4) определение числовых оценок коэффициентов опорной функции оптимальной сложности;
- 5) ранжирование вариантов лучшего использования прогнозов для автоматического управления объектом.

Последние две задачи сейчас уже освоены на ЭВМ. Основными этапами внедрения Метода группового учета аргументов являются:

I. Разработка прикладных моделей для решения практических задач в конкретных сложных системах.

II. Целенаправленная регуляризация и однократный среднесрочный прогноз.

III. Системный многократный дифференциальный долгосрочный прогноз.

IV. Самоорганизация математических моделей на ЭВМ.

V. Автоматическое управление сложными объектами с оптимизацией прогноза.

2.5.3. Имитационное моделирование

При исследовании сложных объектов, которые трудно описать на формальном уровне, заметное развитие получило имитационное моделирование. Часто под этим понимается использование математических моделей, имитирующих некоторые условия проведения операций. Если для исследования отдельных операций такая трактовка допустима, то для сложных систем ее явно не достаточно. Поэтому в имитационную модель для системных исследований следует включать (как минимум) четыре элемента, три из них это локальные модели объекта, условий и процесса. **В качестве обязательного «четвертого блока» участвует человек с его формальным и неформальным мышлением** [4, 5, 19, 43, 64, 77, 78 и др.]. Схема создания таких моделей и применения показана на рис.2.5.2.

Имитационные модели имеют самое различное материальное воплощение: макеты, стенды, тренажеры и т.п. Широкое распространение с внедрением ЭВМ нашли модели-программы, «работающие» в паре с **человеком-оператором** (или группой партнеров). Часто при этом внешняя среда имитируется «вводными», устанавливаемыми другим человеком.

Именно в имитационных моделях, отказываясь от попытки формализации человека, удастся решить многие вопросы инженерно-психологического и организационно-управленческого плана. Здесь сочетание **«человек-программа»** позволяет обойти многие трудности информационной специфики взаимодействия материальных и идеальных объектов.

Издrevле известна «шахматная модель» противоборства, в которой давно используется системный подход. Причем полученные результаты настолько солидны, что их нельзя обойти стороной. Поэтому о них говорится в приложении. В своем учебнике [Гл.1*76] Эмануил Ласкер высказал мысли, имеющие прямое отношение к моделированию сложных систем: «...Найти правильный план так же трудно, как отыскать верное обоснование его. ... Появилось великое творение мысли – В. Стейниц провозгласил принципы шахматной стратегии. Принципы хотя и относятся к области абстрактного мышления, но корнями они связаны с жизнью.» Мысль Стейница исходила из того принципа, что **всякий план должен иметь основание**. О сущности этого основания ни один человек до Стейница не имел ясного представления. Это основание он видел в оценке. Со смелостью, отличающей гения, Стейниц выдвинул следующее утверждение: «...всякое положение характеризуется каким-нибудь признаком, каким-нибудь легко

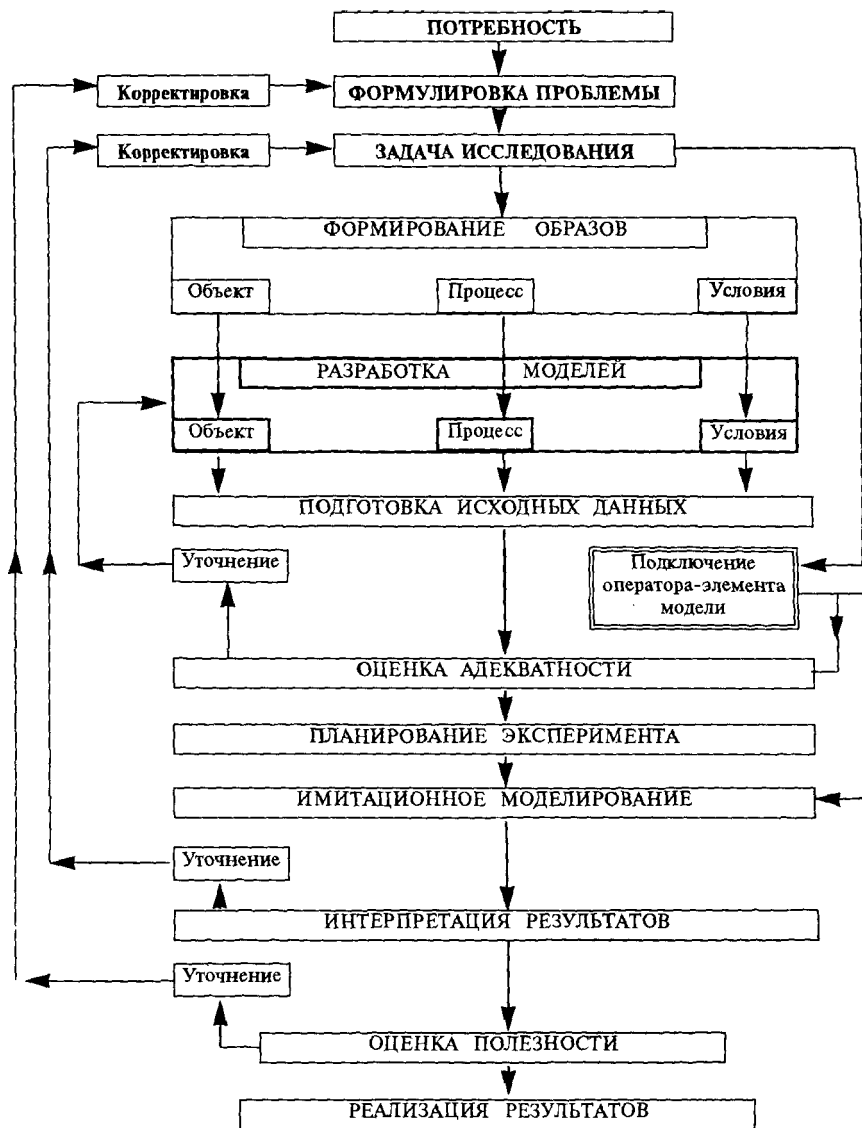


Рис. 2.5.2. Схема построения и применения глобальной имитационной модели, включающей локальные модели «Объект», «Процесс», «Условия» и «Оператор»

заметным моментом, позволяющим при выработке плана избежать огромной, невероятно сложной работы по отысканию среди многочисленных вариантов соответствующей данному положению комбинации.»

С разработкой методов математического и имитационного моделирования появилась возможность учитывать стохастичность и неопределенность в исходных данных, конфликтность требований и располагаемых средств, а также многокритериальность при выработке разного рода решений. В модель стали встраивать (как звено) живого человека. Когда перешли от отдельных изделий к долгоживущим большим техническим системам (БТС), возникла масса проблем, связанных с их моделированием. Во-первых, в связи с уникальностью сложных систем нельзя создать физическую модель, так как это равносильно строительству еще одного экземпляра такой системы. Во-вторых, из-за длительного жизненного цикла нельзя предсказать и смоделировать условия, в которых она будет эксплуатироваться через 20-30 и более лет. В-третьих, ошибочными получаются результаты, если БТС рассматривать в отрыве от человека, т.е. речь должна идти о человеко-машинных системах. В-четвертых, объемы перерабатываемой информации и количество моделируемых реализаций потребовали значительной длительности экспериментов, соизмеримой со срока-

ми жизни БТС. В-пятых, ЧМС являются частью более сложных социальных систем, будущее которых трудно предсказуемо и не поддается моделированию.

2.5.4. Классификация моделей

Несмотря на богатый опыт применения различных моделей, пока не разработано строгих правил перехода от сложной системы к модели. С одной стороны, не всё поддается формализации. С другой, задача выявления оптимального способа организационного управления системой решается в условиях многочисленных ограничений (тактического, технического, технологического, экономического или иного характера). Здесь важно найти разумное соответствие между системой и моделью. При выборе класса применяемой модели следует установить приемлемую степень ее сложности.

При разработке новых и применении готовых моделей следует в первую очередь учитывать **тип взаимодействия между системой и средой**. По этому признаку Клир Дж. выделяет три класса [П*76]:

1) абсолютно закрытые системы (не рассматриваются никакие взаимодействия системы со средой);

2) относительно закрытые системы, в которых точно определены пути воздействия среды на систему (входы системы) и системы на среду (выходы системы);

3) открытые системы (рассматриваются все возможные действия среды на систему и обратно).

Данную классификацию следует расширить и существенно конкретизировать, взяв за основу [63] обмен тремя ресурсными элементами-компонентами материи $M(m, E, I)$. Как упоминалось выше, входами будут материя M_0 (масса m_0 , энергия E_0 , информация I_0), а выходами $M_{\text{ВЫХ}}(m_{\text{ВЫХ}}, E_{\text{ВЫХ}}, I_{\text{ВЫХ}})$, среди которых выделяют требуемые (ради чего создается система) $M_{\text{ТР}}(m_{\text{ТР}}, E_{\text{ТР}}, I_{\text{ТР}})$ и отходы (вынужденная дань несовершенству технологии) $M_{\text{ОТХ}}(m_{\text{ОТХ}}, E_{\text{ОТХ}}, I_{\text{ОТХ}})$. Тогда справедливо будет выделить следующие классы (по входу компонент):

1) **закрытые** (полностью $M_0=0$), т.е. система работает на внутренних ресурсах и не общается с внешней средой;

2) **относительно закрытые**, т.е. система одноресурсная: или $m_0 \neq 0$, или $E_0 \neq 0$, или $I_0 \neq 0$.

3) **относительно открытая** (обмен идет по двум компонентам, закрыта по одному из ресурсов: или $m_0 = 0$, или $E_0 = 0$, или $I_0 = 0$), т.е. система двухресурсная.

4) **открытая** (полностью: $m_0 \neq 0$, $E_0 \neq 0$ и $I_0 \neq 0$), т.е. система трехресурсная.

По такой же схеме можно классифицировать системы, выделив степень открытости по выходу и учитывая, что $M_{\text{ВЫХ}} = M_{\text{ТР}} + M_{\text{ОТХ}}$.

Если входы и выходы по компонентам совпадают, то эти системы относятся к классу **симметричных**.

Если во внимание принимать только вход и обобщенный выход, т.е. учитывать M_0 и $M_{\text{ВЫХ}}$ по схеме $(m_0 - m_{\text{ВЫХ}} - E_0 - E_{\text{ВЫХ}} - I_0 - I_{\text{ВЫХ}})$ и применять булевы переменные, то число симметричных систем будет равно восьми. Среди них абсолютно открытые (1-1-1) и абсолютно закрытые (0-0-0); однокомпонентные: (1-0-0), (0-1-0), (0-0-1) и двухкомпонентные: (1-1-0), (1-0-1), (0-1-1).

Частично или полностью открытые системы могут иметь на входе из внешней среды (получать) какую-то одну компоненту (или две), а на выходе выделять в среду другую или другие компоненты. Такие системы будем называть **несимметричными**. Типичным примером несимметричной (по обрабатываемому компоненту) являются энергосистемы, сжигающие природное топливо: к системе в качестве ресурса подводится масса вещества (дров, угля, нефти и т.п.), а выводится требуемая электроэнергия, теплоэнергия и т.п. Одновременно в качестве побочного продукта выводится масса веществ (дым, зола, шлак), которые в принципе могут найти полезное применение: шлакобетон, зола в асфальтовое покрытие дорог, редкие элементы из дыма и т.п. Очевидно, в таких случаях появляется возможность получения дополнительного эффекта. Эта масса может оказаться и вредной: нарушать экологическую чистоту воздуха, необходимо вывозить отходы, т.е. нести убытки на удаление побочного продукта.

Для описания несимметричных систем приходится использовать булеву функцию с шестью компонентами. В частности для абсолютно открытых трехкомпонентных систем функция имеет вид: (1-1-1-1-1-1), для абсолютно закрытых: (0-0-0-0-0-0). По принятой классификации для упоминавшейся электростанции булева функция может быть представлена как (1-1-0-1-1-0). Первая переменная (1) означает, что на входе поступает масса топлива, вторая (1) отмечает выход массы веществ в отходы, четвертая (1) указывает на главную цель (выдавать во вне энергию), а пятая (1) говорит о поступлении из общей энергетической сети информация на увеличение или снижение выхода энергии.

Всего теоретически существует 64 класса систем (симметричных и несимметричных).

При моделировании сложных систем важно учитывать эти классы. Когда возникает необходимость проверить возможность использования существующей модели конкретной системы для исследования другой аналогичной системы, следует прежде всего сравнить их классы по булевым функциям. Если окажется, что они относятся к разным симметричным классам, например, модель (0-0-1) и система (1-1-0), то вначале следует проверить применимость модели одновременно к однокомпонентным и двухкомпонентным системам, а потом уже ее исполь-

зовать. Даже если обе системы двухкомпонентные, например, вида (1-1-0) и (0-1-1), то все равно следует проверить распространенность модели на любые двухкомпонентные системы и, в частности, на заданные.

По природе экономических отношений сложные системы, в частности БОЭС, и их модели можно разделить на следующие классы:

- а) производящие основную продукцию (завод, фабрика,...);
- б) вспомогательные, входящие в ближайшую инфраструктуру (связь, транспорт,...);
- в) потребляющие (госбюджетные организации: школы, вузы,...).

Новые наукоемкие технологии могут иметь **различный уровень сложности** в зависимости от иерархии объекта. Соответственно и описывающие их модели, например, производящих систем могут соответствовать различным иерархическим уровням:

- участок производства (бригада, цех,...);
- самостоятельное предприятие (завод, фабрика,...);
- объединение предприятий (НПО);
- отрасль;
- хозяйство страны;
- мировое хозяйство.

Для каждого класса и уровня системы подбираются и разрабатываются соответствующие им модели, описывающие микро- или макропроцессы:

- 1) технологические конкретные модели операций и процессов;

2) модели детального описания производственного участка, позволяющие планировать и оптимизировать процесс производства (модели управления запасами, программы для станков с ЧПУ);

3) глобальные конкретные модели для расчета материального баланса, для планирования и учета (в пределах участка, предприятия, фирмы) всех особенностей внешних связей предприятия (модели математического программирования);

4) абстрактные модели, сосредоточенные на балансово-рыночных соотношениях, сбыте продукции, конъюнктуре рынка, возможностях развития старого производства и его обновления (модели Леонтьева, Неймана, Гейла, применяемые на длительных отрезках времени в масштабах отрасли, кооперации фирм, страны, на международном уровне);

5) абстрактно-глобальные и весьма огрубленные модели, не касающиеся деталей производства и предназначенные для оценки социальных последствий от экономической деятельности и выбора стратегии. Эти модели оперируют терминами: капиталовложения, валовый продукт, национальный доход и т.п. (модели Вальраса, Парето, Мориса и др.).

Моделируемый процесс функционирования сопровождается изменениями в двух пластах. Во-первых, функционирование связано с внутренними изменениями состава элементов, их свойств и

структуры. Во-вторых, целенаправленный результат деятельности БТС направлен на изменение состава, свойств и структуры внешних систем, на которые направлено действие БТС.

Можно классифицировать модели и по другим принципам (признакам) на:

- а) статические и динамические;
- б) детерминистические и стохастические;
- в) дискретные и непрерывные;
- г) одноцелевые и многоцелевые;
- д) одноаспектные и комплексные и т.п.

По характеру использования модели можно разделить по следующим классам:

- 1) расчетно-оптимизационные,
- 2) игровые,
- 3) имитационные,
- 4) информационные и др.

2.6. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

2.6.1. Характеристики, параметры, показатели, критерии

Особый класс представляют задачи и модели для оценивания и сравнения вариантов БТС (состав, структура, функционирование и т.п.). Система характеризуется свойствами и отношениями, а также реализуемыми функциями. Их оценка строится на переработке информации по схеме: 1) сбор информации; 2) ее обработка;

3) расчет показателей; 4) ранжирование результатов; 5) выводы.

Эта оценка (рис.2.6.1.) нужна для:

1) *управления*, которое начинается с принятия решения на основе выбора среди располагаемых возможных вариантов;

2) *сравнения* полученного результата с запланированным ранее;

3) *прогноза* результатов;

4) *информационного обслуживания* банка данных и т. п.

Оценки бывают качественными, количественными и комбинированными; детерминированными и вероятностными; объективными и субъективными. *Качественные оценки* опираются на базу из принятых эталонов (аналогов, шаблонов, градаций, шкал, ступеней и т.п.) и часто носят сильно выраженный субъективный характер. Они имеют кластерные формулировки типа: меньше или больше, равно или не равно, хуже или

лучше и др. Анализируемые объекты распределяются по сортам, группам, ступеням и т.п.

Количественные оценки признаков и особенностей называются **характеристиками**. Если характеристика выделена среди других и указывается (отмеряется) в проектной или иной документации, то она становится **параметром**. Параметры разбиваются на различные классы: технические, технологические, физико-химические и т.д. Все количественно задаваемые параметры по своей величине могут быть оценены (замерены) с помощью измерительных средств (инструменты, приборы, ...).

Параметр, отражающий существенные признаки (обычно ограничивается или указывается требованиями и возможностями), называется **показателем**. В число показателей входят не только естественные (Ест) измеримые парамет-



Рис.2.6.1. Взаимосвязь между характеристиками, параметрами, показателями, критериями эффективности и оптимальности БТС

ры, но и искусственно (Иск) создаваемые показатели (денежные, вероятностные, относительные, удельные и т.п.), которые получаются расчетным путем на основе принятых по договоренности формул и методик. Поэтому искусственные показатели отражают условные свойства объекта под субъективным взглядом исследователя.

Обычно параметры и показатели разбивают по группам, характеризующим проектно-конструктивное, производственно-технологическое, эксплуатационно-функциональное совершенство. Во всех группах присутствуют показатели такого важного качества изделия как надежность, которая является свойством объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования (с учетом квалификации обслуживающего персонала).

Показатель, являющийся мерой, по которому вырабатывается и оценивается решение (оптимальное, рациональное, приемлимое, допустимое, возможное), служит **критерием** для принятия решения или оценки достигнутого результата. Его часто называют **критерием оптимальности**. Среди показателей имеется особый класс, называемых **критериями эффективности**. Нельзя восприни-

мать критерии эффективности и оптимальности синонимами, это допустимо лишь в частных случаях. Любой критерий эффективности может быть выбран в качестве критерия оптимальности. Но далеко не всякий критерий, используемый для принятия оптимального решения, связан с эффектом. Например, разработанный первый советский ИСЗ весил около 1300 кг, на нем планировалось проведение (в рамках Международного геофизического года) большого числа экспериментов. Ожидался значительный научный эффект. Но задержка возникла из-за неготовности многочисленной научной аппаратуры. В результате спутник полетел 15 мая 1958 года, имея на борту 968 кг научной и измерительной аппаратуры, как Третий советский ИСЗ. А его авангардное место занял простейший спутник (ПС), ставший (4.10.1957) Первым ИСЗ во всем мире. Главный результат был политический. На нем стояла только аппаратура двух радиопередатчиков (3,5 кг) и обеспечивающие бортовые системы. Это позволило провести единственный эксперимент по прохождению радиоволн (на двух частотах) через ионосферу. Научная эффективность полученных результатов на Первом и Третьем спутниках не соизмеримы. Но не эффект был критерием, для принятия решения главным было время. Надо было обогнать американцев. И в других случаях именно время, отпущен-

ное на создание БТС, или ограниченность средств выступают решающим критерием при выборе проектных вариантов. То есть время и деньги могут быть критериями оптимальности, но никак не эффективности.

Сравнение различных вариантов ЛА и БТС следует проводить при фиксированных требованиях к решению целевых задач, то есть в равных условиях. При этом надо учитывать, что эффект и затраты являются функциями от ТТТ и ЛТХ. В свою очередь, ЛТХ зависят от многих параметров КТР, которые вместе с производственными и эксплуатационными факторами определяют затраты.

Традиционно проектирование ЛА делят на два этапа. На первом, исходя из заданных ТТТ, определяют основные весовые, габаритные и аэродинамические характеристики. Разрабатывают конструкцию планера самолета, ориентируясь на средние возможности производства. На втором этапе осуществляется отработка на технологичность. При этом выбранные технологии оказывают серьезное влияние на массу конструкции, надежность ЛА, стоимость его изготовления и др. параметры. Поэтому возникает проблема выбора оптимальных КТР. Сложность задачи объясняется тем, что основные часто используемые характеристики: вес, показатели надежности и стоимости, имея принципиально различную сущность, тесно взаимосвязаны.

Во-первых, вес конкретного ЛА и его отдельных частей может объективно определяться взвешиванием, высота и скорость полета, другие параметры *измеряются* приборами и т.д.

Во-вторых, например, *рассчитываемая вероятность* безотказной работы не является измеряемой величиной. Она представляет некую условную величину, рассчитываемую по статистическим (безусловно, вчерашним) сведениям или принятым исходным данным, и не отражает свойств конкретного ЛА. Многие показатели надежности позволяют оценить обобщенную потенциальную способность совокупности одинаковых ЛА (массового производства), решать поставленные целевые задачи в определенных условиях. Сопоставить прогноз и реальность значений показателей надежности можно лишь после завершения работы всего упомянутого множества одинаковых ЛА. Такая оценка уже не оказывает влияние на принятое решение.

В-третьих, не меньшую сложность представляет использование *вычисляемых экономических показателей*. Приборов для объективного измерения величин стоимости так же, как и для вероятности, нет. Эти показатели тоже являются условными расчетными характеристиками, зависящими от волевых посылок организаторов производства, условий эксплуатации ЛА и торговли ее результатами. Более того, два абсолютно

идентичных ЛА (по всем ЛТХ, похожие внешне и т.п.) могут иметь разную стоимость в зависимости от большого числа факторов, не имеющих никакого отношения к конструкции и технологии. Например, две одинаковые детали, изготовленные по одинаковой технологии в Красноярске, Комсомольске-на-Амуре или Москве, будут отличаться по себестоимости. Или другой пример: неразличимые две детали, сделанные на Красмашзаводе в 1985 или 1995 годах, имеют существенно разную себестоимость. Отличаются по стоимости деталь сотая и миллионная. Приведенные аргументы направлены не на отказ от перечисленных трех характеристик, а на правильное их применение и на постоянное напоминание о возможных ошибках.

При формировании критериев нельзя ограничиваться уровнем ЛА. Необходимость сравнивать, анализировать и выбирать КТР постоянно возникает у проектировщика и конструктора. Известно, например, что сборно-клепаные панели дешевле аналогичных монолитных панелей, но последние легче клепанных. Выбор не является очевидным, требует анализа в конкретных условиях. Одним из способов сравнения выступает расчет стоимости, учитывающий различие применяемых технологических процессов. Сложность задачи выбора при проектировании любого технического устройства объясняется противоречивостью

предъявляемых требований. Для ЛА наиболее существенные противоречия возникают между требованиями уменьшения массы аппарата (в целом и отдельных элементов его конструкции, в частности) и необходимостью удовлетворения ряда других требований: повышения надежности, уменьшения стоимости изготовления и т.п. Вопросы выбора критериев сравнения КТР, разработки соответствующих методик, комплексного учета конструктивных, производственных, экономических факторов являются решающими при выборе КТР (см. гл. 4 и гл. 5).

Сравнение ЛА по изменению критериев их эффективности под воздействием принятого КТР необходимо, чтобы ЛА для решения одной и той же задачи рассматривались при одинаковых требованиях и внешних условиях.

Возвращаясь к вероятностным оценкам, отметим, что появление системы в некотором состоянии называется событием. В природе события и их количественные характеристики детерминированы. Но, занимаясь прогнозными расчетами, оценкой результатов наперед до свершения события, можно ошибиться давая количественную оценку. Для сглаживания таких ошибок и применяются вероятности, как элемент «игры» человека с природой, как абстрактные (идеальные, неизмеримые) величины. Неизмеримые величины в природе не существуют. Данное предостережение вовсе не

отвергает стохастические показатели. Но, применяя таковые, всегда следует помнить об абстрактности и применимости их только к массовым событиям, повторяющимся в почти одинаковых условиях. Среди многих показателей надежности встречаются измеримые (время наработки на отказ), но их обязательное осреднение в форме математического ожидания в конечном итоге также приводит к обобщенной абстракции. Почему мало используется вероятность у технологов? Только потому, что они главный упор в своей работе делают на материальный объект, на реальные свойства конкретной обрабатываемой детали, на осуществляемый технологический процесс, на физический эксперимент, на замер реального параметра в испытаниях и при контроле. Труд технологов всегда воплощается в осязаемые вещи с измеряемыми параметрами. Оценивая характеристики, задавая параметры, выбирая показатели и критерии космических аппаратов и систем, следует учитывать их особенности и взаимосвязь (рис.2.6.1). Поскольку изделия РКТ в основном являются транспортными средствами (носителями различной полезной нагрузки), поэтому при прогнозе их развития рекомендуется, по возможности, учитывать опыт развития транспорта, прежде всего, авиационного. Здесь должна просматриваться определенная аналогия в части выбора критериальной базы. К числу абсолютных показате-

телей, включаемых в эту базу, можно отнести:

- энергетические затраты на различных этапах полета (выведение, маневрирование, возвращение);
- весовые (массовые) показатели РКТ;
- величины грузо- и пассажиропотоков с учетом параметров орбит;
- объем основной, вспомогательной и обеспечивающей инфраструктуры;
- экономические и временные показатели и др.

В качестве внутрисистемных показателей используются:

- весовая отдача (коэффициент полезной нагрузки) ракет-носителей и космических аппаратов, самолетов и ракет;
- удельная энергоемкость на единицу массы;
- другие относительные или удельные показатели (например, выделение массы, объема, энергии на одного человека).

2.6.2. Методология оценки эффективности сложных систем

При комплексной оценке и сравнении ЛА надо соблюдать принцип сопоставимости целевой отдачи и условий ее получения, который имеет большое практическое и теоретическое значение. Без количественного выражения эффекта не удастся правильно и объективно решить

проблему оценки ЛА и БТС. Численный показатель позволяет изменять математические методы и модели, увязать расчеты на этапе проектирования с получаемым эффектом, оценивать различные мероприятия и принимать разумные решения. Особое значение он имеет для лица, принимающего решение (ЛПР) в условиях дефицита времени.

Целевая эффективность (или отдача) гражданских транспортных ЛА всегда связывается с производительностью и объемом работы, в частности, измеряется обеспечиваемым грузо- и пассажиропотоком. Целевая эффективность военных ЛА формулируется значительно сложнее и прямо зависит от характера назначения (боевое-основное, обеспечивающее, вспомогательное). Так, истребитель в «роли свободного охотника» (основная задача) отчитывается числом сбитых противников. В то же время самолеты-истребители ПВО (обеспечивающая) могут мало сбить бомбардировщиков врага, но успешно предотвратить проникновение противника к обороняемому объекту. Наконец, истребителям сопровождения ставится задача (вспомогательная) не на максимальное число сбитых самолетов противника, а на минимальное число невернувшихся собственных бомбардировщиков. Многоцелевой истребитель в разное время может использоваться во всех трех назначениях. Каждый

раз, естественно, критерии будут разными.

Для понимания методологии формирования критериев различного направления, например, для космических систем (КС), следует обратиться к схемам получения эффекта (рис.2.6.2):

а) прямой эффект в виде получения требуемого продукта основной системой ($M_{\text{тр}}^{\text{осн}}$);

б) выход основного продукта зависит от результатов работы обеспечивающей КС, поэтому ее эффект может быть оценен через влияние на эффект ($M_{\text{тр}}^{\text{осн}}$) и обязательно в случае востребования ($M_{\text{тр}}^{\text{обесп}}$);

в) аналогичная ситуация возникает при оценке результата ($M_{\text{тр}}^{\text{всп}}$) вспомогательной КС, который может быть правильно оценен лишь по вкладу в ($M_{\text{тр}}^{\text{осн}}$);

г) наиболее сложная схема предполагает анализ взаимодействия основной, вспомогательной и обеспечивающей систем одновременно, когда промежуточные эффекты ($M_{\text{тр}}^{\text{1всп}}$, $M_{\text{тр}}^{\text{2всп}}$ и $M_{\text{тр}}^{\text{обесп}}$) оцениваются по вкладу в конечный продукт ($M_{\text{тр}}^{\text{осн}}$).

Классификация систем на основные, обеспечивающие и вспомогательные (а других не бывает) с возможными многоцелевыми комбинациями позволяет сформировать наиболее важные положения концепции построения типовых моделей оценки эффективности и оптимальности БТС, особенности которых демонстрируются на рис.2.6.2.

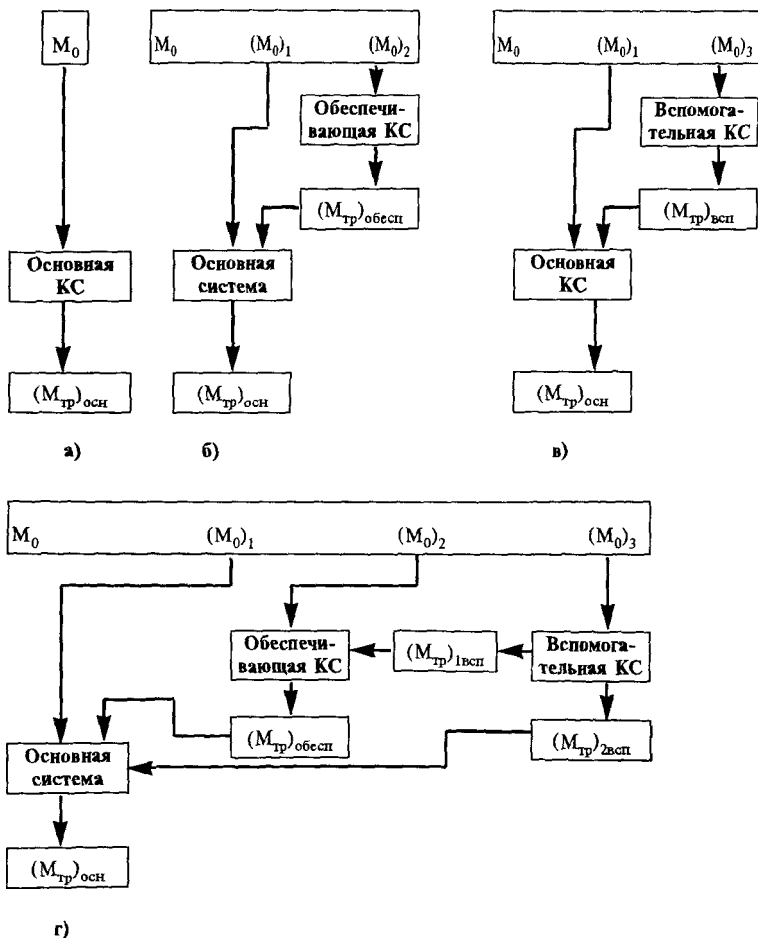


Рис. 2.6.2. Варианты взаимодействия основных, обеспечивающих и вспомогательных космических систем

Существуют различные постановки задач поиска оптимальных решений. В качестве примера рассмотрим одну из них, которая в общем виде представляется следующим образом.

I. Дано: а) вектор искомых параметров $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$;

б) критерий оптимальности в виде критерия эффективности $R(x)$.

II. Требуется найти значение вектора $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = ?$, обеспечивающее оптимум критерию:

$$\begin{aligned} \text{opt } R(x) &= \max R(x), \\ \text{то есть } \arg [\text{opt } R(x)] &= ? \end{aligned} \quad (2.6.1)$$

III. Заданы ограничения:

- а) уравнения и неравенства связей;
- б) на характер параметров, а также на область их существования.

IV. Известны (заданы, приняты) **исходные данные** (параметры, константы и т.п.):

- а) в критериальной функции;
- б) в уравнениях и неравенствах;
- в) в ограничивающих областях.

При подобной постановке задачи критерии эффективности и оптимальности тождественны. Поэтому задача оптимизации может быть решена лишь при наличии способа сравнения и выбора различных БТС, т.е. возможности количественно сравнивать эффективность. Методологические основы такой оценки предусматривают следующие шаги.

1. Необходимо выделить и описать оцениваемую систему с помощью модели, пригодной для расчета эффекта.

2. Установить смысл главного полезного (положительного) эффекта от функционирования БТС и побочных вредных (отрицательных) и полезных (положительных) эффектов.

3. Сформулировать математическую постановку задачи оптимизации (2.6.1.).

4. Формализовать критерии эффективности для принятой модели.

5. Разработать алгоритм математической модели, в которой критерий эффективности зависит от

показателей идентификации вариантов системы.

6. Выполнить четвертый раздел задачи, наполнив банк информации.

7. Провести моделирование и выработать рекомендации.

8. Проверить адекватность модели и практически оценить реальные значения критерия эффективности (a posteriori), сравнив их с расчетными (прогнозными) значениями потенциальной эффективности (a priori).

При работе с такой моделью применяются самые разные критерии, среди которых наиболее распространенными являются:

- целевая эффективность;
- экономическая эффективность;
- производительность (абсолютная, относительная, удельная)
- степень достижения нормированного уровня и др.

Известное множество критериев удается взаимно увязать, обобщить и представить несколькими классами в зависимости от особенностей оцениваемых систем. Предварительно следует отметить, что все задачи оценки эффективности можно разделить по двум группам:

1) оценка целевой эффективности от применения системы только на этапе (или его части) эксплуатации;

2) оценка общей эффективности системы за весь жизненный цикл.

Часто при проектировании БТС рассматривается триада показателей: целевая эффективность W ,

суммарная стоимость C , вероятность P . Тогда возникают различные постановки задачи оптимизации, которые схематично выглядят так:

$$1) \max W \text{ при } C \leq C_{\text{зад}} \text{ и } P = P_{\text{тр}}; \quad (2.6.2)$$

$$2) \min C \text{ при } W = W_{\text{тр}} \text{ и } P \geq P_{\text{тр}}; \quad (2.6.3)$$

$$3) \max P \text{ при } W = W_{\text{тр}} \text{ и } C = C_{\text{зад}}; \quad (2.6.4)$$

$$4) \max R \text{ при } C \leq C_{\text{зад}} \text{ и } P = P_{\text{тр}}. \quad (2.6.5)$$

Здесь выдерживаются ограничения на заданную стоимость $C_{\text{зад}}$ (отпущенный ресурс), на требуемые величины $W_{\text{тр}}$ и $P_{\text{тр}}$, приводится обобщенный относительный критерий $R = W/C$. Эквивалентность критериев эффективности и оптимальности соблюдается только в 1-ой (2.6.2) и 4-ой (2.6.5) постановках. Эффективность системы может регламентироваться и другими критериями, с помощью которых проводится:

1) внутренняя оценка удельной экономической отдачи одноцелевых систем:

$$\begin{aligned} R_{11} &= m_{\text{тр}}/C, & R_{12} &= E_{\text{тр}}/C, \\ R_{13} &= I_{\text{тр}}/C; \end{aligned} \quad (2.6.6)$$

2) внешняя оценка относительного эффекта:

$$R_2 = C_{\text{пр}}/C; \quad (2.6.7)$$

3) внешняя оценка абсолютного эффекта:

$$R_3 = C_{\text{пр}} = C_{\text{эфф}} - C; \quad (2.6.8)$$

4) сравнительная оценка эффекта с базовым вариантом БТС:

$$R_4 = C_{\text{Б}} - C; \quad (2.6.9)$$

5) общая оценка трехцелевой системы, учитывающая удельную стоимость единицы требуемой продукции:

$$R_5 = \frac{(\xi_m)_{\text{цз}} m_{\text{тр}} + (\xi_E)_{\text{цз}} E_{\text{тр}} + (\xi_I)_{\text{цз}} I_{\text{тр}}}{(\xi_m) m_o + (\xi_E) E_o + (\xi_I) I_o + (\xi_{\text{ч}}) \text{Ч}_o} \quad (2.6.10)$$

Дополнительным условием могут быть сроки создания ЛА и БТС.

В формулах (2.6.6)-(2.6.10) обозначены:

$m_{\text{тр}}, E_{\text{тр}}, I_{\text{тр}}$ – суммарный объем произведенной требуемой продукции (компоненты: масса вещества, энергия, информация) за время $T_{\text{АФ}}$ активного функционирования БТС;

$$C = C_{\text{созд}} + C_{\text{экспл}} \quad (2.6.11a)$$

– суммарные затраты на создание системы и на ее эксплуатацию в течение времени $T_{\text{АФ}}$;

$C_{\text{пр}}(m_{\text{тр}}, T_{\text{АФ}}) = (\xi_m)_{\text{цз}} m_{\text{тр}}$ – полный экономический эффект за время $T_{\text{АФ}}$ (например, от получения $m_{\text{тр}}$), т.е. прибыль, равная разнице между доходами и расходами от использования заказчиком продукции $m_{\text{тр}}$;

$C_{\text{эфф}}$ – «цена эффекта» от реализации результатов работы БТС;

$(\xi_m)_{цэ}$, $(\xi_E)_{цэ}$, $(\xi_I)_{цэ}$ – удельные стоимости целевого эффекта (цэ) за единицу требуемой продукции;
 m_o , E_o , I_o , $Ч_o$ – расходуемые ресурсы вещества, энергии, информации и трудозатраты;

ξ_m , ξ_E , ξ_I , $\xi_Ч$ – удельные стоимости соответствующих ресурсов;

C_B – суммарные затраты на базовый (заменяемый) вариант БТС. Очевидным путем суммарные затраты и прибыль в других случаях могут быть распространены на иные типы компонент материи путем замены $m_{тр}$ на $E_{тр}$ и $I_{тр}$.

Эксплуатационные затраты определяются по формуле

$$C_{экспл} = (\xi_m)m_o + (\xi_E)E_o + (\xi_I)I_o + (\xi_Ч)Ч_o + (\xi_{отх})M_{отх}. \quad (2.6.11б)$$

Расходы на создание системы равны

$$C_{созд} = C_{П} + C_{Тр1} + C_{Тр2} + C_{Тр3} + C_{у}. \quad (2.6.11в)$$

Политика применения ресурсосберегающих технологий при выпуске, например $m_{тр}$, может реализовываться в моделях путем введения функциональных зависимостей вида:

$$\begin{aligned} \xi_m(m_{тр}/m_o); & \quad \xi_E(m_{тр}/E_o); \\ \xi_I(m_{тр}/I_o); & \quad \xi_Ч(m_{тр}/Ч_o). \end{aligned} \quad (2.6.12)$$

В выражениях (2.6.10)-(2.6.12) используются удельные стоимости (ξ_i) оплаты за единицу соответ-

ствующего ресурса ($i=m,E,I$) и расходы (C_i) на создание комплексов технических средств переработки ($C_{П}$), транспортировки ($C_{Тр1}$, $C_{Тр2}$, $C_{Тр3}$) и управления ($C_{у}$), а также удельные расходы $(\xi_{отх})$ на утилизацию отходов материи ($M_{отх} = \{m_{отх}, E_{отх}, I_{отх}\}$).

Использование приведенных зависимостей позволяет решать задачи:

- выбора рациональных проектных параметров БТС на этапе эскизного проектирования;
- оптимизации технологии эксплуатации БТС;
- оценки прибыльности и самоокупаемости БОЭС;
- сравнения различных вариантов БТС.

2.6.3. Критерии эффективности и оптимальности сложных систем

Проблема оценки эффективности предлагаемых решений, их сравнения и выбора оптимального для системного анализа всегда была актуальной. Предлагалось множество путей выбора разумного решения, некоторые упоминались выше. Среди известных работ можно упомянуть [1, 8, 9, 23, 40, 48-62, 70 и др.]. Обычно во главу угла ставится эффект, связанный с основным результатом работы БТС, «выпускаемым продуктом». Здесь справедливо мнение: «...Каждая такая вещь есть совокупность многих свойств и потому может быть полезна различными своими сторо-

нами» [П*40]. Этот продукт может рассматриваться с разных точек зрения. Под эффектом принято считать результат, полученный при функционировании рассматриваемой БТС. Поскольку для разных субъектов один и тот же результат может быть полезным или вредным (например, для воюющих сторон), очевидно надо всегда обращать внимание на принципиальную субъективность любых критериев. При сравнении прогноза и достигнутого результата на первое место выходит цель.

Целевая эффективность БТС – свойство системы, проявляющееся при ее эксплуатации и отражающее степень пригодности для использования БТС по своему целевому назначению. Короче, эффективность отражает степень приспособленности к выполнению поставленной задачи.

Критерии эффективности – это объективные показатели, имеющие количественное выражение и предназначенные для оценки результатов применения БТС. С помощью этих критериев можно определить степень пригодности системы к выполнению свойственных ей задач при определенных дисциплинирующих и внешних условиях.

Оценка эффективности есть процедура установления на основе выбранного критерия преимуществ и недостатков конкретной БТС или отдельного ЛА по сравнению с аналогичными действующими или вновь создаваемыми.

Если результаты (Q) от применения БТС и затраты (C) на нее удастся выразить в одних единицах измерения, то при значении относительного критерия оптимальности $R=(Q/C)-1$ больше нуля налицо положительный эффект, а при $R<0$ – эффект отрицательный. Аналогичный вывод получится при сравнении исследуемого с базовым вариантом для $R=(Q_{иссл}/Q_{баз})-1$. При оценке эффективности необходимо анализировать все возможные полезные свойства новых БТС, не забывая и про вредные. Свойства ЛА могут определяться или отдельными показателями (дальность, скорость, грузоподъемность и т.п.), или же более общими объединяющими показателями (полная производительность, боевая эффективность и т.п.). Список свойств непосредственной прямой полезности достаточно широк. Важным видом полезности является косвенный эффект от создания нового ЛА, который связан с накоплением научного задела, производственного опыта, применения новых материалов и технологий, повышением производственной культуры, появлением новых направлений науки и техники и т.д.

Данный подход позволяет сформировать комплексный критерий выбора. В качестве варианта, например, предлагается следующая формулировка обобщенного показателя [§3.3*3]: «Показатель эффективности большой системы – это количественная характеристи-

ка конечного результата ее функционирования и развития в течение обусловленного периода в сравнении с целевым нормативом и расходом ресурсов при заданном векторе управления». При этом в качестве норматива может выступать эталон, аналог, конкурент, противник и т.п. Эффективность технологических систем выражает производственные отношения в форме «цель-затраты-результат». Диалектическое единство этих трех составляющих является методологической основой стратегии технологической оптимизации.

Цели оценки эффективности:

- а) исследование технического прогресса;
- б) изыскание резервов и путей повышения отдачи БТС;
- в) оценка результативности активных систем, реализующих процессы проектирования, изготовления и эксплуатации;
- г) изыскание способов сокращения сроков создания ЛА и развертывания серийного производства.

Комплексный подход к выбору критериев эффективности и оптимальности сложных систем позволяет учитывать эффект от прямых и косвенных результатов, рассматривая их в единстве полезности с издержками общественного труда. Поэтому при оценке эффективности одним из обобщенных критериев верхнего уровня является соотношение степени полезности (потребительской ценности или стоимости) с затратами труда, ресурсов, времени. Эти две стороны

взаимодействуют в соответствии с законом борьбы противоположностей. Необходимо, чтобы критерий учитывал характер и величину общественной потребности, побуждавшей создавать данную БТС или ЛА, и затраты труда. Это соответствует главному принципу материального производства, согласно которому общество должно «...производить данный продукт возможно меньшими затратами сил и средств..., экономно расходовать свои силы и достигать производственной цели с наименьшими затратами средств.» [П*40].

Системный подход к оценке экономической эффективности ЛА и БТС требует рассмотрения затрат в динамике всего жизненного цикла. Величина затрат в каждый период времени находится под влиянием цен, зависит от регламента прибыли, инфляции и др. факторов, выходящих далеко за пределы сложной системы. Поэтому удобным показателем является себестоимость изготовления и эксплуатации. Значение фактора времени для АРКТ столь велико, что во многих случаях выбирается для принятия решения критерий быстрогодействия. При комплексной оценке результаты количественного и качественного анализа не должны противопоставляться.

Выбирая критерии эффективности, необходимо углубляться в суть потребности и процессов ее реализации, не ограничиваясь лежащими на поверхности явлениями или фактами. Для ЛА граждан-

ского назначения эффект должен выражаться в различных единицах измерения: тонно-километры, пассажиро-километры, гектары обработанных посевов или площади, инспектируемой пожарниками и геологической разведкой. В качестве целевой отдачи здесь можно использовать прибыль от применения того или иного ЛА, выражающую рентабельность гражданских БТС.

Измерители ресурсов ($m_o, E_o, I_o, D_o, Ч_o$) весьма многомерны, поэтому существует широкое разнообразие обобщенных критериев эффективности. Одним из них является $R=Q/C$.

Хорошо разработанным следует считать подход к оценке эффективности при решении технологических вопросов на этапе проектирования ЛА, представленный в монографии [§3.4*2]:

Построение научно обоснованной иерархии критериев является центральной проблемой теории и практики развития технического уровня БТС и эффективности ЛА. Этот комплекс можно представить в виде иерархической древовидной структуры, на верхнем уровне которой находится обобщенный критерий. Нижний уровень представлен параметрами элементов системы. Между основанием и вершиной находятся количественные показатели подсистем и элементов. Пример дан ниже (см. рис. 5.2.1). На нижнем и промежуточных уровнях должны оцениваться свойства КТР.

Кроме перечисленных выше, между критериями эффективности и оптимальности сложных систем есть еще одно упоминавшееся существенное отличие: временное. **Критерий оптимальности** рассчитывается для принятия решения, его количественная величина имеет смысл до принятия решения. Когда же оно реализовано уже никакой оптимизации не требуется. **Критерий эффективности** имеет более широкое хождение на оси времени. До свершения оцениваемого события он рассчитывается как показатель будущей потенциальной (ожидаемой, планируемой) эффективности. После наступления события эффект измеряется и оценивается по фактическому состоявшемуся результату. Только в этот момент эффект содержит свой коренной смысл, т.к. он появляется лишь в процессе применения системы по своему основному назначению. Здесь проявляется важная особенность метода моделирования, который построен на взаимосоответствии материальных объектов и их моделей (идеальных объектов).

И состояния системы также можно классифицировать по этому принципу: материальные и идеальные. Свершившийся факт, знаменует переход системы в некоторое состояние $A(t)$, материализованное. Планируемое (рассчитываемое) A^{**} может никогда не реализоваться: оставаясь на бумаге «чистой идеей». В соответствии с таким раскладом следует

различать оценки материальных и идеальных состояний. В этой связи имеет смысл еще раз предостеречь от неосторожного обращения с вероятностью как критерием. Примером может служить анализ полета межпланетных КА «Фобос-1» и «Фобос-2» к Марсу. Может ли достигнутый результат работы БТС (ее эффект) измеряться вероятностью? Конечно, нет. Допустимо лишь говорить о частично выполненной программе «Фобосом-2». Хотя до полета предлагались вероятностные оценки. Но, что характерно, даже после уже завершившейся программы нельзя проверить правильность этих оценок. Такова природа вероятностей. Если событие свершилось, то оно является достоверным и имеет $P(D)=1,0$. Поскольку эффект может «быть» или «не быть», то и вероятность принимает лишь два крайних значения $P(D)=1,0$ или $P(H)=0,0$. Отсюда очевидно, что оценка вероятности просто потеряла смысл. Как говорят остряки: «наполовину родиться нельзя». Если же в качестве оценки при оптимизации сложной системы использовать ожидаемый результат (по критерию потенциальной эффективности), тогда другое дело. Можно использовать вероятность, математическое ожидание, дисперсию и т.п. Но и в этом случае необходимо помнить, что для уникальных БТС, существующих порой в единственном экземпляре, вероятностные показатели, рассчитываемые на массовые со-

бытия, не имеют смысла. Эту ситуацию наглядно демонстрирует расстановка на оси времени

$$t_0 \rightarrow t_{\text{расч}} \rightarrow t_{\text{соб}} \rightarrow t_{\text{знан}} \rightarrow t_k$$

T_1 T_2

следующих событий и моментов:

- 1) $t_{\text{расч}}$ — момент расчета (прогноза);
- 2) $t_{\text{соб}}$ — момент получения результата (события);
- 3) $t_{\text{знан}}$ — момент получения информации (знаний) об этом результате.

Применение критериев оптимальности происходит в период $T_1=t_{\text{соб}}-t_{\text{расч}}$. Здесь еще можно говорить о вероятности $P_{\text{соб}}$ будущего события. В период $T_2=t_{\text{знан}}-t_{\text{соб}}$, когда к нам еще не поступила информация и мы не знаем о состоявшемся событии, можно продолжать оценивать его по предполагаемой вероятности $P_{\text{предп}}$ случившегося. После получения информации в момент $t_{\text{знан}}$ следует говорить лишь о достигнутой величине, но не случайной. Напомним, что вероятностью называется относительная частота появления рассматриваемого события при стремлении числа испытаний к бесконечности. В каждом конкретном случае редкого события существуют лишь два ответа на прогноз: или «да», или «нет». Когда речь идет о множестве транспортных операций снабжения орбитальной станции, тогда с учетом их массовости можно рассчитывать вероятность. А для уникальной операции в сложной системе это бессмысленно.

Следует учитывать, что решаемые, например, **космическими системами** (КС) задачи подлежат ранжированию с учетом взаимосвязи и зависимости систем различного типа. Исходя из деления систем на основные, обеспечивающие и вспомогательные, можно сформулировать требования к построению типовых моделей оценки эффективности и оптимизации, особенности которых схематически показаны на рис.2.6.2.

При решении **основной задачи** (рис.2.6.2а) в качестве критериев, используемых раздельно или в комбинациях могут служить:

W – абсолютный критерий целевой эффективности решения задачи;

$R=W/C$ – относительный общий критерий эффективности, представляющий отношение целевого эффекта и суммарных затрат;

$dW=W_H-W_B$ – разностный критерий, указывающий на преимущество оцениваемой (новой) системы по сравнению с базовым (нормированным или конкурирующим) значением показателя;

$W_{отн}=W_H/W_B$ – относительный критерий целевой эффективности;

$C_{пр}$ – абсолютный критерий экономической эффективности в виде прибыли (эффект и затраты исчисляются в денежном выражении);

$C_{отн}=C_{эфф}/C$ – относительный критерий экономической эффективности (в форме рентабельности);

P – вероятность решения задачи с учетом заданных ограничений или дисциплинирующих условий

в качестве оценки потенциальных возможностей.

При решении **обеспечивающей задачи** (рис.2.6.2б) критерии должны учитывать вклад обеспечивающей КС в эффективность решения основной задачи обеспечиваемой системы, которая не является космической. Например, КС метеонаблюдения может выдавать информацию сельскохозяйственной основной системе. Критериями обеспечивающих КС будут:

$dW_o=W_K-W_o$ – прирост абсолютного значения критерия целевой эффективности решения задачи основной системой за счет применения обеспечения КС;

$W_{отн}=dW_o/W_o$ – относительный прирост целевой эффективности;

$dC_o=C_K-C_o$ – снижение затрат на основную систему;

$dR=(R_K/R_o)-1$ – увеличение относительного общего критерия эффективности;

$dP=P_o-P_K$ – абсолютное уменьшение вероятности отказа (невыполнения функции основной системой);

$(dP)_{отн}=dP/P_o$ – относительное уменьшение этой вероятности.

Здесь W_o , C_o , P_o обозначают показатели основной системы без применения обеспечивающей КС, а W_K , C_K , P_K – эти же показатели с космическим обеспечением.

Решение **вспомогательной задачи** (рис.2.6.2в) осуществляется в двух вариантах. Если вспомогательная КС повышает эффективность основной системы то наблюдается полная аналогия с оценкой вклада обеспечивающей системы в соот-

ветствии со схемой рис.2.6.2б. В случае использования вспомогательной КС в интересах обеспечивающей КС подобную операцию оценки прироста эффекта следует повторить дважды. Вначале учесть влияние вспомогательной КС на обеспечивающую КС, а затем оценить прирост эффекта в основной системе (рис.2.6.2г).

При сравнении сложных систем часто используется набор показателей, называемый векторным критерием. Такие задачи называются многокритериальными или векторными [18, 58, П*51]. Следует указать, что **векторная оптимизация является широко распространенным мифом**. Она начинается с провозглашения векторного критерия, все компоненты которого очень важны, а заканчивается отказом от вектора и переходом к скаляру. Это осуществляется либо путем ранжирования показателей, либо их «сворачиванием» тем или иным способом в условный скаляр. Пока удалось с помощью метода диаграмм решить лишь задачу с двухкомпонентным вектором (см. главу 5), не теряя свойств обоих критериев.

2.6.4. Оценка динамической эффективности при моделировании сложных систем

При моделировании сложных систем возникают проблемы учета **взаимовлияния и увязки требований с располагаемыми возможностями**, которые могут заметно изменяться. Это порождает задачу оценки **динамической эффективности БТС**. Традиционно применяются в основном два подхода к повышению эффективности сложных систем:

- 1) при обеспечении заданного **уровня требований (А)** к задачам системы минимизируются затраты (С) по схеме (рис.2.6.3а) ;
- 2) для выделенных средств (С) и соответствующих им **возможностей (В)** максимизируется (рис.2.6.3б) степень удовлетворения требований (А).

Однако приемлемые для простых объектов такие схемы применительно к сложным системам представляют лишь частные случаи более общей модели (рис.2.6.3г), из которой легко получаются еще два частных случая, условно представленные на

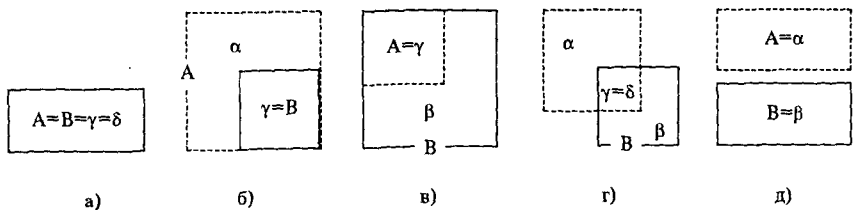


Рис. 2.6.3. Теоретико-множественные схемы взаимосвязей требований (А) и возможностей БТС (В)

рис.2.6.3в и рис.2.6.3д. На рисунках обозначены:

А и В – множества (области) требований и возможностей;

α – нерешенные задачи (неудовлетворенные требования);

β – неиспользованные возможности;

γ – решенные задачи (удовлетворенные требования);

δ – использованные возможности.

Итак, в рассматриваемой ниже постановке (в соответствии с законами теории множеств) исследуются пять вариантов пересечения множеств задач $A = \alpha + \gamma$ (пунктир) и множества $B = \beta + \delta$ (сплошные линии). Конечно, динамика изменения эффективности лучше всего отражается общей моделью (рис.2.6.3г), так как она позволяет учитывать как постоянное повышение требований (А), так и расширяющиеся (или сужающиеся) возможности (В) сложной системы на различных этапах ее жизненного цикла. Та-

кая модель особенно характерна для уникальных БТС. Фактически, любая, например, космическая система развивается поэтапно. Вначале уже на этапе ЛКИ ведется опытная эксплуатация. Затем объем решаемых задач доводится до штатной величины. Наконец, проводится модернизация КС. То есть существенно расширяются первоначально закладываемые возможности. Увидев новые возможности, Заказчик усиливает требования и т.д. Предлагаемый методологический подход направлен на учет подобной динамики развития БТС.

В табл.2.6.1 представлен **теоретико-множественный анализ динамической эффективности** в простейшем случае, когда одна задача (одно множество требований А) решается одной БТС (одно множество В).

Для общей модели при наличии нескольких систем, решающих проблему вместе, можно выделить три тенденции:

Таблица 2.6.1.

Простейшая схема оценки динамического эффекта (рис. 2.6.3)

Вариант	Основная формула	Структура множеств	Области *) подмножеств	Области критериев
а	$A = B$	$A = B = \gamma$	$\alpha = 0; \quad \beta = 0$	$\eta_{\gamma} = \eta_{\delta} = 1$
б	$A > B$	$A = \alpha + \gamma; \quad B = \delta$	$\alpha > 0; \quad \beta = 0$	$0 < \eta_{\alpha} < 1; \quad \eta_{\delta} = 1$
в	$A < B$	$A = \gamma; \quad B = \beta + \delta$	$\alpha = 0; \quad \beta > 0$	$\eta_{\beta} = 1; \quad 0 < \eta_{\delta} < 1$
г	$A \cap B \neq \emptyset$	$A = \alpha + \gamma; \quad B = \beta + \delta$	$\alpha > 0; \quad \beta > 0$	$0 < \eta_{\alpha} < 1; \quad 0 < \eta_{\delta} < 1$
д	$A \cap B = \emptyset$	$A = \alpha; \quad B = \beta$	$\gamma = 0; \quad \delta = 0$	$\eta_{\alpha} = 0; \quad \eta_{\delta} = 0$

*) Если задача решается только рассматриваемыми средствами и возможности БТС используются только для выдвинутых задач, то в вариантах а, б, в и г всегда соблюдается условие $\gamma = \delta \neq \emptyset$

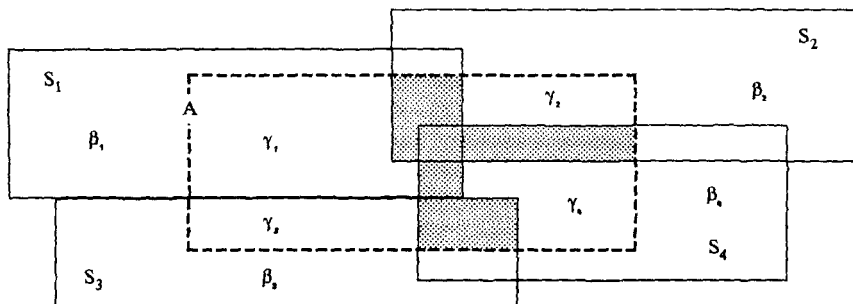


Рис. 2.6.4. Теоретико-множественная схема взаимосвязей требований (A) и возможностей нескольких БТС (S_1, S_2, S_3, S_4) при полном удовлетворении требований

1) желание Заказчика решить весь объем задач, даже в ущерб загрузженности БТС (рис.2.6.4);

2) стремление проектировщика подогнать задачи под возможности;

3) стремление эксплуатанта максимально загрузить систему (рис.2.6.5).

В первом случае применяется одновременно несколько систем (на рис.2.6.4 их четыре: S_1, S_2, S_3, S_4), позволяющих охватить все множество (A) требований к объему и качеству решения задач $A = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4$. Реально получается не суммирование а объе-

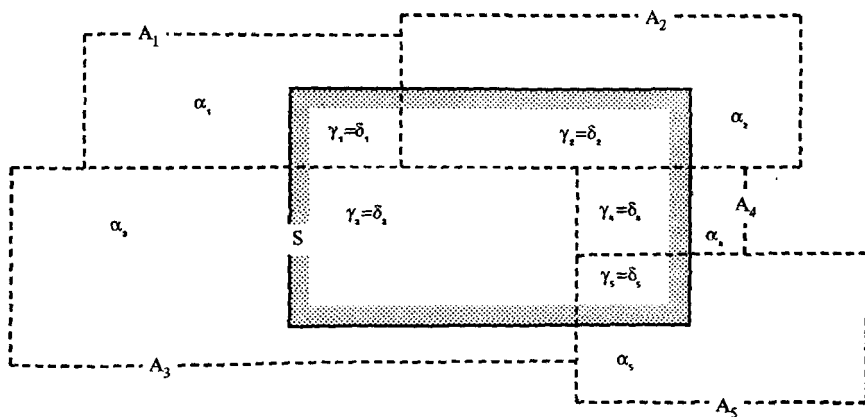


Рис. 2.6.5. Теоретико-множественная схема взаимосвязей группы требований (A_i) и возможностей одной БТС (S)

динение подмножеств γ : $A = \gamma_1 \cup \gamma_2 \cup \gamma_3 \cup \gamma_4$. Как видно из рисунка, в отдельных областях внутри множества A имеются пересечения (заштрихованы), т.е. системы дублируют решение задач. Но при этом остаются неиспользованными возможности $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$. Второй и третий случай иллюстрируются на рис.2.6.5 примером с пятью задачами: $A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$, что позволяет реализовать все возможности системы: $B = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5$. В этом случае пересечений нет, поэтому подмножества можно складывать. Но при таком подходе остаются неудовлетворенными требования: $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$.

Для оценки динамической эффективности вариантов (рис.2.6.3а) и (рис.2.6.3б) можно использовать **коэффициент степени удовлетворения требований**:

$$\eta_{тр} = \gamma / (\alpha + \gamma) = B/A. \quad (2.6.16)$$

В качестве критериев эффективности варианта (рис.2.6.3в) предлагается использовать **коэффициент загрузки возможностей системы**:

$$\eta_B = \delta / (\beta + \delta) = A/B \quad (2.6.17)$$

или коэффициент неиспользованных возможностей (ресурсов):

$$\Theta_{нв} = \beta / (\beta + \delta) = 1 - \eta_B = (B-A)/B. \quad (2.6.18)$$

Самым общим является случай, для которого можно в качестве критерия рекомендовать диаграмму:

$$\langle \eta_{тр} - \eta_B \rangle \text{ или вектор } \eta = (\eta_{тр}; \eta_B). \quad (2.6.19)$$

Если имеются весовые коэффициенты $k_{тр}$ и k_B для компонент вектора, то его можно заменить скаляром:

а) компромиссно взвешенным

$$\eta_{комп} = (k_{тр} \eta_{тр} + k_B \eta_B) / (k_{тр} + k_B); \quad (2.6.20)$$

б) средневзвешенным (при $k_{тр} = k_B$)

$$\eta_{ср} = (\eta_{тр} + \eta_B) / 2; \quad (2.6.21)$$

в) другими свертками вектора.

Построение диаграмм (2.6.19) в координатах показателей (2.6.16) и (2.6.17) позволяют для скалярных критериев (2.6.20) и (2.6.21) определять области допустимых решений и вариантов построения БТС, рассматриваемых проектантом, с учетом заданных требований к решению задач и производить сравнение систем с одновременным учетом их потенциальных возможностей.

Следует напомнить о динамичности рассматриваемых множеств A и B , а также их пересечений $\alpha, \beta, \gamma, \delta$. **Кроме динамики в пространстве состояний, надо учитывать временную динамику**, внося ее в критерий $\eta(t)$. Когда

речь идет о БТС с длинным сроком эксплуатации (активного функционирования), то в течение жизненного цикла происходят заметные изменения самой системы, а также возрастают требования к возлагаемым на нее задачам. То есть расширяются множества требований $A(t)$ и возможностей $B(t)$. Поэтому естественно, необходимо учитывать зависимость от времени подмножеств: $\alpha(t)$, $\beta(t)$, $\gamma(t)$, $\delta(t)$. Это вызывает не совпадение спрогнозированных ранее желаемых областей размещения этих подмножеств, а также их миграцию со временем за допустимый диапазон.

За время с момента t_1 до t_2 могут измениться соотношения, как например, показано на рис.2.6.6:

- 1) увеличился объем требований от $A_2(t_1)$ до $A_2(t_2)$;

- 2) изменились возможности от $B_2(t_1)$ до $B_2(t_2)$;
- 3) уменьшились возможности с $B_3(t_1)$ до $B_3(t_2)$;
- 4) появилась новая БТС с возможностями $B_4(t_2)$ и т.п.

В результате подобных изменений возникает ряд теоретических и практических вопросов, требующих постоянного разрешения (рис.2.6.7):

- 1) выявление законов изменения уровня требований;
- 2) изыскание ресурсов для реализации технического, экономического и организационного обеспечения этих возможностей;
- 3) выбор рациональной БТС для удовлетворения упомянутых потребностей и реализации возможностей на большом интервале времени.

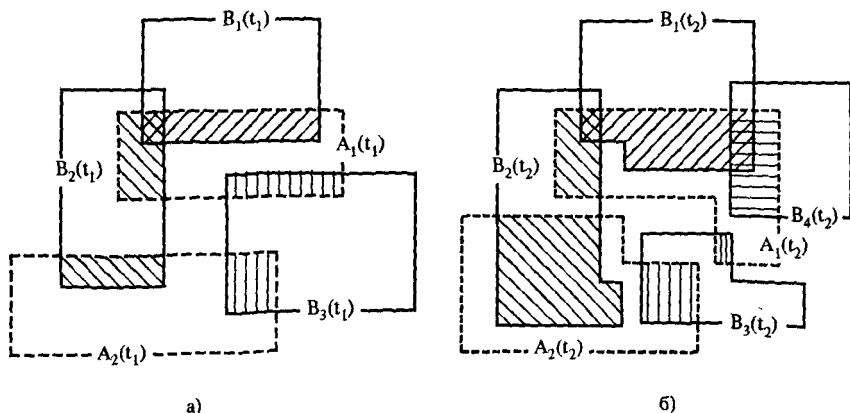


Рис. 2.6.6. Теоретико-множественная схема взаимосвязей группы требований (A_j) и возможностей нескольких БТС (B_j) в динамической постановке в моменты времени t_1 и t_2

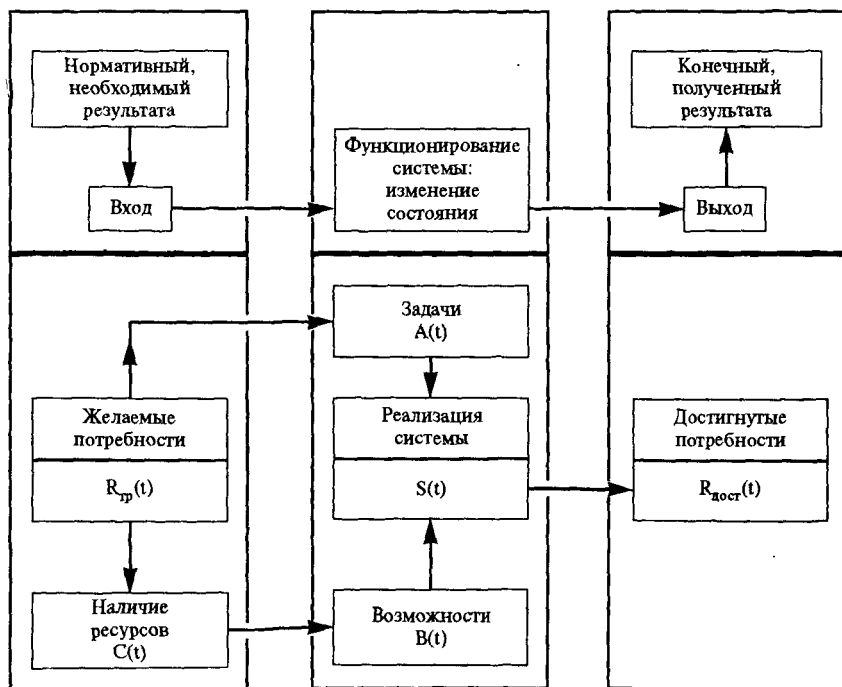


Рис. 2.6.7. Схема реализации динамического эффекта

2.7. ГЛОБАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНОЙ СИСТЕМОЙ

2.7.1. Постановка задачи оптимального управления

Для формального описания сложной ЧМС воспользуемся трехуровневой схемой иерархического представления сложной системы из параграфа 2.6, применительно к которой возможно применение в качестве математического аппарата тео-

рии многоуровневых иерархических систем Месаровича [49, 50]. Для этого потребуются его теории модернизировать и расширить на все этапы жизненного цикла БТС.

Месарович предложил называть абстрактной (математической) системой отношение над множествами [49]:

$$S \subseteq X \times Y, \quad (2.7.1)$$

где X и Y - множества входов и выходов.

Это выражение соответствует функциональной системе (если S – функция) как отображению (рис.2.7.1):

$$S: X \Rightarrow Y. \quad (2.7.2)$$

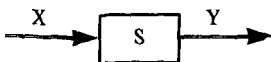


Рис. 2.7.1.

На рис.2.7.1 система представлена всего лишь одним элементом, как кибернетический «чёрный ящик». В этом случае абстрактная система в форме отношения фактически представляет отображение процесса или операцию преобразования элементов множества (X) в элементы множества (Y). Таким образом, в постановке (2.7.1)-(2.7.2) теория отражает не системный анализ, а исследование операций. Поэтому будет более правильно и математически строго, если ввести модель процесса:

$$П: X \Rightarrow Y, \quad (2.7.3)$$

а также модель оценки эффективности

$$V: X \times Y \Rightarrow R, \quad (2.7.4)$$

где R – частично упорядоченное множество.

Это позволит говорить об оптимизационной задаче, определяе-

мой тройкой $\{П, V, X_r\}$. Здесь введена допустимая область возможных решений заданием допустимого подмножества ($X_r \subseteq X$).

В такой постановке под системой (S) следует понимать ограниченную от внешней среды совокупность взаимосвязанных элементов, при функционировании которой реализуется процесс ($П$), направленный на получение некоторого «эффекта».

Расширяя данную постановку задачи, Месарович ввел множество неопределенностей (Ω) и функцию допустимости ($\tau: \Omega \Rightarrow R$). Это позволило сформулировать задачу нахождения решений, удовлетворяющих заданным требованиям, которая после расширения определяется пятеркой $\{П, V, X_r, \tau, \Omega\}$ и заключается в следующем (рис.2.7.2):

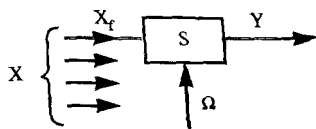


Рис. 2.7.2.

1. Дано подмножество $X_r \subseteq X$ и минимизируемый критерий R .
2. Требуется найти такое $x_{opt} \in X$, чтобы $\forall \omega \in \Omega$ выполнялось условие:

$$V(x_{opt}, \omega) \leq \tau(\omega). \quad (2.7.5)$$

3. Ограничениями являются следующие отображения:

$$\left. \begin{array}{l} \text{П: } X \times \Omega \Rightarrow Y, \\ \text{V: } X \times Y \times \Omega \Rightarrow R, \\ \tau: \Omega \Rightarrow R. \end{array} \right\} \quad (2.7.6)$$

Очевидно, что задача оптимизации является частным случаем задачи удовлетворения и состоит в отыскании $x_{\text{opt}} \in X_f$ удовлетворяющего условию (для минимизируемого критерия):

$$V(x_{\text{opt}}) \leq V(x) \text{ для } \forall x \in X_f. \quad (2.7.7)$$

В работе рассмотрена [49, стр.110] двухуровневая система управления процессом с нижестоящими управляющими системами (C_1, C_2, \dots, C_n) в количестве n и единственной вышестоящей управляющей системой-координатором (C_0), согласно рис.2.7.3. На рисунке сохранены обозначения из упомянутой книги:

$\omega_1 \in \Omega$ – внешние возмущения окружающей среды;
 $y_i \in Y$ – «выход» процесса;
 $m_i \in M$ – управляющие сигналы;
 $\gamma_i \in \Gamma$ – координирующие сигналы;
 $z_i \in Z$ – информационный обратный сигнал от процесса;
 $w_i \in W$ – информация от нижестоящих систем.

Вся система, изображенная на схеме, решает глобальную задачу (D), при этом у координатора имеется своя конкретная задача (D_0), а у управляющих систем нижнего уровня свои задачи, составляющие множество:

$$D_1 = D_{11} \cup D_{12} \cup \dots \cup D_{1n}. \quad (2.7.8)$$

Таким образом, рассматриваемая задача управления относится к этапу эксплуатации системы, в процессе которого осуществляется

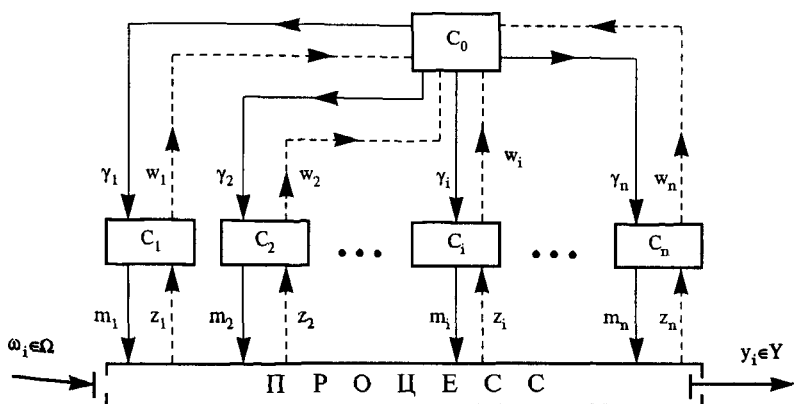


Рис. 2.7.3. Схема взаимодействия элементов в иерархической системе (по Месаровичу)

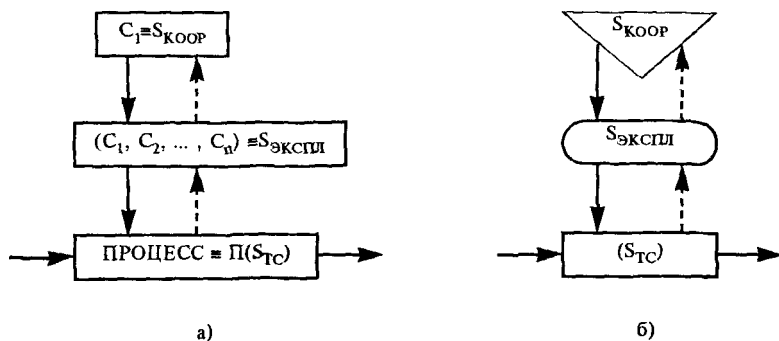


Рис. 2.7.4. Эквивалентность вариантов систем

(рис. 2.7.4.а) некоторый «Процесс», а остальные этапы жизненного цикла не затрагиваются.

2.7.2. Теоретико-множественное описание управления в сложной человеко-машинной системе

Анализ схемы, представленной на рис. 2.4.7, в сравнении с подходом Месаровича позволяет заметить, что схема рис 2.7.3, отражает лишь часть жизненного цикла разрабатываемой системы, а именно последнее звено из рис. 2.4.7, изображенное на рис. 2.7.4б.

Поскольку здесь рассматривается не только стадия эксплуатации и соответствующий ей процесс функционирования БТС, но и весь процесс создания этой системы, то возникает необходимость предлагаемую Месаровичем и его соавторами постановку задачи расширить [63]. При этом общая схема системы представлена на

рис. 2.7.5, где введены цифровые обозначения указанных в (2.4.8) систем: $S_0 = S_{\text{коор}}$; $S_{01} = S_{\text{п}}$; $S_{10} = S_{\text{инф}}$; $S_{11} = S_{\text{иссл}}$; $S_{12} = S_{\text{разр}}$; $S_{13} = S_{\text{пронз}}$; $S_{14} = S_{\text{эксп}}$; $S_{15} = S_{\text{торг}}$; $S_{21} = S_{\text{А}}$; $S_{22} = S_{\text{М}}$; $S_{23} = S_{\text{Пр}}$; $S_{24} = S_{\text{ТС}}$. Здесь также обозначены:

$X = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ – множество ресурсов;

$Y = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5)$ – множество выходов от работы активных систем;

$\Omega = (\Omega_0, \Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4, \Omega_5)$ – множество возмущающих воздействий внешней среды в виде подмножеств неопределенностей, действующих на уровнях (0), (1), (2), а также подмножества неопределенностей-воздействий на этапах создания системы ($S_{\text{БТС}}$) и в процессе (Π) ее эксплуатации;

U_1, U_2, U_3 – управляющие сигналы-воздействия, представляющие деятельность активных систем по созданию БТС;

U_4 – сигнал управления процессом $\Pi(S_{24})$ функционирования БТС;

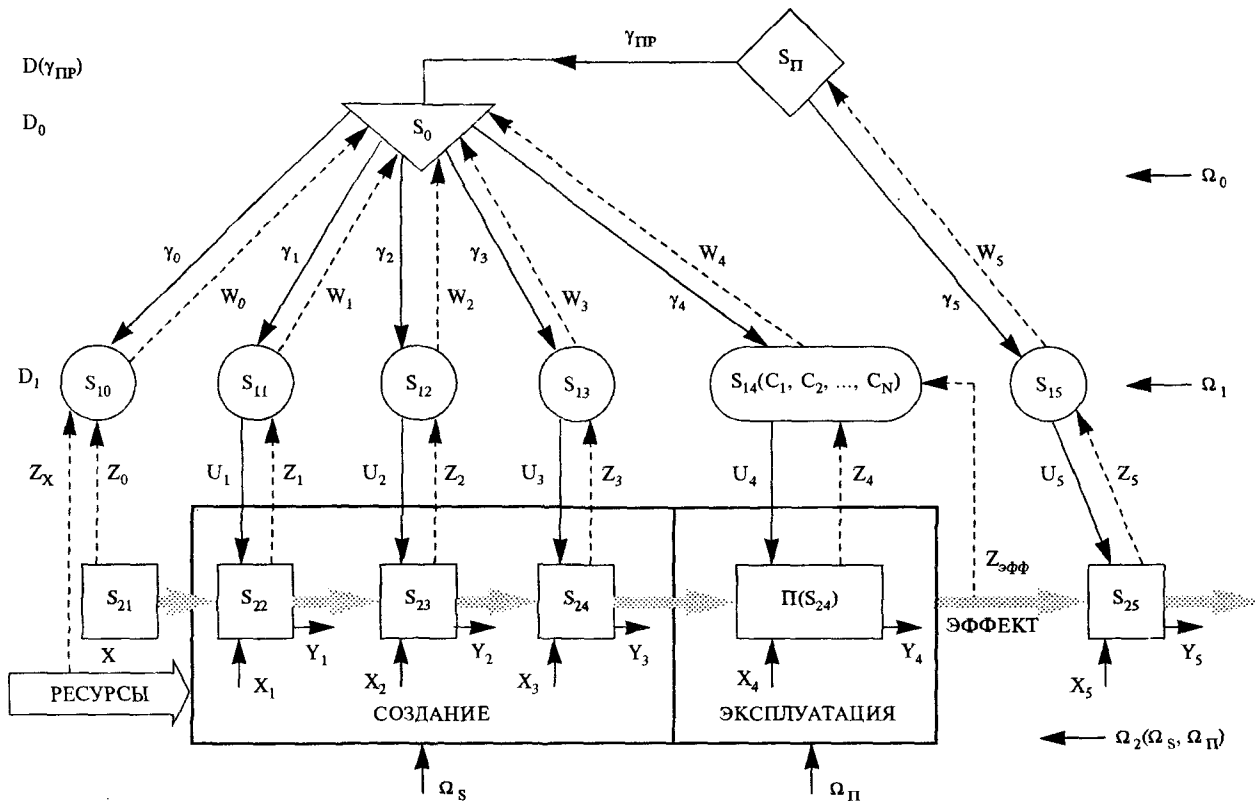


Рис. 2.7.5. Глобальная модель трёхуровневой сложной системы

U_5 – сигнал управления процессом реализации продукта-товара, изготовленного по заказу-сигналу (γ_{np});

Z_x и Z_o – информация для координатора о состоянии множества ресурсов (X) и об известных аналогах (S_{21}) или прототипах;

$Z_{эфф}$ – информация об эффективности функционирования.

Представленная на схеме сложная система в глобальной модели описывается следующими множествами:

$$\left. \begin{aligned} \Gamma &= \Gamma_0 \times \Gamma_1 \times \Gamma_2 \times \Gamma_3 \times \Gamma_4 \times \Gamma_5; \\ U &= U_1 \times U_2 \times U_3 \times U_4 \times U_5; \\ Z &= Z_x \times Z_o \times Z_1 \times Z_2 \times Z_3 \times Z_4 \times Z_{эфф} \times Z_5; \\ W &= W_o \times W_1 \times W_2 \times W_3 \times W_4 \times W_5; \\ M &= M_1 \times M_2 \times M_3 \times M_4 \times M_5; \end{aligned} \right\} (2.7.9a)$$

$$\left. \begin{aligned} M_i &\subseteq X_i \times U_i; \\ X &= (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) \\ Y &= (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5) \\ \Omega &= (\Omega_0, \Omega_1, \Omega_2, \Omega_s, \Omega_n) \end{aligned} \right\} (2.7.9б)$$

При выполнении j -ой итерации глобального моделирования ЧМС на локальные модели процессов создания и эксплуатации БТС поступают входные сигналы управляющих воздействий ($u_{ij} \in U_i, [i=1, 2, 3, 4]$) и внешних возмущений ($\omega_{2j} \in \Omega_2$). Для этого управляющая система-координатор (S_o) осуществляет отображение, порождающее сигнал (γ_{ij}), чтобы в конечном итоге в результате процесса (Π_{2j}) получить выход, которым является ($y_{ij} \in Y_i$), т.е. созданная пассивная система ($S_{2(i+1)}$).

Этим процессом управляет представленная локальной моделью активная система S_{1i} ($i=1, 2, 3, 4$), которая описывается в модели как «вход-выход», подвергающийся возмущению (Ω_{1i}). К активной системе (S_{1i}) поступают координирующие сигналы ($\gamma_{ij} \in \Gamma_j$) и информация относительно реализации процесса (Π_{2j}), формирующаяся в виде сигналов: ($z_{ij} \in Z_j$). Выходами системы (S_{1i}) являются управление ($u_{ij} \in U_i$) и информация ($w_{ij} \in W_i$). В результате появляется пассивная система:

$$S_{2(i+1)} \subseteq X_i \times S_{2i} \times U_i. \quad (2.7.10)$$

Таким образом, взаимосвязь активных и пассивных систем описывается отображениями:

$$\Pi_{0j}: D \times D_o \times W_o \times \Omega_o \Rightarrow \Gamma_j, \quad (2.7.11)$$

$$\Pi_{1i}: \Gamma_i \times Z_i \times \Omega_{1i} \times D_{1i} \Rightarrow U_i, \quad (2.7.12)$$

$$\begin{aligned} \Pi_{2j}: X \times Y \times \Omega_2 \Rightarrow Y \\ \text{или } \Pi_{2j}: M \times \Omega_2 \Rightarrow Y; \end{aligned} \quad (2.7.13)$$

$$\Phi_i: M_i \times \Omega_{2i} \times Y_i \Rightarrow Z_i; \quad (2.7.14)$$

$$J_i: \Gamma_i \times U_i \times Z_i \times D_{1i} \Rightarrow W_i. \quad (2.7.15)$$

Работа всей сложной системы может быть описана следующим образом. Получив прямой заказ (γ_{np}) на продукт или изучив конъюнктуру рынка с целью выработки стратегии системы, координатор (S_o) сигналом (γ_o) стимулирует работу активной системы (S_{10}). В момент времени (T_o) информа-

тор (S_{10}), собрав информацию о ресурсах (Z_x) и об аналоге (S_{21}) в виде (Z_o), сообщает координатору сигналом (W_o). Имея стоящую цель в виде глобальной задачи (D) и собственные цели в виде задачи (D_o), координатор в момент (T_1) вырабатывает координирующий сигнал:

$$P_{01}: D \times D_o \times W_o \times \Omega_o \Rightarrow \Gamma_1, \quad (2.7.11a)$$

Данный сигнал оказывает определенное влияние на задачу управляющей системы (S_{11}), т.е. на множество $D_{11}(\Gamma_1)$. Этим отражается стимулирование человека в активных системах.

Далее научно-исследовательская система (S_{11}) в ответ на сигнал из множества (Γ_1) вырабатывает реакцию в виде управляющего сигнала (U_1) (создает модель S_{22}) и, обработав информацию (Z_1), передает информацию координатору сигналом (W_1):

$$P_{11}: D_o \times D_{11} \times \Gamma_1 \times Z_1 \times \Omega_{11} \times X_1 \Rightarrow U_1, \quad (2.7.12a)$$

$$S_{22} \subseteq X_1 \times S_{21} \times U_1, \quad (2.7.10a)$$

$$\Phi_1: M_1 \times \Omega_{21} \times Y_1 \Rightarrow Z_1, \quad (2.7.14a)$$

$$J_{11}: \Gamma_1 \times U_{11} \times Z_1 \times D_o \times D_{11} \Rightarrow W_1. \quad (2.7.15a)$$

В следующий момент (T_2) осуществляют отображения:

$$P_{02}: D \times D_o \times W_2 \times \Omega_o \Rightarrow \Gamma_2, \quad D_{12}(\Gamma_2) \quad (2.7.11b)$$

$$P_{12}: D_o \times D_{12} \times \Gamma_2 \times Z_2 \times \Omega_{12} \times X_2 \Rightarrow U_2, \quad (2.7.12b)$$

$$S_{23} \subseteq X_2 \times S_{22} \times U_2, \quad (2.7.10b)$$

т.е. КБ разработало систему проектов;

$$\Phi_2: M_2 \times \Omega_{22} \times Y_2 \Rightarrow Z_2, \quad (2.7.14b)$$

$$J_{12}: \Gamma_2 \times U_{12} \times Z_2 \times D_o \times D_{12} \Rightarrow W_2. \quad (2.7.15b)$$

В момент (T_3) подается сигнал производству:

$$P_{03}: D \times D_o \times W_3 \times \Omega_o \Rightarrow \Gamma_3, \quad D_{13}(\Gamma_3) \quad (2.7.11b)$$

$$P_{13}: D_o \times D_{13} \times \Gamma_3 \times Z_3 \times \Omega_{13} \times X_3 \Rightarrow U_3, \quad (2.7.12b)$$

$$S_{24} \subseteq X_3 \times S_{23} \times U_3, \quad (2.7.10b)$$

т.е. завод изготовил технические средства (ТС);

$$\Phi_3: M_3 \times \Omega_{23} \times Y_3 \Rightarrow Z_3, \quad (2.7.14b)$$

$$J_{13}: \Gamma_3 \times U_3 \times Z_3 \times D_o \times D_{13} \Rightarrow W_3. \quad (2.7.15b)$$

В момент (T_4) начинается эксплуатация БТС:

$$P_{04}: D \times D_o \times W_4 \times \Omega_o \Rightarrow \Gamma_4, \quad D_{14}(\Gamma_4) \quad (2.7.11g)$$

$$P_{14}: D_o \times D_{14} \times \Gamma_4 \times Z_4 \times \Omega_{14} \times X_4 \Rightarrow U_4, \quad (2.7.12g)$$

$$P(S_{24}): X_4 \times S_{24} \times U_4 \Rightarrow Y_4, \quad (2.7.16)$$

т.е. началась эксплуатация системы с оценкой эффективности

$$V: X \times Y \times \Omega_2 \Rightarrow R; \quad (2.7.17)$$

$$\Phi_4: M_4 \times \Omega_{24} \times Y_4 \Rightarrow Z_4, \quad (2.7.14\Gamma)$$

$$\Phi_5: D_{14} \times \Omega_{14} \times R \Rightarrow Z_{эфф}, \quad (2.7.18)$$

$$J_{14}: \Gamma_4 \times U_4 \times Z_4 \times D_o \times D_{14} \times Z_{эфф} \Rightarrow W_4, \quad (2.7.15\Gamma)$$

Данная математическая модель упрощена, поэтому с ее помощью отображаются информационно-управляющие процессы в рассматриваемой сложной системе с учетом следующих ограничений:

- 1) производство технологически подготовлено к реализации решений, заложенных в проектах;
- 2) проектно-конструкторская документация не содержит решений, ведущих к технологическим проблемам;
- 3) рыночные отношения ($S_n - S_{15} - S_{25}$) вынесены во внешнюю среду и в модели не исследуются.

Практически каждое новое решение при его внедрении на производстве выявляет различные технологические проблемы, разрешение которых требует итерационных изменений в конструкции и технологии. Эта процедура получила название «отработка конструкции на технологичность», что условно на рис.2.7.6 отражено тремя итерациями (1,2,3), после осуществления которых удается решить задачу (путь 4).

В схеме, предложенной на рис.2.7.7, роль координатора вы-

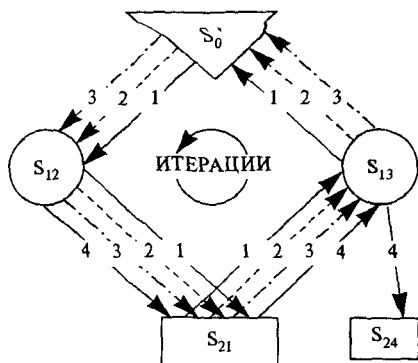


Рис. 2.7.6. Исходный вариант системы

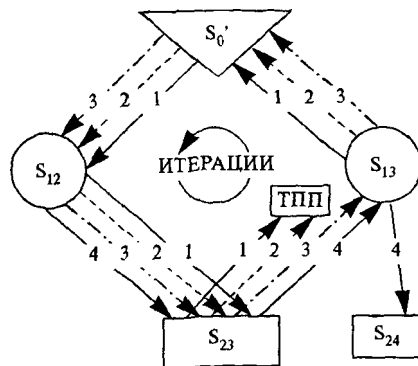


Рис. 2.7.7. Вариант системы с учетом ТПП

полняют «неформальные связи» между КБ и заводом или специально организованный механизм процесса «доработка конструкторской документации», что снимает второе ограничение.

Если снять первое ограничение, т.е. учитывать необходимость про-

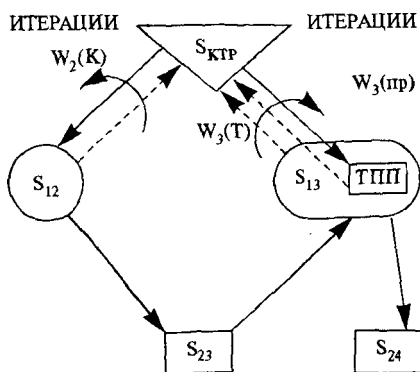


Рис. 2.7.8. Вариант системы с добавлением «Системы конструкторско-технологических решений»

$\gamma_{КТР} \in \Gamma_{КТР}$ – множество конструкторско-технологических решений, предлагаемых для использования в проектировании, конструировании и подготовке производства.

Формула (2.7.19) в обобщенном виде представляет модель управления процессом технологически ориентированного проектирования.

2.7.3. Модель управления развитием структуры экологически чистой системы

Представленная на рис.2.7.9 основная система ($S_{осн}$) перерабатывает в комплексе (П) материальные ресурсы (M_{01}), в результате ее деятельности получается требуемая продукция ($M_{тр}$)₁ и отходы ($M_{отх}$)₁₁. Для упрощения схемы информационные и управляющие связи комплекса У с другими комплексами на рис.2.7.9 не показаны. Функционирование системы ($S_{осн}$) обеспечивается комплексами транспортных средств (T_1, T_2, T_3) и средств управления (У). Для идеально «чистой экологически» системы ($M_{отх}$) = 0. Если же это условие не обеспечивается, то требуется «захоронение» или «утилизация» отходов. Эту задачу решает вспомогательная система ($S_{всп}$)₁, которая содержит аналогичные комплексы средств. Полезная деятельность ($S_{всп}$)₁ заключается в переработке ($M_{отх}$)₁₁ и получении из них продукции ($M_{тр}$)₂. При этом также возможны вторичные отходы, часть ($M_{отх}$)₂₂ ≠ 0 из кото-

ведения ТПП (в том числе создание средств технологического оснащения), то схема из рис.2.7.6 усложняется, как показано на рис.2.7.7. Применение созданной для этих целей «Системы КТР» (рис.2.7.8) позволяет перенести на более ранние сроки итерационной характер совмещения решений конструктора и технолога. Опережающая разработка КТР и проводимая под них заблаговременная ТПП до создания (S), т.е. в период «Т₁-Т₂». Такое включение требует расширения предлагаемой выше модели отображением:

$$S_{КТР}: W_2(k) \times W_3(\tau) \times W_3(\text{ИТР}) \Rightarrow \Gamma_{КТР}, \quad (2.7.19)$$

где $W_2(k)$, $W_3(\tau)$, $W_3(\text{ИТР})$ – информация о конструкторских решениях, перспективных технологиях и возможностях производства;

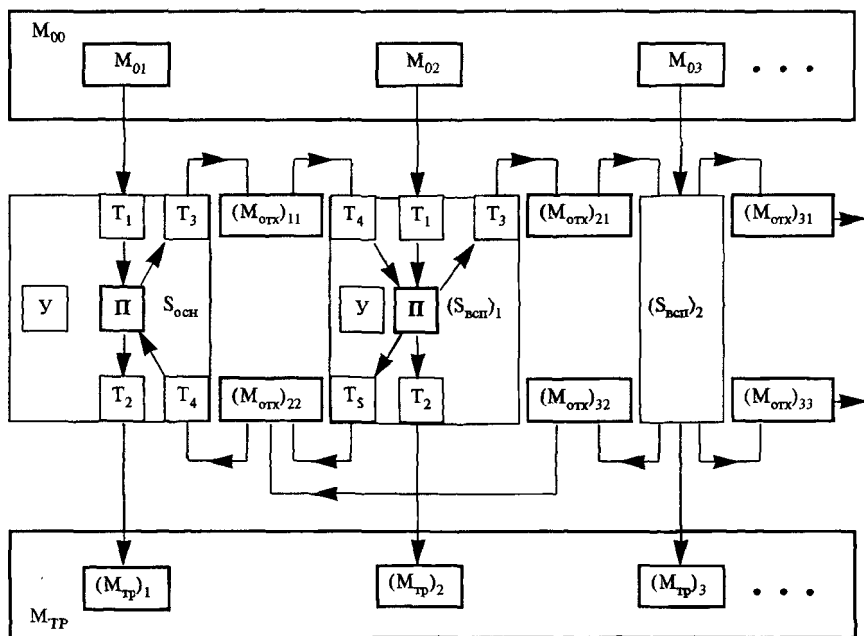


Рис. 2.7.9. Структурная схема сложной экологической системы

рых может использоваться в качестве ресурса в системе $S_{осн}$. Для этого предусмотрен транспортный комплекс T_4 . Другая часть отходов $(M_{отх})_{21} \neq 0$ поступает на утилизацию во вторую вспомогательную систему $(S_{всп})_2$ и т.д.

Совокупность систем $(S_{осн})$, $(S_{всп})_1$, $(S_{всп})_2$ и т.д. образует исследуемую сложную систему (S) , глобальная модель $(M_{гл})$ которой представлена на рис.2.7.10 и включает ряд локальных моделей:

$MS_{осн}$ – модель основной системы,
 $(MS_{всп})_1$, $(MS_{всп})_2$ – модели вспомогательных систем,

$BS_{эфф}$ – блок оценки эффективности,

$BS_{экол}$ – блок проверки степени удовлетворения экологических требований и другие блоки.

Имитационные модели (MS) принятия решений позволяют проводить сравнительную оценку вариантов основной и вспомогательных систем с учетом взаимодействия, обеспечения экологических требований и применения ресурсосберегающих технологий. Модель предназначена для управления на стадиях проведения исследований, разработки ТП и ЭП упомянутых систем [63, П*49].

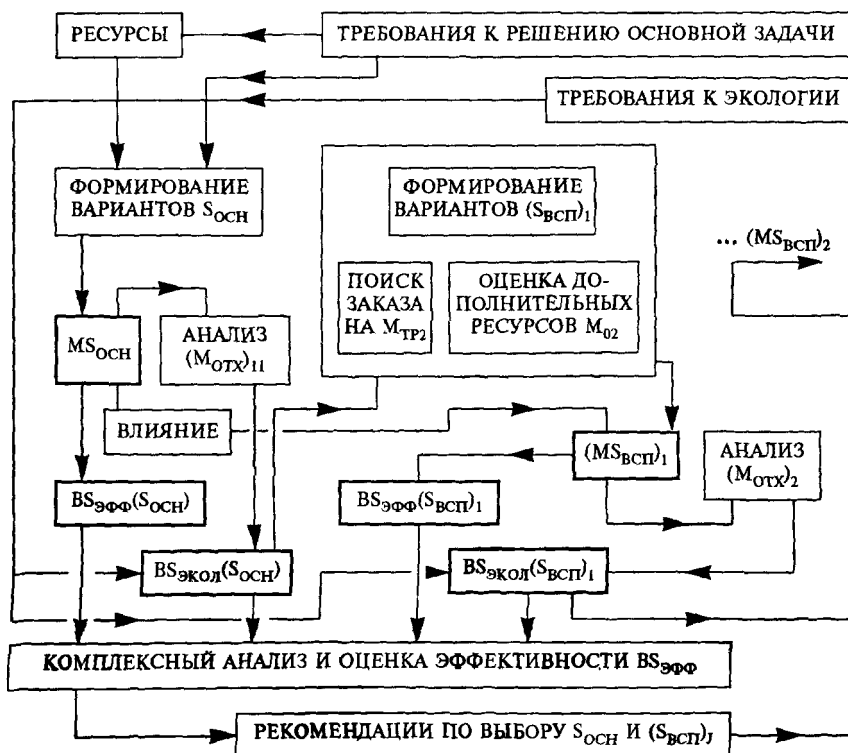


Рис. 2.7.10. Схема глобальной имитационной модели

2.7.4. Организационно-экономическая модель человеко-машинной системы

Выше отмечалось различие между БТС и ЧМС, которое заключается учетом участия человека в последней системе. Так как переход от БТС к ЧМС требует включения во все комплексы человека, то это в свою очередь вызывает необходимость обеспечения трудовыми ресурсами ($Ч_0$). Кроме того, для экономичес-

кого обеспечения требуются денежные ресурсы ($Д_0$), которые служат для закупки потребляемых ресурсов m_0 , E_0 , I_0 , а также для оплаты труда людей [63].

На рис.2.7.11 представлен пример ЧМС, целевым назначением которой является производство продукции ($m_{пр}$) для продажи заказчику. Технологический процесс построен на переработке исходного сырья (m_0) в требуемую продукцию ($m_{пр}$) с использованием энергии (E_0). Ин-

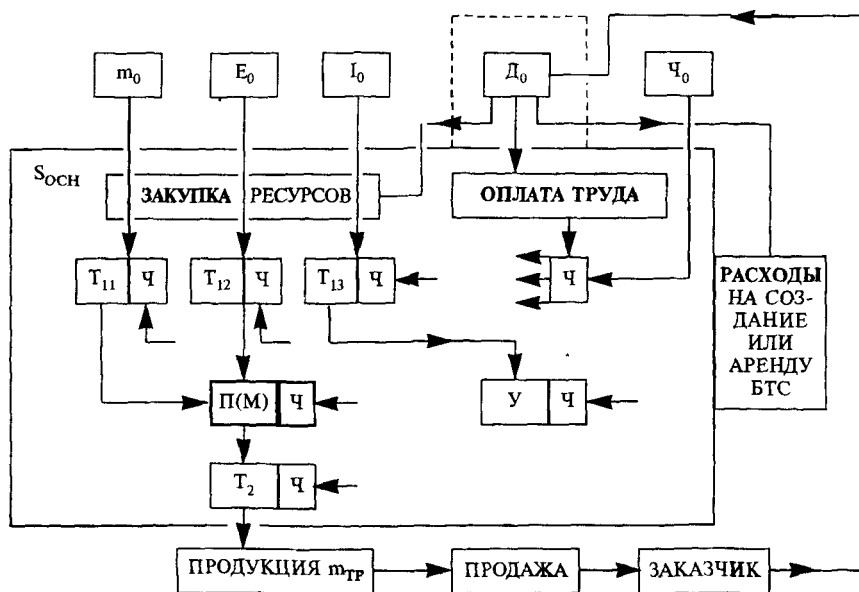


Рис. 2.7.11. Принципиальная схема большой организационно-экономической системы

формационный ресурс (I_0) необходим для успешного функционирования комплекса управления. Чтобы не усложнять схему на ней не изображены потоки информации:

1) от всех ресурсов (m_0 , E_0 , I_0 , $Ч_0$, $Д_0$), показывающих располагаемые возможности;

2) от заказчика и его потребностей ($m_{ТР}$);

3) от транспортных средств, доставляющих ресурсы (T_{11} , T_{12} , T_{13}) и продукцию (T_2);

4) от перерабатывающего комплекса $П(М)$.

Из этих же соображений не показываются полностью каналы

управляющих воздействий от комплекса $У$ к комплексам T_1 , $П$, T_2 и команд на расход денег (закупка, оплата).

Структурно-функциональная связь комплексов системы позволяет перейти к построению математической модели функционирования и сформулировать стратегию оптимального управления ЧМС. Пунктиром на рис. показано, что ресурс $Д_0$ может быть полностью помещен «внутри» системы, что соответствует хозяйственному механизму взаимодействия ЧМС с внешней средой.

ЛИТЕРАТУРА

- *1. **Абгарян К.А., Хрусталева М.М., Жирнова Э.Б.** Применение аналитических методов в задачах анализа и синтеза систем. — М., Изд-во МАИ, 1978.
- *2. **Аверьянов А.Н.** Системное познание мира: Методол. проблемы — М., Политиздат, 1985.
- *3. **Акоф Р., Эмери Ф.** О целеустремленных системах. Пер. с англ. Под ред. И.А.Ушакова. — М., Сов. радио, 1974.
4. **Амосов Н.М.** Мышление и информация. Сб.: «Проблемы мышления в современной науке»/—М., Мысль, 1964.
5. **Амосов Н.М.** Моделирование сложных систем. — Киев, 1968.
- *6. **Афанасьев В.Г.** Системность и общество. — М., Политиздат, 1980.
- *7. **Балашов Е.П.** Эволюционный синтез систем. — М., Радио и связь, 1985.
- *8. **Барзилович Е.Ю.** Модели технического обслуживания сложных систем. — М., Высшая школа, 1982.
- *9. **Берзин Е.А.** Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. — М., Сов. радио, 1974.
- *10. **Брусилевский Б.Я.** Теория систем и система теорий. — Киев, 1977.
- *11. **Бусленко Н.П.** Моделирование сложных систем. — М., Наука, 1968.
- *12. **Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н.** Лекции по теории сложных систем. — М, Сов радио, 1973.
- *13. **Вдовиченко Г.Г.** Системно-структурный метод в свете научной методологии. — Киев, 1973.
- *14. **Волков С.И., Романов А.Н., Григоренко Г.П.** Построение и функционирование сложных экономических систем. — М., Финансы и статистика, 1982.
- *15. **Вунш Г.** Теория систем. — М., Сов. радио, 1978.
- *16. **Гермейер Ю.Б.** Игровые концепции в исследовании систем. — М., Изв. АН СССР, Техн. кибер., № 2, 1970.
- *17. **Гличев А.В.** Экономическая эффективность технических систем. — М., Экономика, 1971.
- *18. **Глотов В.А., Павельев В.В.** Векторная стратификация. — М., Наука, 1984.
- *19. **Гомеостатика** живых, технических, социальных и экологических систем. // Горский Ю.М., Астафьев В.И., Казначеев В.П. и др./Под ред. Горского Ю.М. — Новосибирск, Наука. Сиб. отд-ние, 1990.
- *20. **Гопла В.Д.** Введение в алгебраическую теорию информации. — М., Наука, 1995.
- *21. **Горохов В.Г.** Методологический анализ системотехники. — М., Радио и связь, 1982.
- *22. **Гуд Г.Х., Маккол Р.Э.** Системотехника. Введение в проектирование больших систем. — М., Сов. радио, 1962.
- *23. **Дедков В.К., Северцев Н.А.** Основные вопросы эксплуатации сложных систем. — М., ВШ, 1976.
- *24. **Директор С., Рорер Р.** Введение в теорию систем. — М., Мир, 1974.
- *25. **Дружинин В.В., Конторов Д.С.** Системотехника. — М., Радио и связь, 1985.
- *26. **Жимерин Д.Г., Мясников В.А.** Автоматизированные и автоматические системы управления. — М., Энергия, 1979.
- *27. **Жуков Н.И.** Информация (философский анализ информации — центральное понятие кибернетики). — Минск, Наука и техника, 1966.

28. Заде Л. Понятие состояния в теории систем. В кн. Общая теория систем./Пер. с англ. — М., Мир, 1966, 46-65.
- *29. Зельдович Я.Б. Избранные труды. Частицы, ядра, Вселенная. — М., Наука, 1985.
30. Ивахненко А.Г. Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике. — Киев, Техника, 1971.
31. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. — Киев, Техника, 1975.
- *32. Игнатъев М.Б., Ильевский Б.З., Клауз Л.П. Моделирование системы машин. — Л., Машиностроение, 1986.
- *33. Исаченко В.А., Полтавец Г.А. Системный подход к проблеме формирования и применения конструкторско-технологических решений // Труды XIX чтений К.Э. Циолковского// Космонавтика и НТП. — М., ИИЕТ АН СССР, 1985.
- *34. Калашников В.В. Сложные системы и методы их анализа. — М., Знание, 1980.
- *35. Калман Р.Е., Фалб П., Арbib М. Очерки по математической теории систем./Пер. с англ. — М., Мир, 1971.
36. Кавыгин Ю.М., Калитич Г.И. Основы теоретической информатики. — Киев, Наук. думка, 1990.
37. Касаев К.С. Общие принципы и методология создания и развития техники и технологии. — М., «Вестник машиностроения», 1991, N11, 56-58.
38. Классификатор технологических операций машиностроения и приборостроения. — М., Издательство стандартов, 1987.
- *39. Классификация и кластер. Под ред. Дж. Вен Райзина. Пер. с англ. — М., Мир, 1980.
- *40. Крон Г. Исследование сложных систем по частям — Диакоптика./ Пер. с англ., — М., Наука, 1972.
- *41. Крохин В.В. Информационно-управляющие космические радиолитии. (В 2-х частях). — М., 1993.
42. Кулик В.Т. Современная теория организации систем — системология. — Киев, 1972.
43. Ладенко И.С. Интеллектуальные системы в целевом управлении. — Новосибирск, Наука, 1987.
- *44. Лэдсон Л.С. Оптимизация больших систем. — М., Наука, 1975.
45. Малиновский А.А. Типы управляющих биологических систем и их приспособительное значение. — М., «Проблемы кибернетики», 1960, N 4.
- *47. Мальцев А.И. Алгебраические системы. — М., Наука, 1970.
- *46. Математическое моделирование. Редакторы Дж. Эндрус, Р. Мак-Лоун. Пер. с англ., — М., Мир, 1979.
- *48. Мееров М.В., Литвак Б.Л. Оптимизация систем многосвязного управления. — М., Наука, 1972.
- *49. Месарович М., Мако Д., Такаха Я. Теория многоуровневых иерархических систем.// Пер. с англ. — М., Мир, 1973.
50. Месарович М., Такаха Я. Общая теория систем: математические основы.// Пер. с англ., — М., Мир, 1978.
- *51. Методы оптимизации автоматических систем.// Сб. статей под ред. Цыпкина Я.З. — М., Энергия, 1972.
- *52. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. — М., Наука, 1982.
- *53. Моделирование систем полупеременного управления космических кораблей.// Под ред. А.И.Яковлева. — М., Машиностроение, 1986.
- *54. Моисеев Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем. — М., Наука, 1971.
- *55. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. — М., Наука, 1975.

*56. **Моисеев Н.Н.** Математические задачи системного анализа. — М., Наука, 1981.

*57. **Моисеев Н.Н.** Человек и ноосфера. — М., Молодая гвардия, 1990.

58. **Надежность и эффективность в технике:** Справочник. В 10 т./ Том 3. Эффективность технических систем./Под ред. Уткина В.Ф., Крючкова Ю.Ф. — М., Машиностроение, 1988.

*59. **Нечипоренко В.И.** Структурный анализ и методы построения надежных систем. — М., Сов. радио, 1968.

*60. **Новик И.Б.** О моделях сложных систем. — М., Мысль, 1965.

*61. **Петров А.Е.** Тензорная методология в теории систем. — М., Радио и связь, 1985.

*62. **Полтавец Г.А.** К вопросу применения принципа оптимальности Беллмана в системном анализе. — В сб.: «Адаптация, моделирование и диагностика систем». — Куйбышев, КуАИ, 1980, 21-26.

*63. **Полтавец Г.А.** Методологические основы теории управления в сложных системах. — М., Изд-во МАИ, 1990.

*64. **Растргиин Л.А.** Адаптация сложных систем. — Рига, Зинатне, 1981.

*65. **Тараканов К.В., Овчаров Л.А., Тыржжик А.Н.** Аналитические методы исследования систем. — М., Сов. радио, 1974.

*66. **Тарасов Е.А.** Алгоритм оптимального проектирования ЛА. — М., Машиностроение, 1970.

67. **Уёмов А.И.** Системный подход и общая теория систем. — М., 1978.

68. **Украинцев Б.С.** Причинность и самоуправляемые системы. — М., Мысль, 1972.

*69. **Урсул А.Д.** Информация. Методологические аспекты. — М., Наука, 1971.

*70. **Флейшман Б.С.** Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. — М., Сов. радио, 1971.

*71. **Червоный А.А., Лукьяшенко В.И., Котин В.Л.** Надежность сложных систем. — 2-е изд., перераб. и доп. — М., Машиностроение, 1976.

*72. **Черкесов Г.Н.** Надежность технических систем с временной избыточностью. — М., Сов. радио, 1974.

*73. **Честнат Г.** Техника больших систем (средства системотехники). — М., Энергия, 1969.

*74. **Чумаков Н.М., Серебряный Е.И.** Оценка эффективности сложных технических систем. — М., Сов. радио, 1980.

*75. **Щедровицкий Г.П.** Проблемы методологии системного исследования. М, 1964.

76. **Шеннон К.Э.** Работы по теории информации и кибернетике. — М., ИИЛ, 1963.

77. **Шеннон Р.Ю.** Имитационное моделирование — искусство и наука. — М., Мир, 1978.

*78. **Шеридан Т.Б., Феррел У.Р.** Системы «Человек-машина». — М., Машиностроение, 1980.

*79. **Шрейдер Ю.А., Шаров А.А.** Системы и модели. — М., Радио и связь, 1982.

*80. **Эйген М.** Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. — М., 1973.

81. **Югай Г.А.** Диалектика части и целого. — Алма-Ата, 1965.

82. **Юзвишин И.И.** Информациология (закономерности информационных процессов и технологий в микро- и макромирах Вселенной). — М., изд-во МИРЭА, 1993.

83. **Яблонский А.И.** Методологические вопросы анализа сложных систем. — М., «Системные исследования», 1984, 52-65.

*84. **Яглом А.М., Яглом И.М.** Вероятность и информация. — М., Наука, 1973.

«Не мы, а наши правнуки будут
летать по воздуху ako птицы...»

Пётр I

ГЛАВА 3

БОЛЬШИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛА И УРОВНИ СЛОЖНОСТИ СИСТЕМ

Наша цивилизация создала разнообразнейшие технические объекты высокой степени сложности: технологические, транспортные, энергетические и др. Как показано выше, в системотехнике признано называть такие объекты сложными системами. К ним, безусловно, относятся **летательные аппараты (ЛА)**. Рассматривая ЛА в качестве базового элемента в объекте более высокого уровня сложности, приходим к **большим техническим системам**. БТС на базе ЛА в соответствии со сложившейся практикой можно разделить (по признаку сферы действия и используемого физического принципа полета) на три класса: авиационные, ракетные и космические.

По целевому назначению классификация БТС совпадает с соответствующей классификацией ЛА, среди которых выделяются [2]: военные (оборонные), народно-хозяйственные (коммерческие), научно-исследовательские (экспериментальные), спортивно-развлека-

тельные (рекордные). По оцениваемому эффекту БТС подразделяются на основные, обеспечивающие и вспомогательные.

В свою очередь, *по классу решаемых задач* среди военных ЛА выделяются следующие типы: бомбардировщики (фронтовые, дальние, межконтинентальные); штурмовики, противолодочные; истребители (воздушного боя, перехватчики, многоцелевые); аппараты радиоэлектронной борьбы; разведчики (тактические, оперативные, стратегические); связные; метеорологические; навигационные; аппараты радиолокационного надзора и наблюдения; мобильные пункты управления; военнотранспортные; учебно-тренировочные; санитарного обеспечения; поисково-спасательные и др.

Народно-хозяйственные ЛА по классу решаемых задач делятся на: транспортные (пассажирские и грузовые), сельскохозяйственные, санитарные, пожаротушения, патрульные, строительные, геодезические, топографические, аварийно-спасательные, учебные и др. Здесь многие обеспечивающие

и вспомогательные задачи аналогичны тем, что решаются в интересах военных, поэтому часто создаются и применяются системы «двойного подчинения».

По классу задач научно-исследовательские ЛА подразделяются на аппараты, предназначенные для изучения Земли, атмосферы, для проведения биомедицинских исследований, для испытаний и экспериментов с новой техникой и т.п.

По классу задач спортивно-развлекательные ЛА делятся на: рекордные, соревновательные, обслуживающие массовые мероприятия, учебные.

Обилие потенциальных задач демонстрирует большие возможности ЛА, однако эти потребности могли остаться неудовлетворенными. Успешному развитию авиационной, ракетной и космической техники (АРКТ) способствовали два обстоятельства: гонка вооружений в условиях холодной войны и увеличение объема пассажирских и грузовых перевозок [3], появление других потребностей мирного плана (см. П.3).

Первый этап своего развития самолеты прошли от начала XX века до окончания Великой Отечественной войны. История боевых управляемых ракет началась с

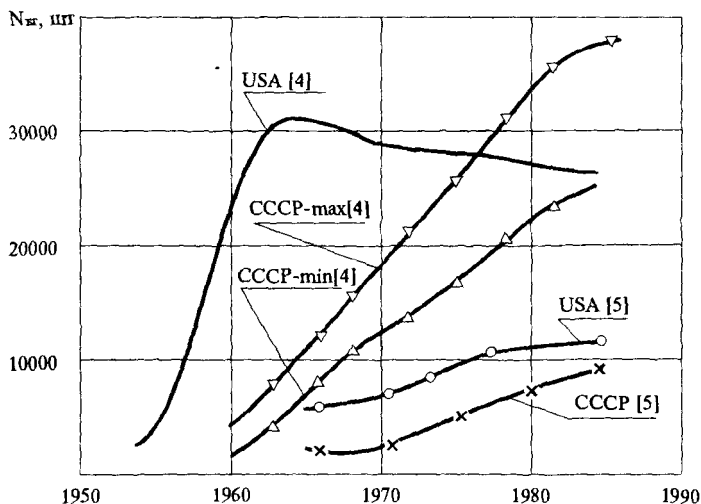


Рис. 3.1.1. Динамика изменения арсенала США и СССР (количество боеголовок)

Фау-1 и Фау-2 в Германии (1942-1944). После войны появились вертолеты и реактивные самолеты военного и гражданского назначения, были разработаны в СССР и США боевые ракеты тактического и стратегического назначения. В 1957-58 гг. на базе межконтинентальных баллистических ракет (МБР) были созданы первые ракеты-носители, доставившие на орбиту советские и американские искусственные спутники Земли (ИСЗ), началось освоение космического пространства.

Сегодня все виды Вооруженных Сил для решения наступательных и оборонительных задач, а также для боевого обеспечения (связь, метео, разведка, навигация и др.) широко используют различные ЛА: самолеты, вертолеты, ракеты,

космические аппараты (КА). Именно ЛА являются основными носителями ядерных боезарядов (см. П.3 и рис.3.1.1) [4, 5].

Различные ЛА нашли заметное применение в народном хозяйстве. В мирных целях ракеты используются мало (метеорологические и исследовательские). КА широко применяются для решения исследовательских и обеспечивающих задач (связь, метеонаблюдение, навигация, топография, исследование природных ресурсов и т.п.). Перевозка пассажиров и грузов воздушным транспортом осуществляется главным образом с применением самолетов и частично вертолетов.

Мировая тенденция к международной кооперации промышленности и сельского хозяйства,

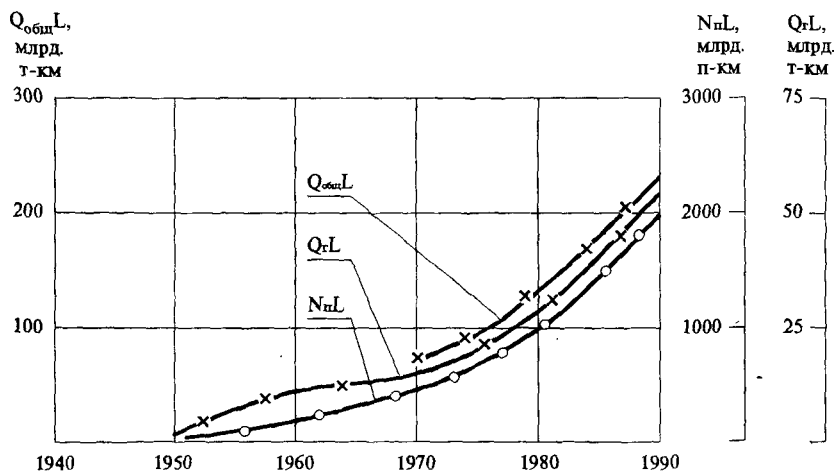


Рис. 3.1.2. Динамика изменения объема работы мировой гражданской авиации

стремление к интеграции не только на уровне государств, но и на уровне межнациональных фирм привели к резкому увеличению роли транспортных средств. Объем перевозок сырья для обеспечения выпуска промышленной продукции на Земле уже превысил 100 млрд. тонн в год. Чтобы оценить возрастающую роль **транспортных систем, использующих в качестве базовых элементов летательные аппараты** и определить их место среди других транспортных средств, необходимо провести краткий анализ характеристик грузовых и пассажирских потоков, динамику их изменения по годам, распределение между различными

видами транспорта. Эти сведения вынесены в П.3, откуда следует, что общий пассажирооборот вырос за последние 50 лет почти в сотню раз. За этот же период грузооборот всего транспорта в мировом масштабе вырос примерно в 50 раз, а на воздушном транспорте (в том числе) в 150 раз, такая же тенденция характерна [3] для нашей страны (рис.3.1.2-3.1.4).

Рост потребностей в перевозке грузов и пассажиров вызвал необходимость улучшения целевых показателей эффективности воздушного транспорта и летно-технических характеристик ЛА. Однако, с одной стороны, этот прогресс связан с необходимостью

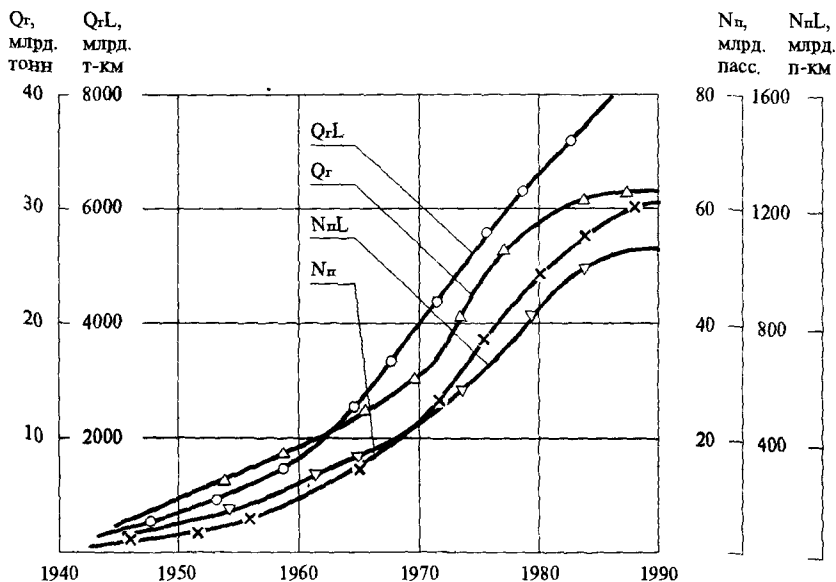


Рис. 3.1.3. Динамика изменения объема работы всего транспорта в СССР

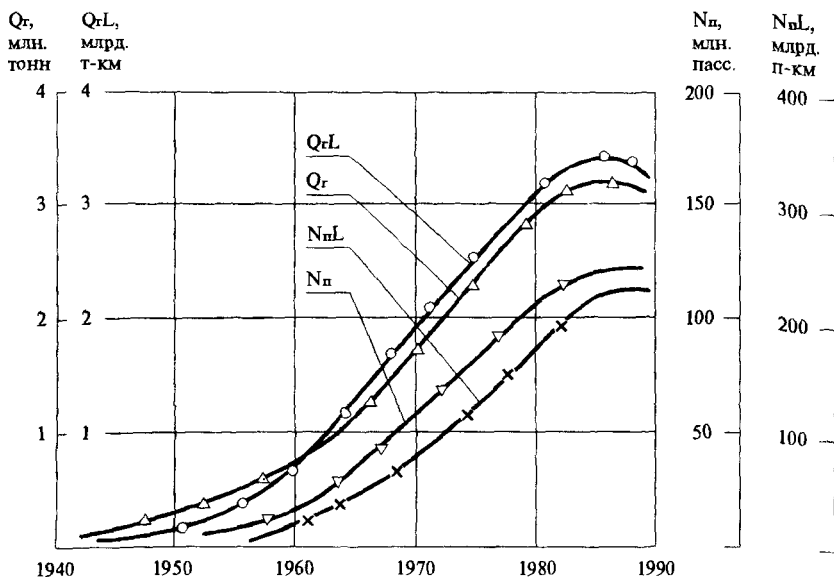


Рис. 3.1.4. Динамика изменения объема работы воздушного транспорта СССР

повышения качества функциональных бортовых систем (ФБС) ЛА, а с другой стороны, он имеет тенденцию насыщения. В какой-то момент кривая на графике приближается к асимптоте, прирост требует больших затрат. Наступает момент качественного скачка, когда необходимо внести существенные изменения в БТС в целом. То есть практически происходит переход на новый уровень сложности не только ФБС и ЛА, но и всей транспортной системы.

За 50 лет сменилось несколько поколений воздушных судов (самолетов и вертолетов). Выросли их грузо- и пассажировмести-

мость, дальность и скорость полета. Потребовалась установка на борту ранее не существовавших систем: противообледенительные, жизнеобеспечения и др. Для новых самолетов пришлось создать разветвленную сеть специализированных наземных служб. Аналогичная тенденция этапного развития наблюдается в ракетной и космической технике. Чтобы проиллюстрировать всю сложность этой проблемы в третьей и шестой главах рассматриваются примеры данных систем.

С определенной долей условности специфику ЛА и рассматриваемых в данной главе БТС можно отразить следующим образом:

1. **Авиационные системы {Av-C}** гражданского назначения (civil) являются в первую очередь *транспортными* {Av-C(m)}, доставляя в заданное место массу (m) полезной нагрузки (ПН): пассажиров, грузы, почту и др. Кроме того, в интересах народного хозяйства решаются различные задачи *информационного* назначения {Av-C(I)}.

У транспортных систем {Av(m)} многочисленными конкурентами являются все виды наземного транспорта (автомобильный, железнодорожный, речной, морской и др.). Авиация имеет преимущество по скорости и доступности (в ряде случаев).

2. **Авиационные системы {Av-M}** военного назначения (military) решают боевые задачи на поражение наземных, морских и воздушных целей. Оставаясь при этом транспортными по форме, по содержанию они фактически являются *энергетическими* {Av-M(E)}, т.к. основная их цель доставка «разрушающей энергии» в заданную точку дислокации противника. Кроме того, военная авиация осуществляет *информационное обеспечение* различных объектов других видов Вооруженных Сил {Av-M(I)} и обеспечивает военные *грузо-пассажирские перевозки* {Av-M(m)}.

3. **Ракетные системы военного назначения** решают в основном боевые задачи, являясь по сути *энергетическими* системами класса {Rock-M(E)}.

Главными конкурентами боевых (энергетических) систем {Av-M(E)}

и {Rock-M(E)} являются ствольная артиллерия и в перспективе «лучевое оружие». Самолеты и ракеты превосходят пушки по дальности и оперативности.

4. **Космические системы военного и гражданского назначения** {Sp-M(I)} и {Sp-C(I)} главным образом *информационные*, а транспортные задачи (например, смена экипажей и доставка грузов на орбитальную станцию — {Sp(m)}) носят вспомогательный характер.

Системы {Sp(I)}, соперничая с системами {Av(I)}, в различных областях информационной деятельности, не имеют и никогда не будут иметь конкурентов при решении многих задач в силу специфики космической среды, благодаря глобальности охвата обслуживаемых территорий и оперативности решения задач. Космическая техника, отличаясь уникальностью, повышенной сложностью и высокой стоимостью, мало пригодна для транспортных задач в пределах Земли, ее удел — информатизация человечества. Лишь в будущем, при освоении планет Солнечной системы и при полетах за ее пределы (к другим мирам) космонавтика может расширить спектр транспортных задач {Sp(m)} и увеличить объем перевозок. Энергетическое направление космонавтики {Sp(E)} часто упоминается как перспективный экологически чистый способ снабжения солнечной энергией земных потребителей, но пока никаких практических успехов нет и в ближайшее время не предвидится.

В тоже время информационное поле деятельности космонавтики выявилось с первых запусков ИСЗ и является самым эффективным приложением сил и средств при освоении космического пространства.

Системный анализ широкого спектра ЛА и созданных на их базе БТС требует прежде всего решения проблем классификации. Этими вопросами в определенном плане занимается ФАИ (Federation Aeronautique Internationale-FAI; Международная авиационная федерация), объединяющая национальные федерации и клубы. Главной задачей ФАИ, образованной в 1905 году, является развитие авиации и космонавтики во всем мире. В основном упор ФАИ делается на спортивную сторону: разрабатываются и утверждаются правила международных соревнований, организуется и осуществляется контроль за их проведением, ведется регистрация авиационных и космических рекордов. Это привело к необходимости различать ЛА, которые в соответствии со спортивным кодексом ФАИ делятся на официально утвержденные классы [1, стр. 275]:

А — свободные аэростаты;

В — дирижабли;

С — самолеты, гидросамолеты, самолеты-амфибии, подразделяющиеся на подклассы по взлетной массе и по силовым установкам (ПД, ТВД, ТРД, РД);

Д — планеры (в том числе, с мотором);

Е — винтокрылые аппараты (вертолеты, конвертопланы, автожиры);

F — модели;

G — парашюты;

H — аппараты с реактивной подъемной силой;

I — аппараты с мускульным двигателем;

K — космические корабли;

L — аппараты с предельной минимальной высотой полета (на воздушной или магнитной подушке);

M — аппараты с поворотом крыла или двигателя;

N — аппараты короткого взлета и посадки;

O — безмоторные аппараты (дельтапланы);

P — воздушно-космические аппараты;

R — сверхлегкие самолеты (не более 150 кг);

S — космические модели.

Данная классификация ЛА, признанная ФАИ, является обязательной для всех спортивных состязаний и регистрации рекордов. Как видно из перечня, фактически в этой классификации используется одновременно несколько признаков: сфера полета (атмосфера или КП), способы создания подъемной силы, тип двигателя или движителя, размеры, конструктивно-компоновочная схема и др.

Существует значительное число работ, где рассматриваются и иные принципы и признаки классификации ЛА. Например, при системных исследованиях перспективных разработок важное значение имеет принцип осуществления полета (создания подъемной

силы), согласно которому можно выделить следующие типы ЛА:

1. *Аэростатические*, у которых всплывающая сила обеспечивается архимедовой силой, действующей на оболочку, наполненную легким газом или теплым воздухом (воздушные шары, аэростаты, дирижабли).

2. *Аэродинамические*, использующие для полета аэродинамическую подъемную силу, которая образуется:

– при обтекании воздушным потоком крыла (самолеты, планеры, махолеты, дельтапланы и т.п.);

– при обтекании несущего винта (вертолеты и автожиры);

– при «торможении купола» (парашюты),

– экранопланы.

3. *Динамобаллистические* (ракетного типа), выполняющие основную часть полета по баллистической траектории (по инерции в поле сил тяготения), а на начальном (за счет тяги двигателя) и конечном участках – в атмосфере.

4. *Свободнолетающие* (ИСЗ, межпланетные КА и др.).

На практике используется большое количество других признаков распределения ЛА по классам, среди которых чаще всего встречаются: *по условиям базирования*: сухопутные, корабельные, гидросамолеты, самолеты-амфибии; *по скорости*: дозвуковые, сверхзвуковые, гиперзвуковые; *по потребной длине полосы*: обычного, укороченного, вертикального взлета и посадки; *по виду управле-*

ния: пилотируемые, беспилотные, дистанционно управляемые; *по маневренности*: высокоманевренные, ограниченно маневренные, неманевренные; *по типу двигателей*: поршневые, турбореактивные, турбовинтовые, реактивные и др.

Однако нам не встречалась классификация БТС на базе ЛА, с позиций их сложности, которая представляет несомненный интерес для самых различных специалистов. Поэтому предлагается провести такую классификацию, рассматриваемую с позиций производства и эксплуатации авиационной, ракетной и космической техники, а также с точки зрения организации работы ЧМС. Традиционно ЛА по уровням сложности делятся на поколения. Обычно эти уровни увязываются с развитием применяемых технологий и реализуемых конструкций. Представляется необходимым более четко разграничить не только ЛА, но и БТС. Предлагаемая концепция содержит следующие отправные моменты системного подхода к классификации по степени сложности:

1. Градации сложности БТС назовем **поколениями {Gen} (generation)**. Основными признаками здесь выступают целевое предназначение и уровень сложности ЛА, выделение и уровень развития наземных комплексов, использование одних и тех же комплексов для аппаратов различного типа, многоцелевое и комплексное применение технических средств, сте-

пень автоматизации процесса эксплуатации.

2. Градации сложности летательных аппаратов назовем **уровнями {Lev} (level)**. Основными признаками принимаются сложность решаемых задач, оснащенность специальной и обеспечивающей аппаратурой, трудоемкость изготовления изделий, структурная динамичность ЛА в полете, а также возможность его развития (модернизации) в течение жизненного цикла.

3. В качестве градации сложности функциональных бортовых систем летательных аппаратов примем **степень развитости {Deg} (degree)**, которая определяется количеством и сложностью выполняемых ими функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Авиация:** Энциклопедия/ Гл. ред. Г.П. Свищев. -М., Большая Российская энциклопедия, ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, 1994.

2. **Полтавец Г.А.** Методологические основы теории управления в сложных системах. -М., Изд-во МАИ, 1990.

3. **Народное хозяйство СССР.**//Статистические ежегодники//Госкомстат СССР. -М., Финансы и статистика, 1955-1991.

4. **Кохран Т., Аркин У., Норрис Р., Сэндс Дж.** Ядерное вооружение СССР/М., ИздАТ, 1992.

5. **Макиамара Р.** Курсом ошибок – к катастрофе. Как выжить в первый ядерный век?/«За рубежом», N5, 1987.

3.2. АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

3.2.1. Создание и развитие авиационных систем

Наибольшего развития ЛА и построенные на их основе БТС получили в авиации. Первые шаги практического применения авиации были сделаны в начале XX века в области военного использования самолетов. В период Первой Мировой войны авиация использовалась для разведки и связи, а затем для нанесения бомбовых ударов, в том числе на море. После окончания войны в странах Западной Европы получила развитие гражданская авиация, осуществлявшая перевозки пассажиров, почты и грузов. Для этих целей создавались специализированные пассажирские самолеты и переоборудовались военные.

Самолеты первого поколения с уровнем сложности {Lev-1} были достаточно простыми по конструкции и на них было установлено несложное оборудование. Полеты выполнялись с грунта, днем, в простых метеорологических условиях. Это не требовало сложных систем управления воздушным движением и обеспечения полетов. В СССР первая регулярная воздушная линия «Москва-Нижний Новгород» открылась в 1923 году. Фактически до 30-х годов при постоянном развитии транспортной авиации и освоения новых воздушных путей в Советском Союзе полеты выполнялись без наземных

средств навигации, связи и метеорологического обеспечения, хотя к 1940 году уже насчитывалось около 150 крупных аэропортов. Авиационные системы такого уровня сложности определяют первое поколение {Gen-1}.

Только после Великой Отечественной войны в 1945 году были подготовлены к эксплуатации ночью, в сложных метеорологических условиях аэродромы в Москве, Иркутске, Ташкенте, Алма-Ате, Баку и Ашхабаде. В середине 50-х годов авиационные системы усложнились до уровня второго поколения {Gen-2}: аэродромы первого класса начали оборудоваться курсо-гладсадными системами посадки СП-50 и УКВ радиостанциями.

По мере развития мировой гражданской авиации наблюдается сначала медленный (см. табл. П.3.4), а затем интенсивный рост (см. табл. П.3.5) объема регулярных пассажирских и грузовых перевозок [5]. Ряд основных показателей мировой и отечественной гражданской авиации представлен в Приложении П.3 [2,8] и на рис. 3.1.2-3.1.4.

Последующее бурное развитие авиационной науки и техники привело к оснащению самолетов радиотехническими средствами, автопилотами, автоматическими системами посадки, противообледенительными системами, что позволило существенно расширить границы применения авиации. Кроме того, увеличился перечень

задач, решаемых авиацией, включая сельскохозяйственные работы, геодезические исследования, ледовую разведку и др.

Особенно интенсивное и качественно новое развитие мировая авиация получила в середине 50-х годов, когда на смену поршневой авиации пришли самолеты с турбореактивными (ТРД), турбовинтовыми (ТВД) двигателями, а затем с двухконтурными турбореактивными (ТРДД).

С 1956 года парк советских самолетов тоже начал пополняться принципиально новыми по конструкции и оборудованию реактивными самолетами уровня {Lev-3}: Ту-104, а затем Ту-114, Ил-18 и Ан-10, которые для взлета и посадки требовали твердого бетонного покрытия полосы. На местных авиалиниях эксплуатировались самолеты уровня сложности {Lev-2} с поршневыми двигателями (ПД): Ил-14, Ли-2 и Ан-2. К середине 60-х годов парк самолетов уровня {Lev-3} заметно обновился и расширился. В эксплуатацию поступили транспортные самолеты Ту-124, Ту-134 и Ил-62 с ТРД, затем наиболее массовый самолет Ту-154, а на местные авиалинии самолеты с ТРД (Як-40) и с ТВД (Ан-24). Советские самолеты начали выполнять международные рейсы. Некоторые летно-технические характеристики и уровни сложности транспортных самолетов отечественного производства, определяющие возможности применения их в народном хозяйстве даны в табл.3.2.1 [1]. Повы-

Таблица 3.2.1.
Классификация по уровням сложности и основные летно-технические характеристики пассажирских самолетов СССР

Уровень (level)	Тип самолета	Первый полет	Взлетная масса, т	Коммерческая нагрузка, т	Дальность полета, км	Число пассажиров
Lev-2	Ил-12	1945	17,3	2,6-3,2	2200	27-32
	АН-2	1947	5,5	1,5	420	12
	Ил-14	1950	17,5	3,0-3,6	1400	36-40
Lev-3	Ту-104	1955	78,0	12,0	2100	100
	Ту-114	1957	179,0	22,5	7000	170-224
	АН-10	1957	54,0	14,5	1800	100
	Ил-18	1958	59,2	10,1	3800	75
	АН-24	1959	21,8	5,3	1000	52
	Ту-124	1960	37,6	6,0	1500	44-56
	Ту-134	1963	47,6	8,2	1980	80-86
	Ил-62	1963	161,6	23,0	7550	168-186
	Як-40	1966	13,15	2,28	600	24
	Ту-154	1968	98,0	18,0	3300	164-180
	Ил-62М	1970	165,0	23,0	8800	168-186
	Як-40М	1973	16,1	2,72	1500	32
Lev-4	Ту-154М	1984	100,0	18,0	3700	164-175
	Як-42	1975	53,5	14,5	1000	120
Lev-5	Ил-86	1976	210,0	42,0	3600	350
	Ил-96-300	1988	216,0	40,0	9000	300
Lev-5	Ту-204	1989	93,5	21,0	2500	214
	Ил-114	1990	21,0	6,0	1000	60-64

шение тяговооруженности двигателей позволило увеличивать размеры самолетов и перевозимую полезную нагрузку. В гражданской авиации стали применяться широкофюзеляжные самолеты, способные перевозить одновременно до 550 пассажиров. В военной авиации появились сверхзвуковые самолеты, тяжелые дальние бомбардировщики, оснащенные навигационным электронным оборудованием, позволяющим выполнять полеты в сложных погодных условиях. Снизился «ми-

нимум погоды» при взлете и посадке самолета.

Классификация воздушных судов (ВС) по массе приведена в табл.3.2.2 [1].

Таблица 3.2.2.
Классификация ВС по массе

Класс ЛА	Максимальная взлетная масса, т	
	самолеты	вертолеты
1	75 и более	10 и более
2	от 30 до 75	от 5 до 10
3	от 10 до 30	от 2 до 5
4	до 10	до 2

Новые самолеты потребовали специализированного развития наземных служб. Для выполнения полетов в обновляющейся военной, транспортной и специальной авиации была проведена установка на аэродромах и по трассам радиомаяков, радиопеленгаторов, радиолокаторов, курсо-глиссадных систем и других наземных технических средств. По мере усложнения самолетного и наземного оборудования обеспечивать четкую их работу разрозненными службами стало невозможно. Поэтому в СССР была создана единая авиационная система поколения {Gen-3}, где все элементы работают в тесной взаимосвязи, позволяющей эффективно решать поставленные задачи, в том числе задачу обеспечения безопасности полетов. Кроме того, полеты различных родов авиации, например, военного и гражданского назначения выполняются в едином воздушном пространстве, а в ряде случаев при совместном базировании на одних аэродромах. Функционирование служб гражданской и военной авиации в таких случаях невозможно раздельно, вне рамок единой авиационной системы.

В 1970 году СССР вступил в ИКАО (International Civil Aviation Organization – Международная организация гражданской авиации), что наложило определенные обязательства на оснащение аэродромов и самолетов современными техническими средствами. В 1981

году в Московской воздушной зоне была введена в действие единая автоматизированная система управления воздушным движением, рассчитанная на одновременную обработку данных по 325 самолетам, находящимся в воздухе.

Самолеты по своей сложности достигли уровней {Lev-4} и {Lev-5}. Эти поколения транспортных самолетов отличается от предыдущих высокой интенсивностью эксплуатации, высоким уровнем безопасности полетов, регулярностью вылетов, меньшей трудоемкостью технического обслуживания. Первоочередной задачей гражданской авиации остается удовлетворение возрастающих потребностей в перевозках пассажиров и грузов.

Интенсивно развивалась и мировая авиация, объем работ на регулярных авиалиниях стран-членов ИКАО приближается к 30 млн. часов налета в год (табл.3.2.3). Здесь согласно Годовым докладам Совета ИКАО [2] показатели объема работы и безопасности приведены без данных СССР (СНГ) и Китая. Мировой парк насчитывает около 12000 только магистральных самолетов. Самолеты и вертолеты авиации общего назначения (АОН) достигли налета около 50 млн. часов в год (22% учебные; 57% деловые, а также туристские; 21% на проведение различных работ и прочих полетов). Число пилотов АОН (без СССР и КНР) к 1990 году составило около 60000 человек. Количество перевезен-

Таблица 3.2.3.

Показатели объема работы и безопасности полетов
на регулярных авиалиниях стран — членов ИКАО за период 1950-1995 гг.

Годы	Объем работы					Катастрофы				Погибло	
	Т	П	ПО	ГО	Пас	N _{вс}	N1	N2	N3	N _{пог}	N4
1950	5,0	-	28	1,43	31	27	0,54	-	1,88	551	1,97
1951	5,7	-	35	1,63	41	20	0,35	-	1,23	443	1,27
1952	6,2	-	40	1,78	44	21	0,34	-	1,18	386	0,97
1953	6,5	-	46	1,94	51	28	0,43	-	1,44	356	0,77
1954	6,6	-	52	2,06	58	28	0,42	-	1,36	447	0,85
1955	7,2	-	61	2,28	67	26	0,36	-	1,14	407	0,67
1956	7,9	-	71	2,54	76	27	0,34	-	1,06	552	0,78
1957	8,6	-	82	2,84	85	31	0,36	-	1,09	507	0,62
1958	8,8	-	85	2,94	87	30	0,34	-	1,02	609	0,72
1959	9,0	-	98	3,08	97	28	0,31	-	0,91	613	0,63
1960	8,7	6,0	109	3,11	106	33	0,38	0,50	1,06	873	0,80
1961	8,1	6,6	117	3,12	111	25	0,31	0,38	0,80	805	0,69
1962	7,8	6,7	130	3,24	121	28	0,36	0,42	0,86	765	0,59
1963	7,9	6,7	147	3,43	135	31	0,39	0,46	0,90	715	0,49
1964	8,3	7,1	171	3,70	155	25	0,30	0,35	0,68	661	0,39
1965	8,9	7,6	198	4,10	177	25	0,29	0,33	0,61	684	0,34
1966	9,4	7,8	229	4,49	200	31	0,33	0,40	0,69	1001	0,44
1967	10,3	8,6	273	5,29	234	30	0,29	0,35	0,57	678	0,25
1968	11,2	9,3	310	6,00	262	35	0,31	0,38	0,57	912	0,29
1969	11,8	9,4	348	6,63	289	32	0,27	0,34	0,48	946	0,27
1970	12,2	9,7	461	56,69	383	28	0,23	0,30	0,40	687	0,18
1971	13,7	9,7	494	60,43	411	31	0,26	0,32	0,44	867	0,21
1972	17,5	9,5	560	72,40	450	42	0,34	0,44	0,58	1210	0,26
1973	12,5	10,0	618	76,10	489	36	0,28	0,36	0,48	862	0,17
1974	12,6	9,7	656	79,00	515	29	0,23	0,30	0,39	1299	0,24
1975	10,6	9,5	697	84,79	534	20	0,16	0,21	0,27	443	0,08
1976	10,7	10,0	764	93,26	576	20	0,15	0,20	0,25	734	0,12
1977	10,9	10,0	818	100,44	610	24	0,18	0,24	0,30	516	0,07
1978	11,4	10,4	936	113,54	679	25	0,18	0,24	0,29	755	0,09
1979	12,0	10,7	1060	126,86	754	31	0,21	0,29	0,34	878	0,10
1980	12,5	10,5	1089	130,98	748	21	0,14	0,20	0,22	812	0,09
1981	12,9	12,3	1119	135,49	752	21	0,14	0,21	0,23	362	0,04
1982	13,4	10,0	1142	138,40	764	26	0,18	0,25	0,29	764	0,08
1983	13,4	10,5	1187	145,96	795	20	0,13	0,19	0,21	809	0,08
1984	16,0	10,7	1278	159,2	848	16	0,10	0,14	0,16	228	0,02
1985	17,2	11,9	1367	167,7	899	22	0,13	0,19	0,20	1067	0,09
1986	18,9	12,1	1452	178,8	960	17	0,09	0,14	0,15	331	0,03
1987	20,0	13,3	1589	196,5	1028	24	0,12	0,18	0,20	890	0,06

Окончание таблицы 3.2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1988	20,8	13,9	1705	212,1	1082	25	0,12	0,18	0,19	699	0,05
1989	22,9	14,1	1780	223,7	1119	27	0,12	0,19	0,20	817	0,05
1990	23,3	14,6	1894	235,2	1165	22	0,09	0,15	0,15	440	0,03
1991	23,3	14,2	1844	230,7	1134	25	0,11	0,18	0,18	510	0,03
1992	24,5	14,7	1927	242,2	1161	25	0,10	0,17	0,16	990	0,06
1993	24,7	14,8	1971	251,2	1171	31	0,12	0,20	0,19	801	0,04
1994	27,2	16,0	2098	273,3	1231	24	0,09	0,15	0,14	732	0,04
1995	27,4	17,6	2230	292,3	1288	22	0,08	0,13	0,12	557	0,03
Т — налет, млн. час.;						N _{кат} — число катастроф;					
П — число посадок, млн.;						N1 — число катастроф на 10 ⁵ час.;					
ПО — пассажирооборот, млрд. пасс.-км;						N2 — число катастроф на 10 ⁵ посадок.;					
ГО — объем перевозок, млрд. т-км;						N3 — число катастроф на 10 ⁸ км.;					
Пас — число перевезенных пассажиров, млн. человек;						N _{пор} — число погибших, человек;					
						N4 — погибло на 10 ⁸ пасс.-км.					

ных авиацией пассажиров в год превышает 20% населения Земли. Сильное развитие получила аэродромная сеть. Всего в странах-членах ИКАО примерно насчитывается: 14000 аэродромов для гражданских самолетов, 400 гидроаэродромов, 600 вертодромов, 20000 аэродромов для использования частными лицами. На аэродромах 1-го класса функционирует более 1500 взлетно-посадочных полос (ВПП). Функционирует более 1000 международных аэродромов, которые распределяются по регионам следующим образом:

- Африка и бассейн Индийского океана 16%;
- Европа 36%;
- Ближний Восток и Азия 17%;
- Южная Америка и Карибский бассейн 19%;
- Северная Америка, Североатлантический и Тихоокеанский регионы 12%.

Таким образом, в настоящее время авиационно-транспортные системы, развиваясь технически, меняют организационный статус. Они, достигнув сложности {Сеп-4}, становятся международными большими техническими системами, интегрированными по различным типам и уровням сложности самолетов разных стран.

3.2.2. Авиационно-транспортная система

Авиационная суперсистема (АС) представляет собой совокупность функционально взаимосвязанных **авиационно-транспортных систем (АТС) и целевых систем**, обеспечивающих решение задач военной, народнохозяйственной, исследовательской и спортивной авиации. Ее целевым назначением является обеспечение в едином

воздушном пространстве полетов летательных аппаратов различного типа.

В состав АС входят: летательные аппараты; служба управления воздушным движением, навигационные и связные средства; инженерно-техническая служба, средства технического обслуживания и подготовки ЛА к полету; аэродромы, технические средства обеспечения полетов; метеорологическая служба и технические

средства наблюдения за погодой; штурманская и аэронавигационная службы; службы организации перевозок и технические средства, погрузки и выгрузки перевозимого груза; медицинская служба; орнитологическая служба; ремонтные заводы, средства производства и т. п.

АТС входит составной частью в авиационную суперсистему, являясь одной из ее составляющей по классу решаемых транспортных

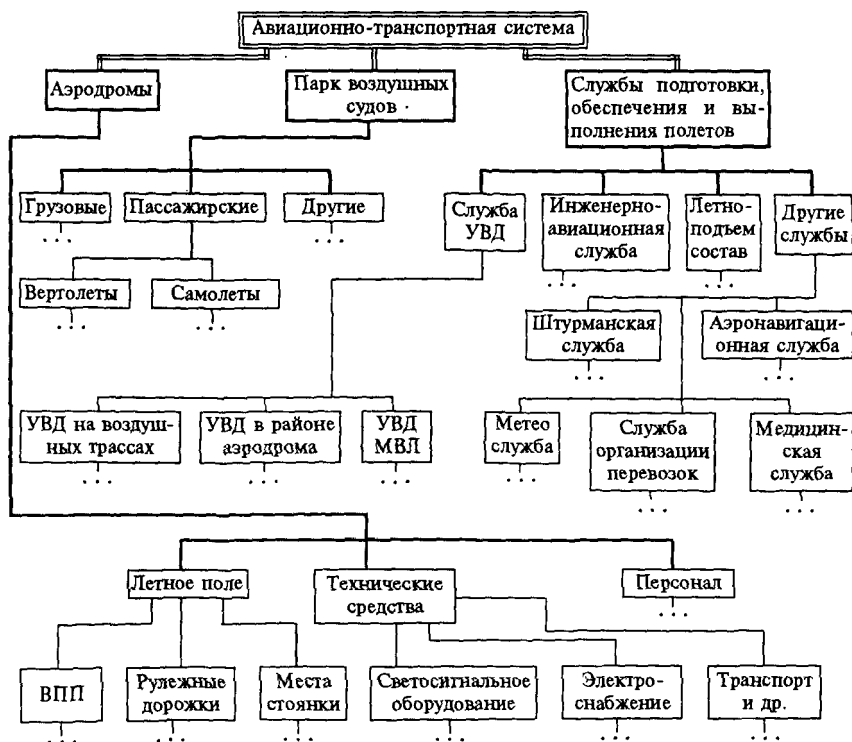


Рис. 3.2.1. Углубленная структура АТС (основные подсистемы и элементы), решающей задачи гражданской авиации

задач и предназначена для перевозки пассажиров, грузов, почты.

Базовыми элементами АТС являются самолеты и вертолеты, которые в соответствии с международной практикой называются **воздушными судами (ВС)**.

Структура АТС включает (рис.3.2.1):

- парк воздушных судов (самолеты и вертолеты);
- инженерно-авиационную службу, обеспечивающую техническую готовность ВС к полетам (рис.3.2.2);

- службу управления воздушным движением (УВД), обеспечивающую пролеты ВС в заданных точках воздушного пространства и полеты в зоне аэродромов (рис.3.2.3) в том числе на местных воздушных линиях (МВЛ);

- аэродромы (аэропорты), с которых выполняются взлеты и на которые осуществляются посадки ВС;

- другие службы обеспечения и подготовки полетов (метео, штурманская, аэронавигационная, организации перевозки, медицин-

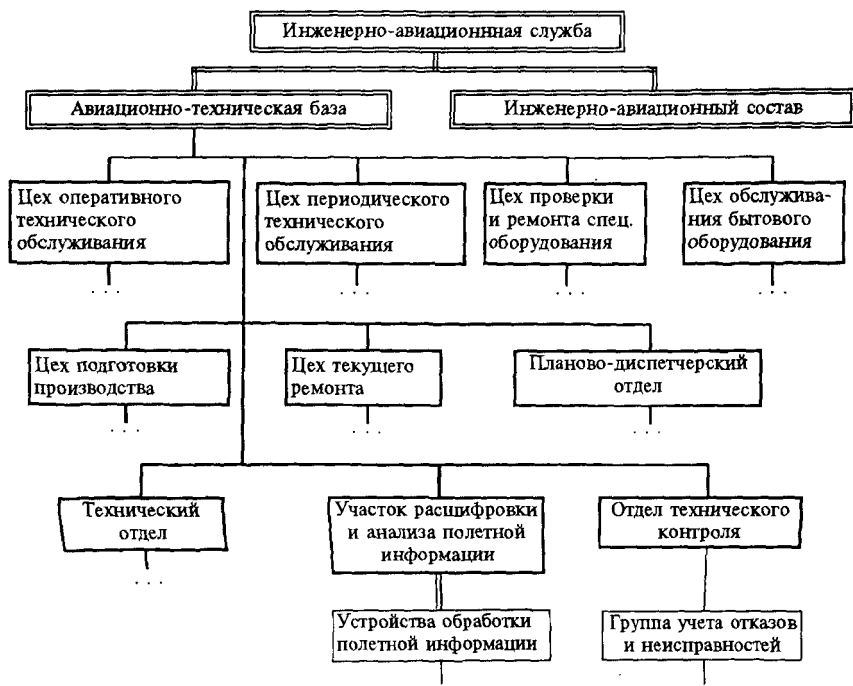


Рис. 3.2.2. Фрагмент организационной декомпозиции инженерно-авиационной службы

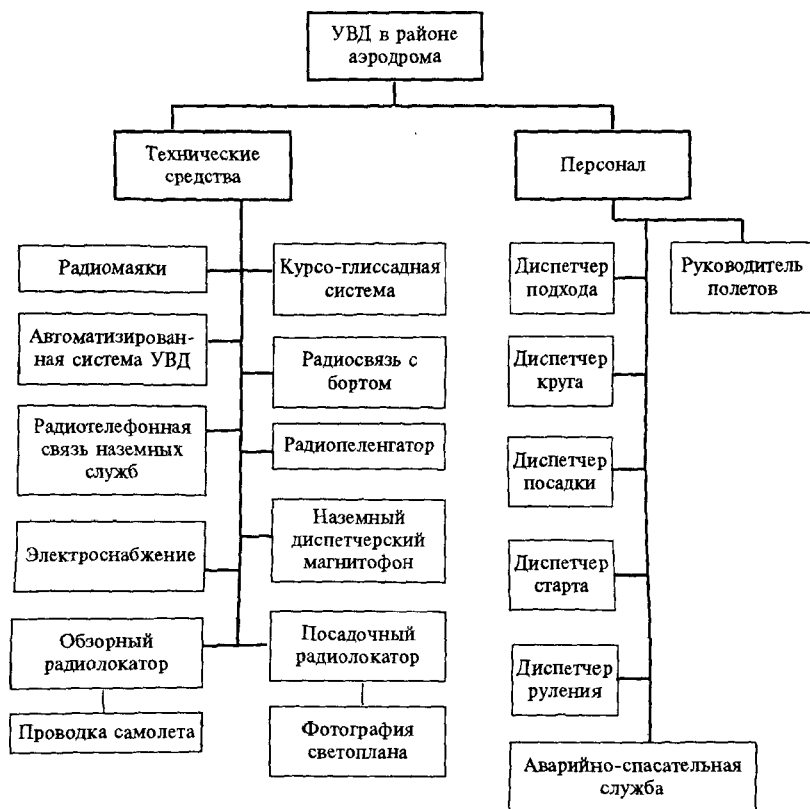


Рис. 3.2.3. Организационно-техническая структура аэродромной системы управления воздушным движением

ская, орнитологическая, производственно-диспетчерская и т.п.).

Поскольку АТС относится к классу ЧМС, в ее состав входят, кроме техники и сооружений, экипажи (летный отряд), выполняющие полеты на воздушных судах, а также личный состав различных наземных служб. Различные элементы АТС принадлежат разным владельцам, но функ-

ционально они являются составной частью единой системы.

Проведём краткий системный анализ ВС. На примере технической декомпозиции самолета Ил-86, представленной на рис.3.2.4, показано насколько обширна номенклатура функциональных бортовых систем. При переходе к самолетам уровня {Lev-4} существенно возросла сложность ФБС за

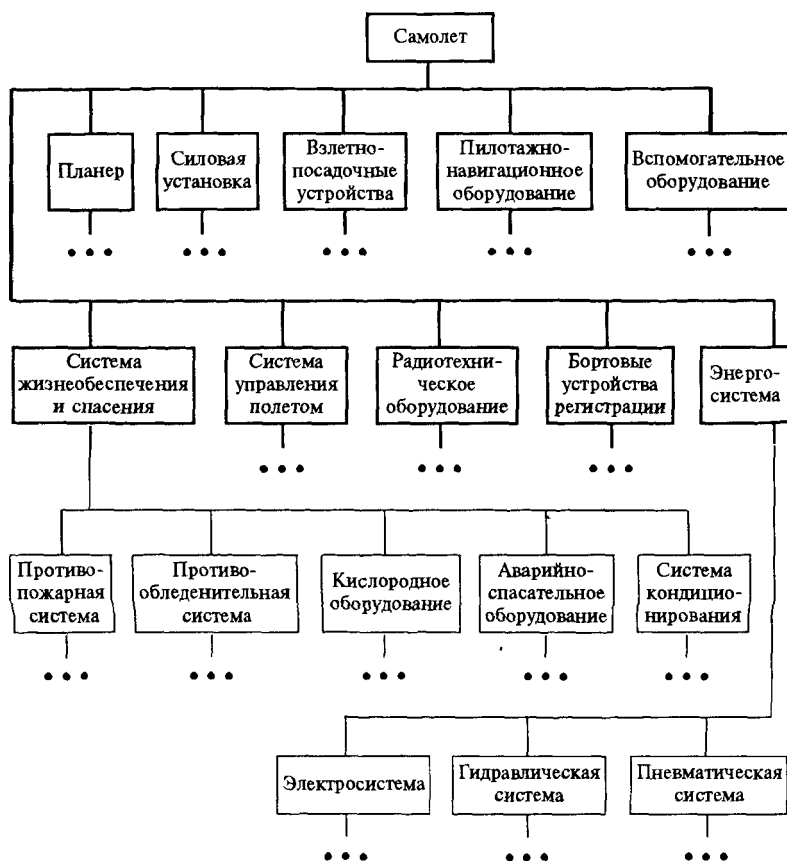


Рис. 3.2.4. Декомпозиция самолета как сложной технической системы

счет многофункциональности и разветвленности на подсистемы и агрегаты. В качестве примеров приведены декомпозиции силовой установки (рис.3.2.5) и бортовой системы управления полетом самолета (рис.3.2.6), а отдельно по каналу управления элеронами на рис.3.2.7. При этом одна и та же ФБС по названию на разных само-

летах может выполнять различное количество функций. Так, например, система управления закрылками самолета Як-40 обеспечивает лишь выпуск закрылков на фиксированный угол и уборку. На самолете Ил-86, кроме этих функций, ФБС обеспечивает синхронизацию движения левого и правого закрылков, контроль соответствия

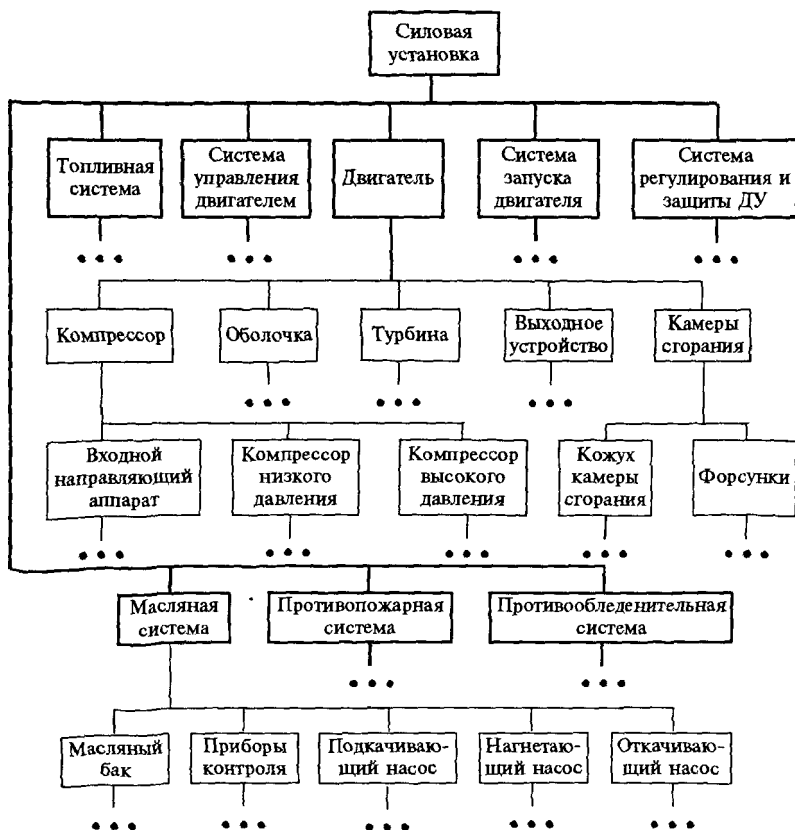


Рис. 3.2.5. Техническая декомпозиция силовой установки самолета

их углов друг с другом, предотвращающий возникновение авиационных происшествий из-за несинхронной уборки или выпуска закрылков, которые имели место на других самолетах этого класса. Заметным прогрессом был переход от простейших систем, ставящих закрылки в два-три дискретные положения, к сложным системам с непрерывным контролем и управ-

лением углом выпуска [6,7]. При переходе к самолетам сложности {Lev-3} появились новые ФБС, например, противопожарная система (рис.3.2.8), которая на самолетах уровней {Lev-1} и {Lev-2} вообще отсутствовала.

В процессе развития мировой авиационной науки и техники было разработано новое по задачам бортовое и наземное оборудова-



Рис. 3.2.6. Фрагмент технической декомпозиции бортовой системы управления самолетом



Рис. 3.2.7. Фрагмент технической декомпозиции бортовой системы управления элеронами

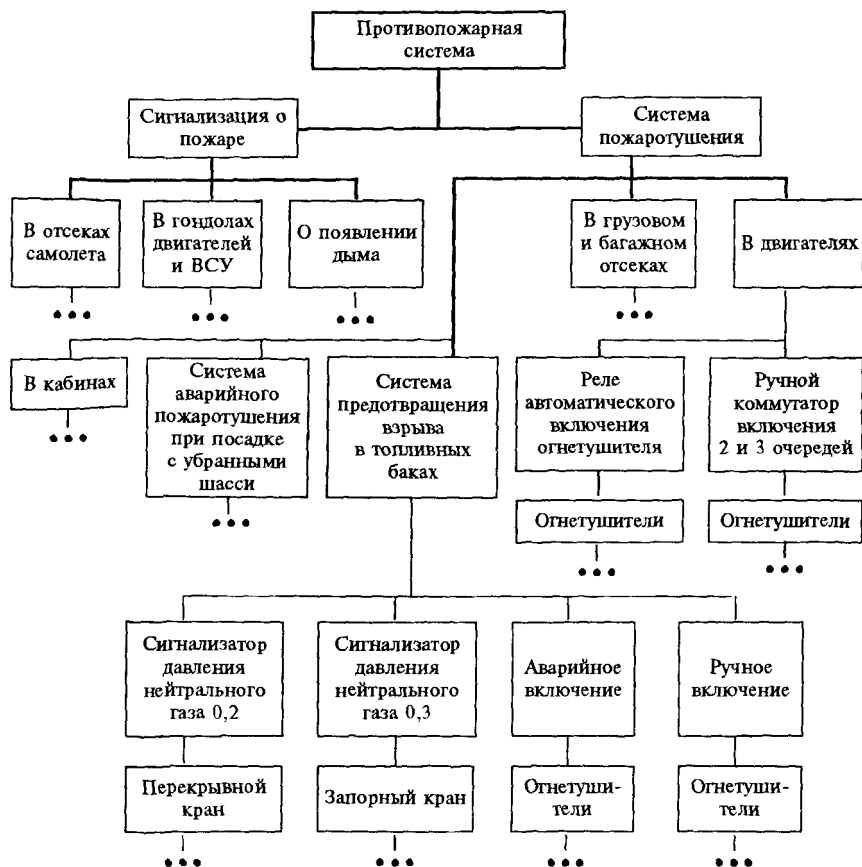


Рис. 3.2.8. Техническая декомпозиция бортовой противопожарной системы

ние, позволяющее проводить эксплуатацию ВС не только днем в ясную погоду, но и ночью в сложных метеорологических условиях (низкой облачности, обледенении, осадках и др.). Наряду с визуальными полетами была создана возможность полетов только по приборам, автоматического выполнения полетов как по маршруту, так

и захода на посадку, а также автоматической посадки. Это привело к повышению регулярности, интенсивности полетов и, что существенно, к повышению безопасности полетов. Наряду со старым поколением ВС, некоторые типы которых продолжают эксплуатироваться и успешно выполнять поставленные задачи, для которых

не требуется сложного бортового и наземного оборудования, созданы и постоянно совершенствуются ВС, эксплуатация которых невозможна без кардинальной перестройки структуры АТС.

Можно выделить несколько уровней сложности самолетов различных поколений. К первому поколению **{Lev-1}** относятся самолеты довоенного выпуска. (в табл. 3.2.1 не показаны).

Самолеты уровня сложности **{Lev-2}** с поршневыми двигателями типа Ли-2, Ил-12, Ил-14, Ан-2 и др. с их летно-техническими характеристиками и навигационным оборудованием эксплуатировались, а некоторые продолжают эксплуатироваться при наличии АТС класса **{Gen-2}** с грунтовых аэродромов, оборудованных только связанной радиостанцией и освещением полосы, а вне аэродрома по трассе, не имеющей радиомаяков.

Самолеты уровня сложности **{Lev-3}** с газотурбинными двигателями типа Ил-18, Ил-62, Ил-76, Ту-104, Ту-124, Ту-134, Ту-154, Ан-12, Ан-24, Ан-26, Як-40 и др. эксплуатировались и многие продолжают эксплуатироваться преимущественно на аэродромах с бетонным покрытием полосы, оборудованных связными радиостанциями, радиомаяками, светотехническими средствами. На многих таких аэродромах установлены курсо-гладная система, обзорный и посадочный радиолокаторы. Полет по трассам выполняется с использованием маяков и об-

зорных радиолокаторов. Такого вида АТС можно классифицировать как поколение **{Gen-3}**.

Самолеты уровня сложности **{Lev-4}** с газотурбинными двигателями со всепогодным навигационным оборудованием Ил-86 и Як-42, а также самолеты поколения **{Lev-5}** с электронной индикацией типа Ил-96, Ил-114, Ту-204 эксплуатируются только на аэродромах с бетонным покрытием, оборудованных системой автоматического захода на посадку и посадки. Такие АТС, отвечающие мировому уровню требований, можно классифицировать как поколение **{Gen-4}**.

Таким образом, при эксплуатации различных типов ВС применялись и применяются в настоящее время различные по сложности АТС четырех классов. Хотя такая классификация АТС является условной, она вытекает из требований выполнения народнохозяйственных задач и обеспечения безопасности полетов.

Целенаправленное поведение АТС формируется посредством управления. Так, система высшего уровня АТС располагает соответствующими средствами сбора информации о деятельности всех ее элементов, о внешней среде и особых ситуациях и механизмами воздействия по предотвращению неблагоприятных событий, снижающих эффективность работы АТС, в том числе и безопасность полетов. Кроме того АТС способна оценивать эффективность своей деятельности.

Особенно важным представляется роль организационной структуры в формировании эффективно-го поведения в сложных ситуациях, в развитии и совершенствовании системы в целом. Следует учитывать при этом специфику АТС. Познание общих законов их организации и развития, как любой сложной системы, предполагает тщательный анализ внутреннего устройства системы (морфологическое описание), анализа деятельности, взаимодействия со средой и элементов системы между собой (функциональное описание), анализа степени неопределенности состояния и его изменения (информационное описание) [3]. Социальные и экономические факторы оказывают решающее влияние на устойчивость АТС.

Важным условием эффективной работы АТС, как любой сложной БТС, является отлаженная подсистема контроля за деятельностью всех ее элементов. При этом для самооценки необходимо иметь как можно больше информации о состоянии и деятельности системы. Чем больше информации о работе АТС фиксируется, тем сильнее и эффективнее обратная связь между ее элементами и разработчиком авиационной техники (воздушного судна и наземных средств), тем сильнее выражено самосовершенствование, самообучение, другие качества, обеспечивающие успешное функционирование систем высшего порядка.

Подход к оценке особых ситуаций и использование нескольких

уровней обобщения данных при их классификации очень индивидуален для каждого из элементов АТС. Применение новых технических систем высокого уровня развития и сложных в управлении требует всестороннего анализа функций, возможностей и последствий нарушения работоспособности. Как показал опыт работы АТС, еще необходима отработка процесса генерирования информации для усиления механизмов борьбы по предотвращению событий, приводящих к нарушению безопасности полетов. Должна быть повышена эффективность применения объективных средств сбора и анализа данных о деятельности элементов АТС.

Поскольку АТС есть явно выраженная ЧМС, то важным моментом при ее формировании является установление четкого взаимоотношения специалистов различных служб. Метод конструирования человеческого поведения во многом основан на анализе опыта создания систем с повышенной опасностью. Повышение удельного веса и тяжести последствий нарушения функционирования системы требуют повышенной ответственности специалистов всех уровней. Нарушению взаимопонимания способствуют:

- слабый учет эргономических и психофизиологических факторов;
- недостаточная структуризация информации;
- недостаток априорных знаний;
- наличие помех (естественных, случайных или умышленных),

– различие в критериях оценки неблагоприятных факторов и др.

Установление единого подхода оценки ситуаций, устранение помех в работе элементов АТС, увеличение объема информационного потока являются одной из задач совершенствования работы АТС. Информационный поток должен быть упорядочен и непротиворечив. Поэтому все отклонения в работе АТС выявляются, оцениваются по степени опасности, фиксируются и принимаются меры по исключению повторения, если их сочетание может привести к авиационному происшествию.

Вместе с тем, опыт показывает, что в современных АТС требуется дальнейшее повышение контактности людей и продуктивности информационного обмена, совершенствование критериев оценки деятельности и структуризации информационного потока. Оценка эффективности требует критериев, поэтому для каждого элемента АТС созданы критерии их нормального функционирования, по которым проводится постоянный контроль работы этих элементов.

При этом особое место занимает повышение полноты, точности и достоверности отображения состояния элементов АТС и внешней среды. Постоянный контроль за работой элементов позволяет оценить их эффективность и выработать целенаправленные действия, улучшить эксплуатацию и выработать рекомендации для проектировщиков. Повышение объема анализируемой

информации о работе АТС позволяет более активно воздействовать на причины, вызывающие отклонения от нормального функционирования и усиливать ее стабильность и целенаправленность. Формирование законов управления также требует анализа информации о функционировании системы.

Постоянный рост потребностей авиационных перевозок и увеличение в целом круга задач различного вида авиационных работ требовали расширения условий применения авиации. Эти потребности приводили к увеличению размеров и массы ВС, усложнению их систем, оснащению аэродромов и трасс полета более совершенным оборудованием, повышению прочности покрытия аэродромов, развитию служб обеспечения, подготовки и выполнения полетов.

Усложнение бортовых систем и ЛА в целом привело к значительному возрастанию роли заводских и летно-конструкторских испытаний, к усложнению их технологии. В процессе проектирования выявляются все потенциально возможные виды отказов бортовых систем ЛА и предварительно оценивается степень их опасности. Затем в стендовых испытаниях или на моделирующих комплексах производится уточнение характера развития отказов ФБС. Серьезное внимание стало уделяться сигнализации экипажу об отказах и возможности в располагаемое время локализовать развитие отказа, предотвращая опасные

последствия. В ЛКИ проводится имитация всех отказов ФБС, которые могут привести к возникновению в полете сложных ситуаций, и даже некоторых аварийных. Отрабатываются средства и методы безопасного завершения полета.

Сложность ЛКИ также обусловлена необходимостью проверки качества выполнения всех функций современных бортовых систем и ЛА в целом. Такой подход в полной мере использовался при отработке самолетов Як-42, Ил-86, Ил-96-300, Ту-204, Ил-114 и др..

ЛИТЕРАТУРА

1. **Авиация:** Энциклопедия / Гл.ред. Г.П. Свищев. -М., Большая Российская энциклопедия, ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, 1994.
2. **Годовой доклад** Совета ИКАО. 9581, 1960-1995.
3. **Дружинин В.В., Конторов Д.С.** Проблемы системологии. Проблемы теории сложных систем. М, Советское радио, 1976.
4. **Информационный бюллетень:** Airclaims. Июнь, 1996.
5. **Народное хозяйство СССР.**//Статистические ежегодники//Госкомстат СССР. -М., Финансы и статистика, 1955-1991.
6. **Проектирование гражданских самолетов:** теория и методы. Под ред. Г.В. Новожилова. М., Машиностроение, 1991.
7. **Руководство по летной эксплуатации самолета Ил-86.**
8. **Статистика гражданской авиации мира.** ИКАО. Доклад 9180, 1960-1995.

3.3. РАКЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

3.3.1. Уровни сложности ракет и систем

Ракетные системы (РС), имеющие в качестве базового элемента управляемые ракеты, в своем развитии прошли несколько этапов, что позволяет характеризовать их соответствующими уровнями сложности.

Проводимые в развитых странах (Германия, СССР, США, Англия и др.) в 1940-1950 гг. фундаментальные и прикладные исследования в области динамики полета, ракетного двигателестроения, радиолокационной техники, ракетных топлив, материаловедения позволили создать ряд образцов управляемых ракет и боевые комплексы для их эксплуатации.

Это поколение можно обозначить уровнем **{Lev-1}**, сюда прежде всего относятся ракеты V-1 и V-2, созданные в Германии (1942-1944) и применявшиеся во время Второй мировой войны. К этому уровню следует также отнести разработанные в СССР в 1945-55 гг. баллистические ракеты (БР) типа Р-1, Р-2, Р-5, Р-11, Р-14, а также в США БР «Атлас», «Титан-II», «Онест-Джон», «Литл-Джон» и крылатые ракеты «Матадор», «Мейс», «Снарк» «Хаунд-Дог» и др.

Построенные на базе ракет уровня **{Lev-1}** ракетные комплексы (РК) явились первым поколением **{Gen-1}** новых систем оружия. Но они имели ряд недостатков, среди которых в качестве основных сле-

дует отметить невысокую точность стрельбы ракет и плохую помехозащищенность РК. Радиолокационные системы с более высокой точностью имели слабую помехозащищенность, а инерциальные системы управления имели большие ошибки наведения при больших дальностях полета. Низкая точность требовала мощных ядерных боевых частей (ЯБЧ), которых в те годы еще не было. Кроме того, для функционирования бортового оборудования в течение длительного времени полета необходимы источники питания большой мощности, что вело к значительному увеличению массы бортовой системы электропитания. Полеты этих ракет на средних высотах, необходимых для достижения больших дальностей, и имевшиеся в этот период высокие показатели заметности, делали их легко уязвимыми для ПВО противника.

В начале 60-х годов основной приоритет в разработке РС был дан комплексам на базе БР различного вида базирования и старта. Упор был сделан на достижение максимальной дальности путем применения многоступенчатых конструктивно-компоновочных схем, мощных ДУ и увеличение удельных импульсов ракетных топлив. Развитие радиоэлектроники позволило существенно уменьшить массо-габаритные характеристики бортовых систем и увеличить точность наведения. К ракетам этого уровня сложности {Lev-2} можно отнести стратегические ра-

кеты: Р-7, Р-16, Р-9, УР-100 (СССР) и «Минитмен-1», «Пола-рис» (США), а также тактические БР: ЗР-9, ЗР-10, Р-65, Р-70 (СССР) и «Першинг», «Сержант» (США) и др. Заметное развитие получила наземная часть построенных на их базе ракетных систем, которые по сложности перешли на новый уровень поколения {Gen-2} [3-11]. Возрождение интереса к крылатым ракетам (КР) различных типов в начале 70-х годов обусловлено рядом технических достижений, многие из которых являются результатом развития комплексов на базе БР. Основными из них являются:

- бортовые системы наведения на базе микроэлектроники;
- применение коррекции траектории;
- малогабаритные ЯБЧ большой мощности;
- высокоэффективные ВРД (ТРД, ПВРД);
- системы наведения на конечном участке;
- управление полетом «по рельефу местности»;
- бортовые ЭВМ и т.п.

В 1970-1980 гг было создано в разных странах большое семейство ракет различных типов с применением этих достижений. К уровню сложности {Lev-3} относятся: Х-23, Х-25, Х-28, «Москит» (СССР); «Экзосет» (Франция), «Гарпун» (США) и др. [4-8].

В 80-х годах нашла широкое применение системная методология проектирования, начали использоваться САПР, методы мате-

матического моделирования. Окончательно закрепился переход от комплексов к системам. Это определило дальнейший прогресс в развитии РС. Значительные успехи были достигнуты в элементной базе: радиоэлектроника, радиолокация, малогабаритные ВРД одноразового применения (турбореактивные двухконтурные и прямоточные), композиционные материалы, головные части индивидуального самонаведения и др. Разработанные на базе этих достижений научно-технического прогресса новые наукоемкие КТР позволили резко повысить эффективность РС различного типа. К этому уровню {Lev-4} можно отнести ракеты: X-15, X-55 (СССР); «Томагавк» (США) и др.

Новое поколение РС {Gen-4} характеризуют следующие особенности:

- высокая скорость полета и повышение допустимых перегрузок повысили пробивную силу;

- массивность и применение бортовых систем радиоэлектронного противодействия повысили боевую эффективность;

- скрытность действия за счет малой заметности в различных диапазонах спектра волн увеличили возможности преодоления ПРО;

- возможность изменения полетного задания на траектории и гибкого реагирования на складывающуюся оперативную обстановку улучшили адаптивность систем;

- высокая точность наведения за счет использования спутнико-

вых систем навигации и современных электронных устройств на борту снизили требования к мощности ЯБЧ и допустили применение обычных зарядов;

- универсальность по типам поражаемых целей (стратегические и тактические, морские и наземные) расширили стратегические возможности систем оружия;

- унифицируемость (межвидовая и внутривидовая) по типам носителей и способам пуска обеспечили высокие эксплуатационные качества и др.

3.3.2. Структура и основные характеристики ракетных систем и комплексов

Под **системой оружия** понимается совокупность разнородных в функциональном и конструктивном отношении устройств и сооружений, разнесенных в пространстве и во времени, выполняющих одну общую боевую задачу и объединенных централизованным способом управления ими [1-9]. Современные системы оружия относятся к разряду **больших технических систем (БТС)**, поскольку им свойственны такие основные признаки сложных систем, как целостность, многомерность и многообразие элементов, многосвязность, многократность изменения состояния и структуры, многокритериальность, и они требуют для своего создания и функционирования огромных экономических затрат.

Комплекс оружия — это совокупность разнородных в функциональном и конструктивном отношении устройств и сооружений, необходимых и достаточных для автономного решения определенной боевой задачи, например, обнаружение, обстрел и т.д.

В составе любой системы и любого комплекса оружия можно выделить, как правило, три звена (подсистемы): основное, обеспечивающее, вспомогательное. Основным является боевое звено — совокупность средств и устройств обеспечивающих непосредственное поражение заданных целей. В обеспечивающее звено входят информационная подсистема, включающая в себя службу разведки, обнаружения, сбора, автоматической обработки информации о противнике, и управляющая подсистема, включающая в себя командные пункты автоматического планирования боевого применения и управления, службу целераспределения, связи, наблюдения и наведения. Обеспечивающее звено может осуществлять свои функции в интересах и других систем. Вспомогательное звено — это военноморские и авиационные базы, технические позиции, аэродромы, технологическое оборудование для материально-технического снабжения, обслуживания и т. п.

Каждое из этих звеньев, в свою очередь, в соответствии с принципом иерархичности, можно отнести к разряду сложных технических систем, так как оно состоит из

совокупности множества взаимосвязанных элементов и выполняет в известных пределах самостоятельный комплекс задач.

В некоторых комплексах функции отдельных звеньев могут быть совмещены и в явном виде отсутствовать. Например, в носимых ЗРК роль управляющего и информационного звеньев выполняет человек-оператор.

Основными характеристиками комплексов и систем являются показатели боевой эффективности и надежности, стоимость [3].

Боевая эффективность определяется, с одной стороны, тактико-техническими и боевыми свойствами комплекса, с другой — условиями боевого применения. К основным тактико-техническим и боевым свойствам можно отнести летно-технические характеристики (диапазон дальностей и высот полета ракеты, скорость полета, время перехвата цели и т.п.); зоны обнаружения, пуска и поражения цели; точность стрельбы и закон поражения цели боевой частью; производительность (скорострельность, боекомплект, время перезарядки и т.п.), мобильность и др. К условиям боевого применения ракетных комплексов и систем прежде всего относятся стратегия и тактика их использования во взаимодействии с другими видами вооружения, характеристики цели (координаты о местоположении, размеры, заметность, структура, уязвимость, защищенность и др.), уровень противодействия противника, климатические и метеорологические условия, в

которых протекают боевые действия. Многие из этих условий характеризуются различной степенью неопределенности информации. Особенно это относится к действиям противника. Именно поэтому возникают проблемы с моделированием рассматриваемых БТС.

Надежность оружия – это вероятность того, что комплекс и все его звенья сохраняют свои боевые свойства в любых условиях эксплуатации в течение заданного времени. Она характеризуется следующими основными свойствами: безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью, коэффициентами боевой готовности и боевой работы, функциональной устойчивостью (живучестью, помехозащищенностью, скрытностью), т.е. способностью комплекса функционировать при воздействии противника.

Стоимость оружия, в существенной мере зависящая от производственно-технологических возможностей, является важнейшей характеристикой, во многом определяющей целесообразность и объем его применения. Она характеризуется затратами на разработку, куда входят расходы на проведение научно-исследовательских работ, проектирование, изготовление опытных образцов и их испытания; затратами на изготовление всех элементов; затратами на эксплуатацию оружия до снятия с вооружения. Величина стоимости оружия в существенной мере определяется применяемыми в производстве технологиями.

3.3.3. Основные типы ракетных систем и их особенности

Боевые системы принято классифицировать по назначению и виду основного (исполнительного) звена, которым является базовый элемент. По этому признаку они могут быть следующих типов [5, 9]:

1. Ракетные системы на базе баллистических ракет (БР).
2. Системы обороны.
3. Авиационно-ракетные системы (АРС).
4. Морские ракетные системы (МРС).
5. Противотанковые ракетные системы.
6. Комплексы дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов (ДПЛА).

Ракетные системы на базе баллистических ракет предназначены для поражения стратегических и оперативно-тактических неподвижных и малоподвижных целей противника. Их базовым элементом являются баллистические ракеты. Основные характеристики некоторых зарубежных и отечественных БР с указанием уровней сложности (*Lev*) приведены в табл.3.3.1 [5, 6]. В зависимости от типа БР различают стратегические, оперативно-тактические и тактические ракетные системы. Иерархическая структура типовой ракетной системы представлена на рис.3.3.1. В состав данной сложной системы входят:

- а) ракетные базы, каждая из которых включает несколько ста-

Таблица 3.3.1

Основные лётно-технические характеристики баллистических ракет

Лев	Обозначение, страна	Год	Дл, км	м, т	N _{стр.} шт	Тип ДУ	ГЧ		Тип СУ*	С, км	Размеры		Тип ПВ
							м, шт	мт, (кг)			л, м	дф, м	
1. Оперативно-тактические БР													
2	Першинг-1, США	1962	740	4,8	2	РДТТ	1	0,4		0,5	10,5	1	СХ
3	SS-21 (Точка-У), СССР	1979	120	2,0	1	РДТТ	1	(480)	РГСН	0,05	6,4	0,7	СХ
3	Лале, США	1972	130	1,2	1	ЖРД	1	0,055		0,1	6,1	0,56	СХ
4	SS-22 (Темп-С), СССР	1979	900	9,4	2	РДТТ	1	(1250)		0,3	12,4	1,0	СХ
4	SS-23 (Ока), СССР	1980	400	4,7	1	РДТТ	1	(450)	РГСН	0,03	7,5	0,97	СХ
2. Баллистические ракеты средней дальности													
3	Першинг-2, США	1966	2500	7,2	2	РДТТ	1	0,05	РГСН	0,9	13,4	1,37	СХ
3	SS-N-17 (РСМ-45), СССР	1980	3900	26,9	2	РДТТ	1	0,5		1,4	10,6	1,54	ПВ
4	Посейдон С-3, США	1971	4640	27,0	2	РДТТ	10	0,05		0,47	10,4	1,85	ПВ
3. Межконтинентальные БР большой дальности													
4	Минитмен-3, США	1971	12870	35,4	3	РДТТ	3	0,5		0,32	18,2	1,67	ШХТ
4	MX, США	1989	11000	85,0	3	РДТТ	10	0,6		0,2	23	2,5	ШХТ АВ
4	SS-24 (РС- 22), СССР	1987	10000	104,5	3	РДТТ	10	0,5		0,2	23,6	2,4	ШХТ СХ
4	SS-25 (РС- 12М) СССР	1985	10500	45,1	3	РДТТ	1	0,55		0,4	21,5	1,8	ШХТ СХТ
4	Трайдент-2, США	1989	11000	57,5	3	РДТТ	14	0,15	АК	0,122	18	1,85	ПВ
4	SS-N-20, СССР	1983	8300	90,0	3	РДТТ	10	0,1	АК	0,5	16,0	2,4	ПВ

Обозначения: *) На всех БР в качестве основной применяется инерциальная система (ИНС).

Дополнительно установлены:

АК — астрокоррекция;

РГСН — радиолокационная головка самонаведения.

СХ — самоходная;

ШХТ — шахтная;

ПВ — подводная;

АВ — авиационная;

МТ — мегатонна.

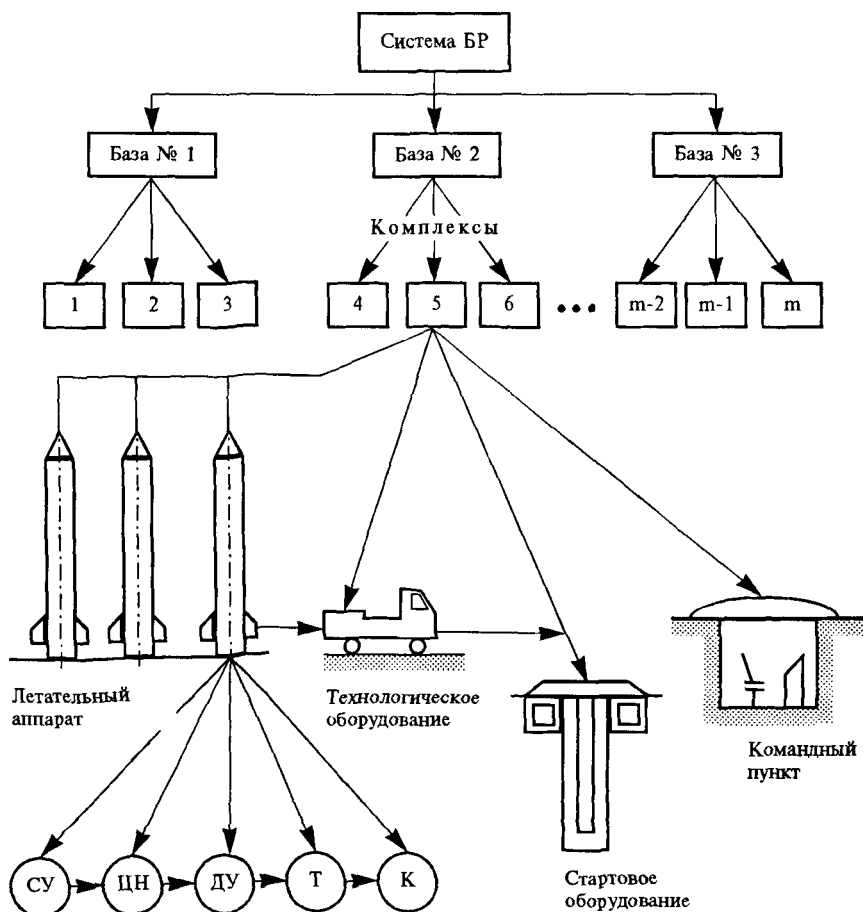


Рис. 3.3.1. Иерархическая структура ракетной системы на базе баллистических ракет

ционарных или подвижных стартовых ракетных комплексов;
 б) средства материально-технического обеспечения;
 в) подъездные пути;
 г) инфраструктура для энергоснабжения, управления и охраны и т.п.

В табл.3.3.1 и на рис.3.3.1 (и далее) приняты следующие сокращения и обозначения:

$D_{\text{п}}$ — максимальная дальность полета;
 m_0 — стартовая масса;
 $N_{\text{ст}}$ — число ступеней;

$n_{ГЧ}$ — число головных частей;
 $m_{ГЧ}$ — масса, мощность головной части (тротильный эквивалент);

l_{Φ} и d_{Φ} — длина и диаметр корпуса;

σ — ошибка при стрельбе;

ДУ — двигательная установка;

СУ — система управления;

ПУ — пусковая установка;

ЦН — целевая нагрузка;

Т — топливо;

К — конструкция.

Приводимые во всех таблицах данные носят иллюстративный характер, не содержат исчерпывающего перечня ракет.

Ракетный комплекс (РК) включает в себя несколько стартовых позиций с пусковыми установками (ПУ), сами БР, подвижное технологическое оборудование, центр

управления пуском и другие вспомогательные сооружения.

Системы обороны предназначены для [8]:

— сбора, обработки и отображения информации о воздушно-космической обстановке над территорией страны и на дальних подступах к ней, о состоянии и боевой готовности имеющихся средств перехвата;

— выработки оптимальных вариантов перехвата воздушно-космических целей;

— перехвата и поражения целей.

В зависимости от типа и характеристик целей различают системы противовоздушной обороны (ПВО), противоракетной обороны (ПРО) и противокосмической обороны (ПКО), оснащенные ракетами раз-

Основные лето-технические характеристики ракет ПРО и ПКО

Таблица 3.3.2

Лев	Обозначение, страна	Год	Д, км	м, т	N _{ст.} , шт.	Тип ДУ	БЧ, МТ, (кг)	Тип СУ	Размеры		Тип ПУ
									l _ф , м	d _ф , м	
1. Антиракеты											
2	Спартак, США	1963	640	15	3	РДТТ	1,0	РК	16,6	1,1	ШХТ
2	Спринт, США	1963	60	3,4	2	РДТТ	0,01	РК	8,2	1,37	ШХТ
3	SRHT, США	1986	15	0,24	1	РДТТ	(13,6)	ЛГСН	3,66	0,24	ШХТ
4	SH-11, СССР	1987	350	33	3	ЖРД	1,0	РК	19,8	2,57	ШХТ
4	SH-08, СССР	1987	80	10		РДТТ	0,01	РК	10	1,0	ШХТ
2. Ракеты противокосмической обороны											
3	SL-11, СССР	1971	5000	190	4	ЖРД		ИНС+ТГСН	36,6	3,2	ШХТ
4	ASAT, США	1987	1500	1,2	2	РДТТ	(15)	ТГСН	5,4	0,5	АВ

Обозначения:

ЛГСН — лазерная головка самонаведения;

РК — радиокомандная;

ИНС — инерциальная система наведения;

ТГСН — тепловая головка самонаведения;

РГСН — радиолокационная головка самонаведения;

ОБЧ — осколочная боевая часть;

ШХТ — шахтная;

АВ — авиационная.

личных типов (см. табл. 3.3.2-табл. 3.3.4), где принято: БЧ — боевая часть, МТ — мегатонна; $H_{\text{пор}}$ — высота поражения; V — скорость полета; $m_{\text{БЧ}}$ — масса боевой части; ВС — Вооруженные Силы; $l_{\text{кр}}$ — размах крыла.

Система обороны может быть организована как по территориальному признаку, когда осуществляется оборона отдельных важ-

ных районов страны или всей территории в целом, так и по объектовому, когда ставится задача обороны отдельных важных объектов (например, группировка сухопутных войск, аэродром, город, корабль и т.п.). Как правило, системы ПВО строятся по комбинированному принципу: территориально-объектовому. Такая система имеет иерархическую структуру

Таблица 3.3.3

Основные летно-технические характеристики зенитных управляемых ракет

Лев	Обозначение, страна	Год	Д _н , км	H _{пор} , км	V, в числ. М	Тип ДУ	Тип СВ	щ _д , кг	щ _ч , кг	Размеры		Вид ВС
										l, м	d, м	
2	С-75М, СССР	1968	43	0,25-25	3,5	РДТТ+ЖРД	РК	2450	195	10,8	0,5	СВ
2	Хоук	1958	2-35	0,03-15	2,5	РДТТ	ПАРГСН	590	50	5,03	0,36	СВ
3	Стандарт, США	1967	70	0,015-20	2,5	РДТТ	РК+ПАРГСН	1360		8,23		ВМФ
3	Тор, СССР	1988	1,5-12	0,01-6	2,5	РДТТ	ИКСН	165	15	3,5	0,35	СВ
3	Оса, СССР	1973	1,6-10	0,02-10	2,0	РДТТ	РК	130	19	3,1	0,21	СВ ВМФ
3	Кроталь, Франция	1969	0,5-8,5	0,5-3,5	2,3	РДТТ	РК	80	15	2,9	0,16	СВ ВМФ
3	Спидарроу-3	1968	1-15	0,004-3	3,5	РДТТ	ПАРГСН	200	30	3,7	0,2	ВМФ
4	С-200Д, СССР	1975	300	0,3-35	4	РДТТ+РДТТ	РК+ПАРГСН	2800		10,8	0,86	ПВО
4	С-300ПМУ, СССР	1986	90	0,025-30	5	РДТТ	РК+ПАРГСН	1480	100	7	0,51	СВ
4	Патриот, США	1979	80	0,05-25	5	РДТТ	РК	1000	75	5,2	0,41	СВ
4	Стрела-3, СССР		0,3-6	0,01-2,5	1,8	РДТТ	ИКСН	9,9		1,4	0,07	СВ ВМФ
4	Спидгер, США	1968	0,5-3,5	до 1,5	1,8	РДТТ	ИКСН	10	0,7	1,5	0,07	СВ ВМФ
4	Игла, СССР		0,5-5,2	0,01-3,5	1,8	РДТТ	ИКСН	12,5	1,18	1,55	0,07	СВ ВМФ

Обозначения:

РК — радиоканальная;

ПАРГСН — полувыводная радиолокационная головка самонаведения;

ИКСН — инфракрасная головка самонаведения;

СВ — сухопутные войска;

ВС — вооруженные силы;

ВМФ — военно-морской флот.



Рис. 3.3.2. Организационная декомпозиция системы обороны

(рис.3.3.2), т.е. включают в себя ряд подсистем различных уровней, находящихся в общей функциональной взаимосвязи.

В состав боевого звена системы могут входить зенитные ракетные

комплексы (ЗРК), авиационно-ракетные комплексы перехвата (АРКП) – истребительная авиация, комплексы ПРО, зенитные артиллерийские комплексы (ЗАК). Комплексом управления – управ-

Основные летно-технические характеристики ракет "ВОЗДУХ-ВОЗДУХ"

Таблица 3.3.4

Lev	Обозначение, страна	Год	Д, км	V, в числ. М	м, кг	мгч, кг	Тип СУ	Размеры		
								l _ф , м	d _ф , м	l _{ср} , м
2	Р-13Р, СССР	1972	16	2,5	85	11	ПАРГСН	3,4	0,127	0,51
2	Спарроу, США	1965	40	4,0	230	39	ПАРГСН	3,66	0,2	1,0
2	Сайдвиндер, США	1955	18	2,5	84	11	ИВГСН	2,9	0,13	0,64
3	Феникс, США	1974	120	5	443	60	РК+АРГСН	3,96	0,38	0,91
3	Р-33, СССР	1981	160	4,5	490	47	РК+ПАРГСН	4,15	0,38	0,9
4	Р-73, СССР	1982	30		105	.8	ИВГСН	2,9	0,17	0,51
4	AMRAAM	1988	70	4	148	22	РК+ИНС+АРГСН	3,65	0,18	0,63

Обозначения:

АРГСН — активная радиолокационная головка самонаведения;

ПАРГСН — полуактивная радиолокационная головка самонаведения.

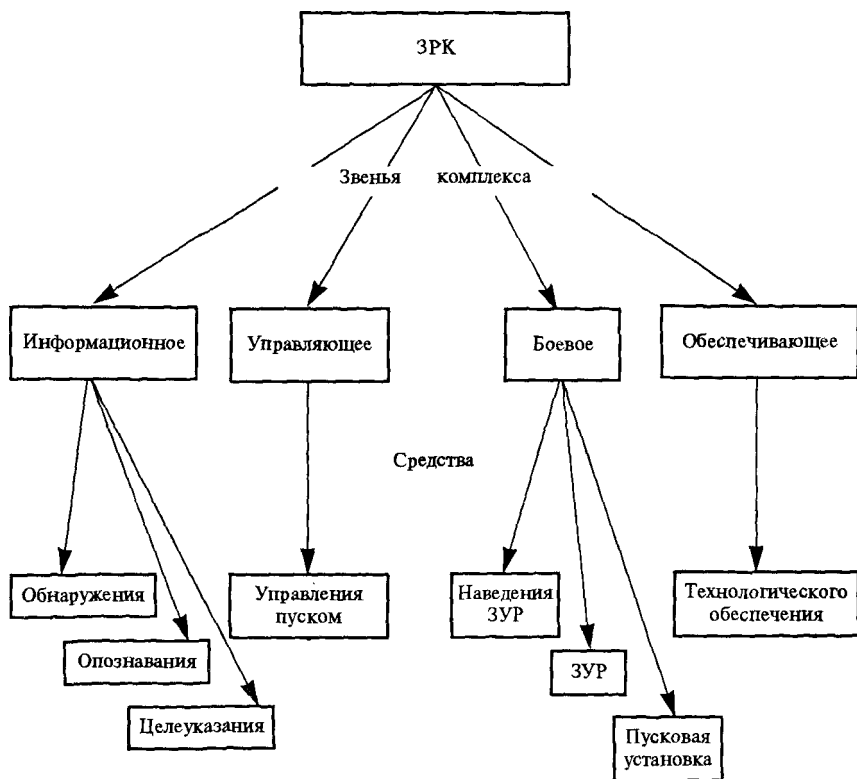


Рис. 3.3.3. Иерархическая структура зенитного ракетного комплекса

ляющим звеном системы является единый объединенный оперативно-командный центр, который обеспечивает координацию всех независимо действующих систем ПВО, ПРО, ПКО. Управление характеризуется высокой степенью автоматизации.

Основными источниками информации, т.е. информационным звеном систем обороны, являются автоматизированные комплексы

радиотехнических станций дальнего обнаружения. Система дальнего обнаружения работает круглосуточно. Вся информация о воздушно-космической обстановке передается на оперативно-командный центр, где автоматически обрабатывается и отображается в виде, необходимом для принятия соответствующих решений. Все обнаруженные воздушно-космические объекты немедленно опознаются.

В случае фиксирования нападения противника, командный пункт оперативного центра дает необходимые инструкции оперативным центрам боевого управления систем ПРО, ПВО, ПКО; те — своим подчиненным центрам управления районов, далее информация передается в оперативные центры секторов. Штаб и боевой расчет командного пункта сектора, получив соответствующие распоряжения, управляют боевыми действиями ПВО в своем секторе. Конечный этап управления сводится к уточнению информации своими средствами, перехвату и поражению цели противника боевым звеном.

Типовая структурная схема ЗРК представлена на рис.3.3.3, где дан перечень основных средств. Базовое звено ЗРК — это зенитная управляемая ракета (ЗУР), предназначенная для непосредственного поражения воздушной цели. Средства обнаружения, как правило, — это радиолокационные станции (РЛС) обнаружения кругового обзора. В некоторых комплексах может применяться визуальное обнаружение с использованием оптических устройств. Средства опознавания (распознавания) целей служат для выделения своих ЛА и селекции среди чужих ЛА тех целей, которые подлежат обстрелу, из числа обнаруженных. Опознавание целей, т.е. их государственная принадлежность, производится с помощью специальной аппаратуры, работающей по принципу «свой-чужой». Средства

целеуказания служат для приема информации о воздушной обстановке, обработки и анализа этой информации для определения последовательности обстрела обнаруженных целей и передачи необходимых данных о них на другие боевые средства ЗРК.

Управляющее звено ЗРК включает в себя средства управления ЗУР, которые осуществляют своевременный пуск ракеты в необходимом направлении и наведение ее на цель с требуемой точностью. Средства управления пуском ЗУР служат для выработки команд управления пусковой установкой комплекса и для управления ею. Средства наведения ЗУР служат для непрерывного определения взаимного положения летящих к цели ЗУР и самой цели, выработки и подачи команд наведения с требуемой точностью. Вспомогательное звено ЗРК включает в себя технические средства: транспортное, подъемно-погрузочное, контрольно-проверочное, сборочное и ремонтное оборудование, а также различные укрытия и хранилища.

Структуры АРКП (истребительной авиации) с ракетами класса «воздух-воздух», артиллерийским вооружением и средствами радиоэлектронной борьбы (РЭБ), а также ЗАК, комплексов ПРО имеют аналогичные звенья и подсистемы, что и ЗРК.

Авиационно-ракетные системы, использующие в качестве носителя ракет авиационные средства, предназначены для поражения назем-

ных и морских кораблей, подводных лодок, как точечных, так и площадных целей противника. Различают тактические и стратегические АРС. Первые применяют, в основном, во фронтовой полосе боевых действий в тесном взаимодействии с другими боевыми средствами. В качестве носителей ракетного оружия используются истребители и фронтовые бомбардировщики. Цели противника – это сосредоточение живой силы и техники, фронтовые аэродромы, мосты, средства войсковой ПВО (ЗРК, РЛС), корабли, подводные лодки и другие отдельные объекты [4].

Стратегические АРС предназначены для поражения наземных и морских стратегических целей, таких, как административно-промышленные центры, атомные электростанции и различные энергетические центры, крупные железнодорожные узлы, ракетные, авиационные и морские базы, крупные радиолокационные посты, авианосцы, авианосно-ударные группы и соединения и др. Следует отметить, что в настоящее время морской флот, особенно авианосные многоцелевые соединения, представляют собой весьма грозную силу. Поэтому АРС для борьбы с флотом развиваются высокими темпами.

Структурная схема АРС аналогична с построением систем БР, ПВО. В состав АРС входят авиационные базы, каждая из которых включает в себя материально-техническое обеспечение и аэродромы со всем его хозяйством, самолете-

ты-носители, службу радиотехнического обнаружения и разведки, командный пункт целераспределения и управления.

АРС включает в качестве базового элемента самолет-носитель со средствами (табл.3.3.4) индивидуальной обороны (ракеты класса «воздух-воздух», средства РЭБ и т.п.), бортовые средства обнаружения, прицеливания и наведения, средства поражения (ракеты класса «воздух-поверхность», управляемые и неуправляемые бомбы, торпеды и т.п.). Основными фазами типовой операции по поражению цели являются: взлет, полет до района цели, выход на цель, пуск ракет, возвращение и посадка.

Первичная разведывательная информация о цели на пункт приема может поступать от авиационных, космических, морских средств обнаружения, ДПЛА и др. Затем информация обрабатывается и отображается. И после принятия решения о нанесении удара командные инструкции передаются по наземным каналам на командный пункт авиационного соединения, а затем на командный пункт полка. Используя исходную информацию, которая уточняется на маршруте полета по дополнительным данным доразведки, самолеты выводятся в район обнаружения и селекции цели бортовыми средствами носителя. Оператор уточняет точку старта и производит пуск крылатых ракет (табл.3.3.5, где H_m – высота маршевого полета). При большой

Таблица 3.3.5

Основные летно-технические характеристики крылатых ракет класса
"ВОЗДУХ-ПОВЕРХНОСТЬ" и "ПОВЕРХНОСТЬ-ПОВЕРХНОСТЬ"

Лев	Обозначение, страна	Класс, год	Д, км	V, в числ. М	H, км	m, кг	мвч, кг	Тип ДУ	Тип СУ	Размеры		
										l _ф , м	d _ф , м	l _{кр} , м
1. Крылатые ракеты большой дальности												
4	Томагавк, США	В-П, 1983	2500	0,75	0,03	1270	123 ЯБЧ	ТРДД	ИНС + TERC OM	6,4	0,53	2,7
		П-П, 1983	2500	0,75	0,03	1441	123 ЯБЧ	РДГТ+ ТРДД	ИНС + TERC OM	6,4	0,53	2,7
4	Х-55, СССР	В-П, 1987	3000	0,75	0,03	1250	ЯБЧ	ТРДД	ИНС + TERC OM	6,0	0,51	3,1
2. Оперативно-тактические крылатые ракеты												
2	Х-22, СССР	В-К, 1964	400	3	27	5900	1000	ЖРД	ИНС +АРГ СН	11,3	0,9	3
3	Москваг, СССР	В-К, 1988	250	3	12	4500	320	КНВРД	АРГС Н	9,7	0,76	2,1
3	Гаргум, США	К-К, 1977	112	0,75	0,03	667	230	РДГТ+ ТРДД	ИНС +АРГ СН	4,6	0,34	0,91
4	Х-15, СССР	В-К, 1988	150	5	22	1200	150	РДГТ	ИНС +АРГ СН	4,78	0,455	0,92
4	Томагавк, США	К-К, 1983	450	0,75	0,03	1441	454	РДГТ+ ТРДД	ИНС +АРГ СН	6,4	0,53	2,7
4	Х-55, СССР	В-З, 1987	500	0,75	0,03	1250	410	ТРДД	ИНС + TERC OM	6,0	0,51	3,1
3. Тактические крылатые ракеты												
2	Х-66, СССР	В-З, 1966	8	1	10	286	108	РДГТ	РК	3,63	0,27	0,87
3	Экзоет SM- 39, Франция	К-К, 1984	50	0,9	0,01	660	165	РДГТ+ РДГТ	ИНС +АРГ СН	4,7	0,35	1,1
3	Х-25МТЛ, СССР	В-З, 1976	20	2,7	0,1	300	90	РДГТ	ИНСН	4,04	0,275	0,82
3	Пингвин Мк3, Норвегия	К-К, 1987	40	0,75	0,01	350	120	РДГТ+ РДГТ	ИНС +ИК ГСН	3,2	0,28	1,0

Обозначения:

TERCOM — система коррекции траектории полета по рельефу местности.

дальности действия ракет ($D > 500$ км) пуск может быть произведен и без обнаружения цели бортовыми средствами носителя, но с последующей коррекцией траектории полета и захвата цели бортовыми средствами ракеты.

Морские ракетные системы (MPC) являются основой военноморского флота [9, 10]. Их основная задача поражение кораблей, подводных лодок, береговых укреплений и других целей. Как составная часть флота, многоцелевые авианосцы и авианосные многоцелевые группы (АМГ) постоянно усиливают свои наступательные возможности. При этом большое внимание уделяется совершенствованию их ракетного ударного вооружения, средствам противозушной и противолодочной обороны. На авианосце размещены около 80÷90 самолетов: 40÷46 штурмовиков с крылатыми ракета-

ми, 23÷25 истребителей, 17÷20 самолетов различных назначений. Система противозушной обороны АМГ является наиболее мощной объектовой системой по сравнению с другими.

Структурная схема MPC также иерархическая (как у РСБР, ПВО, АРС) и включает три уровня: система, база, комплекс. База — это оперативное соединение средств поражения (подводных лодок с ракетами и торпедами, многоцелевых авианосцев, надводных кораблей с крылатыми ракетами, торпедами, ДПЛА и т.д.), средств управления (командный пункт), средств обнаружения и разведки, сбора информации морского, воздушного, космического базирования и средств тылового материально-технического обеспечения. В состав комплекса входит носитель (например, подводная лодка, надводный корабль), крылатые ракеты (табл.3.3.5) и тор-

Таблица 3.3.6

ОСНОВНЫЕ ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТИВОТАНКОВЫХ РАКЕТ

Лев	Обозначение, страна	Год	Дл, км	V, м/с	м, кг	В _{пр} , мм	Тип ДУ	Тип СУ	Размеры		
									l _к , м	d _к , м	l _{кр} , м
3	ХОТ, ФРГ	1976	4	280	20	600	РДТТ	КП	1,27	0,14	0,31
3	ТОУ, США	1975	3,75	300	21,5	600	РДТТ	КП	1,17	0,15	0,34
3	АВАТС, США, Швейцария	1985	8	M > 3	51	1000	РДТТ	КЛ	2,05	0,15	0,4
3	Штурм, СССР	1978	5	400	35	900	РДТТ	КР	2,2	0,183	0,45
4	Рефлек, СССР	1986	5	800	17,2	800	РДТТ	КЛ	1,6	0,15	0,35
4	Вихрь, СССР	1990	10	330	40	1000	РДТТ	КЛ	3,5	0,24	0,4

Обозначения:

- КП — командная по проводам
- КЛ — командная по лучу лазера
- КР — командная по радиолинии.

педы, собственные средства обнаружения, наведения и командный пункт управления.

Противотанковые ракетные системы, использующие противотанковые управляемые ракеты (ПТУР), предназначены для поражения танков и бронемашин. Проблема повышения бронепробиваемости ($b_{пр}$ — толщина пробиваемой брони), дальности стрельбы и точности попадания противотанковых средств была успешно решена в послевоенные годы путем создания управляемого противотанкового оружия. И в начале 50-х годов были созданы первые комплексы с ПТУР, которые в дальнейшем получили широкое рас-

пространение. ПТУР (табл.3.3.6) могут быть размещены: на самоходных установках (автомашины, танки, бронемшины и т.п.), на стационарных позициях (ПУ), на самолетах и вертолетах [11].

Противотанковые системы включают в себя разведывательные подразделения, пусковые установки (обычно самоходные), группу управления, боевые отделения комплексов ПТУР, т.е. в своем составе имеют те же четыре звена, что и другие системы оружия. Специальные противотанковые подразделения в виде истребительно-противотанковых батальонов являются составной частью сухопутных дивизий и бригад.

Таблица 3.3.7

ОСНОВНЫЕ ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДИСТАНЦИОННО-ПИЛОТИРУЕМЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Лев	Обозначение	Д, км (t, час)	V, км/ч	H, км	m _н , кг	m _п , кг	Размеры		Тип ДУ	Назначе- ние
							l _н , м	l _п , м		
2	УОМ 98А/235	(30)	700	21,0	320	6500	11,7	24,75	ТРД	Р
2	ВГМ-34F/234	1300	1015	18,3	250	1027	6,44	4,64	ТРД	ВМ
2	Спирит	3000	240	20,0	136	2040	12	26	ИД	МЦ
2	УОМ-10,5 Аквид	(3)	200	4,3	30	120	2,1	3,9	ИД	Р
3	Мастиф-3	100(6)	167	5,0	30	115	3,3	4,25	ИД	Р
3	Иноер-1	(5)	185	4,6	45	180	3,5	4,9	ИД	Р, ПП, РТР
3	Тухи	100(4,5)	100- 250	4,0	45	100	2,06	3,3	ИД	Р
3	Эксерге	(2)	110	3,0	27	71,7	2,4	2,4	ИД	Р, ЦУ, ИИ
3	Рейн	(2)	126	2,5	2,5	15	2,1	2,1	ИД	Р
3	Шмель-1	(2)	100- 180	3,0		130	2,78	3,25	ИД	Р

Обозначения:

ИД — ирригаторный двигатель;
ТРД — турбореактивный двигатель;
Р — разведчик;
ВМ — воздушная мишень;

МЦ — многоцелевой;
ПП — постановщик помех;
РТР — ретрансляция;
ЦУ — целеуказание.

Комплексы дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов являются составной частью авиационных, морских и сухопутных систем оружия, в том числе ракетных. Они занимают промежуточное положение между пилотируемой авиационной и беспилотной ракетной техникой. В качестве базового элемента применяются ДПЛА различных схем: самолетной, вертолетной, дирижабельной и др. [7].

Основной характерной чертой комплексов ДПЛА является создание для оператора, осуществляющего в реальном масштабе времени дистанционное управление ДПЛА с наземного, воздушного или морского командного пункта, достаточно точной в информационном смысле иллюзии его присутствия на борту ДПЛА при одновременном снятии с него реальных физических и психофизиологических нагрузок, которым подвергается экипаж любого реально пилотируемого ЛА. Создание такой информационной иллюзии обеспечивает применение, как

правило, двух каналов передачи информации с борта ДПЛА на КП: телеметрического о параметрах полета ДПЛА и широкополосного видеоизображения местности о маршруте полета или районе цели. Контур управления ДПЛА замыкается за счет линии связи между КП и ДПЛА, по которой передаются команды управления, вырабатываемые оператором на основе поступающей с борта ДПЛА информации.

Еще одним характерным отличием ДПЛА (табл.3.3.7) от ракет является возможность их многоразового применения. Кроме того, незначительные размеры, показатели заметности, массы и стоимость, более высокие возможности маневрирования из-за отсутствия экипажа обуславливают эффективность их применения в боевых операциях и повышенный интерес военных к комплексам ДПЛА. Комплексы ДПЛА могут быть применены и для решения народнохозяйственных задач: управление движением транспорта, обнаружение и тушение пожа-

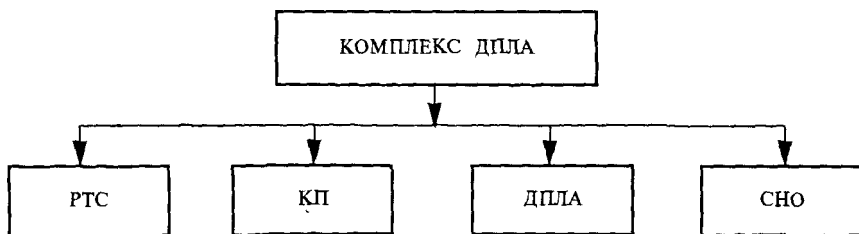


Рис. 3.3.4. Техническая декомпозиция комплекса ДПЛА.

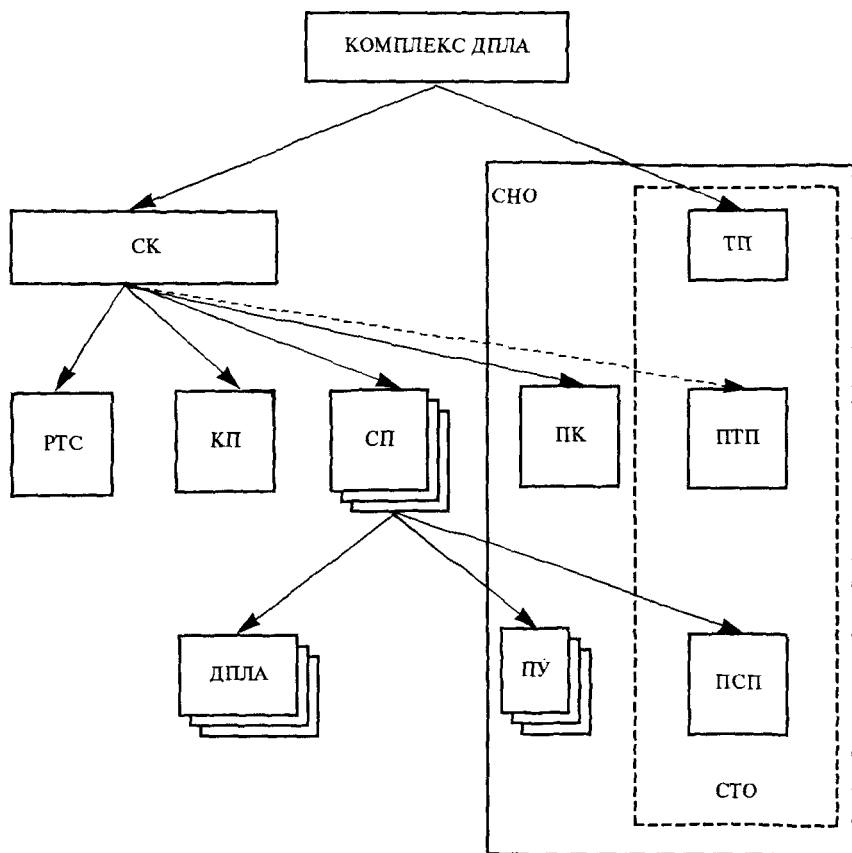


Рис. 3.3.5. Функционально-техническая структура стартового комплекса ДПЛА

ров, в поисковых операциях, проведение картографических работ, поиск косяков рыбы и полезных ископаемых, метеоразведка и инспектирование энергетических магистралей, связи и т.п.

Структурная схема комплекса ДПЛА представлена на рис.3.3.4. В его состав входят: радиотехническая система (РТС), командный

пункт (КП), боекомплект ДПЛА, средства наземного обеспечения и обслуживания (СНО). Элементы комплекса по функциональному назначению могут быть объединены в два взаимосвязанных подразделения: стартовый комплекс (СК) и техническая позиция (ТП).

Стартовый комплекс включает в себя оборудование и технические

– посадочный комплекс (ПК), который включает в себя площадки посадки (ПП) с определенным типом оборудования (в зависимости от типа посадки), транспортно-монтажное оборудование, обслуживающий персонал.

Структура технической позиции определяется комплексом работ, проводимых с ДПЛА при техническом обслуживании. На ТП в зависимости от назначения и эксплуатационного облика ДПЛА проводятся следующие работы:

- подготовка ДПЛА к применению (хранение, расконсервация, заправка, контроль, сборочно-снаряжательные операции, транспортно-погрузочные операции);
- анализ послеполетного состояния ЛА, в результате которого выявляется степень пригодности ЛА к повторному применению;
- подготовка ЛА к повторному применению;
- проведение регламентных работ для обеспечения необходимой боеготовности ЛА.

В состав структуры наземного обеспечения (СНО), как правило, входят (рис.3.3.5): техническая позиция (ТП) со всем оборудованием и часть сооружений, оборудование стартового комплекса (ПУ, ПК, ПТП, ПСП). Функционально СНО можно разделить на систему обеспечения и систему технического обслуживания (СТО).

ЛИТЕРАТУРА

1. Анурьев И.И. Оружие противоракетной и противокосмической обороны. – М., Воениздат, 1971. 303.

2. Афонин П.М., Голубев И.С. и др. Беспилотные летательные аппараты. – М., Машиностроение, 1967, 440.

3. Голубев И.С. Соизмерение технического уровня и эффективности при проектировании конструкций летательных аппаратов. – М., МАИ, 1986, 90.

4. Зуенко Ю.А., Коростылев С.Е. Боевые самолеты России. – М., Элакос, 1994, 192.

5. Карпенко А.В. Российское ракетное оружие: 1943-1993. Санкт-Петербург, Пика, 1993, 179.

6. Кохран Т., Аркин У., Норрис Р., Сэндс Дж. Ядерное вооружение СССР. Пер. с англ. – М., Изд. АТ, 1992, 460.

7. Новоселов Н.С., Болнокин В.Е., Чинаев П.И., Юрьев А.Н. Системы адаптивного управления летательными аппаратами. – М., Машиностроение, 1987, 280.

8. Пересала С.А. Зенитные ракетные комплексы. – М., Воениздат, 1973, 271.

9. Родионов Б.И., Новичков Н.Н. Крылатые ракеты в морском бою. – М., Воениздат, 1987, 215.

10. Родионов Б.И. Противолодочные силы и средства флотов. – М., Воениздат, 1977, 135.

11. Тонких А.В. Преодоление противотанковой обороны. – М., Воениздат, 1969, 104.

3.4. КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

3.4.1. Решаемые задачи, особенности, состав и структура космических средств

Космические аппараты (КА) и построенные на их базе БТС в отличие от представленных выше авиационных и ракетных ЛА появились совсем недавно. Космонавтика сразу начала развиваться

своим отличительным от других видов техники путем, ракеты-носители (РН) и космические аппараты (КА) сразу проектировались как элементы большой технической системы (БТС). Сразу определялось их целевое предназначение, практически все имеющиеся в мире космические системы принадлежат к информационному классу [1-20].

Определим основную объект и предмет системных исследований.

Объектом СИ является КОСМОНАВТИКА – совокупность отраслей науки и техники, обеспечивающих:

- 1) создание и применение космических систем;
- 2) исследование с их помощью космоса (включая Землю с Луной, околоземное космическое пространство (КП), планеты и дальний космос), а также изучение технологических процессов, биологических и иных объектов;
- 3) решение (с использованием средств ракетно-космической техники) прикладных задач оборонного и народно-хозяйственного назначения.

ОБЪЕКТАМИ КОСМОНАВТИКИ являются:

- 1) астрономические объекты (космическое пространство и небесные тела);
- 2) наземные объекты живой или неживой природы, включая искусственные;
- 3) ракетно-космическая техника (РКТ).

В системных исследованиях ПРЕДМЕТНЫЙ АСПЕКТ применительно к этим объектам обычно выбирается в следующих направлениях:

- 1) астрономические объекты:
 - а) объекты исследования,
 - б) среда, формирующая физические условия полета КА;
- 2) средства ракетно-космической техники:
 - а) решаемые задачи,
 - б) способы применения,
 - в) баллистика (теория движения),
 - г) устройство (конструкция, материалы и т.п.) РН, КА и наземных комплексов и др.
 - д) история, прогноз и перспективы развития;
- 3) потенциальные потребители достижений космонавтики:
 - а) сферы применения,
 - б) социальные, политические и экономические аспекты,
 - в) космическая философия и право, аэрокосмическое образование и т.п.

В будущем возможно расширение объектово-предметного пространства СИ в космонавтике. Это будет связано с гипотетическими открытиями, упоминавшимися во второй главе. Например, при появлении других (кроме РКТ) [14] пока неизвестных средств перемещения в КП и обмена информацией. Расширение предметности СИ связывают с появлением реальной возможности установления факта существования или даже контакта с внеземными цивилизациями.

Но сегодня основой космонавтики является только РКТ. Если ее рассматривать как сложную суперсистему по методу, изложенному выше, то можно выделить целевые системы (связная, метеорологическая, навигационная и т.д.) и технические комплексы (рис.3.4.1). Сегодня на орбитах вокруг Земли и

в межпланетном пространстве летают тысячи КА. Значительная часть из них прекратила свою работу, но все-же активно функционируют сотни. Но КА, являясь базовым элементом, составляют, всего лишь часть космической системы. Для их выведения на орбиты используются РН и наземные ком-

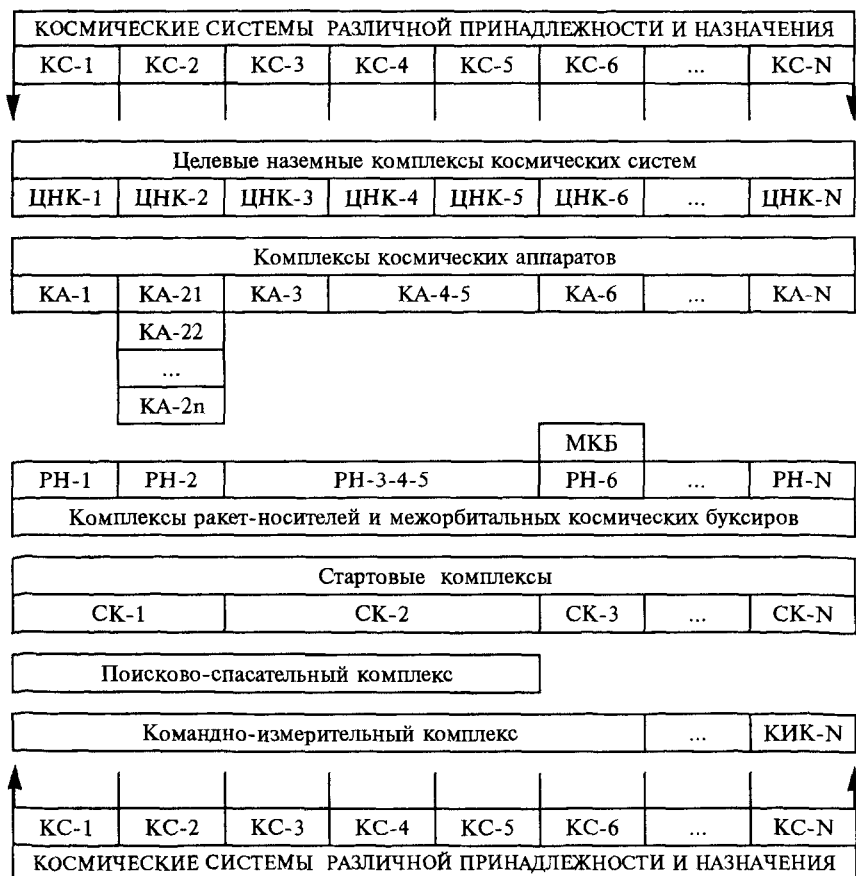


Рис. 3.4.1. Системно-комплексная структура ракетно-космических средств.

плексы. Строение и функции последних настолько сложны, что они тоже могут рассматриваться как системные объекты со сложной иерархической структурой.

Поскольку комплексы используются для разных целевых систем (часто одновременно), то их взаимосвязь удобно представить в виде матрицы. Комплексы делятся на летательные аппараты (РН, МКБ, КА) и наземные средства (СК, КИК, СПК, ПСК, ЦНК). Примером комплекса КА может служить орбитальная группировка навигационной системы «Глонас», в которой 24 спутника расположены по восемь штук в трех разных плоскостях. Или орбитальный комплекс «Мир», который состыкован и собран на орбите из шести модулей.

В качестве примера нарастания сложности космических аппаратов можно привести классификацию советских орбитальных станций:

{Lev-1} – «Салют», «Салют-2», «Салют-3», «Салют-4» и «Салют-5», оснащенные одним стыковочным узлом для транспортных КА;

{Lev-2} – «Салют-6» и «Салют-7» были оснащены двумя стыковочными узлами, что позволило принимать грузовые ТКА, а также работать на станциях экипажам посещения совместно с основными экспедициями;

{Lev-3} – при проектировании станции «Мир» был предусмотрен специальный стыковочный отсек с пятью узлами стыковки, что позволило превратить станцию в сожрый орбитальный комплекс,

собранный на орбите из шести отдельно доставляемых (в разное время) блоков-модулей: «Мир», «Квант», «Квант-2», «Кристалл», «Спектр», «Природа». Для этой цели потребовалось разработать специальную технологию сборки в космосе, которая была успешно реализована в 1986-1996 гг.

Американская орбитальная станция «Скайлэб», имея большую массу (около 90т), по сложности относится к уровню {Lev-1}, а проектируемая международная орбитальная станция «Альфа» будет в классе {Lev-3}.

РАКЕТЫ-НОСИТЕЛИ

Основные характеристики ракет-носителей, приведены в табл.3.4.1. [1, 2, 6, 11].

Их можно классифицировать по следующим признакам:

- 1) государственная принадлежность,
- 2) конструктивно-компоновочная схема,
- 3) тип ДУ и применяемые компоненты топлива,
- 4) грузоподъемность,
- 5) способ управления и др.

Конструктивно-компоновочные схемы РН различаются большим разнообразием, их построение зависит от назначения (габаритно-весовых характеристик выводимых КА и параметров их рабочих или опорных орбит), типа топлива, вида двигателя, производственных мощностей и возможностей стартовых комплексов. При их проектировании сильное влияние оказы-

Таблица 3.4.1
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ
 (РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО УРОВНЯМ СЛОЖНОСТИ "Lev-")

Lev	Наименование	Страна	N _{ст}	m _о , т	m _{плн} , т	h, м	d/l, м	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Спутник	СССР	2	267	1,35	32	/10,3	1957
1	Космос-1	СССР	2	49	0,5	32	1,65/	1962
1	Jupiter-C	США	4	14	0,008	23	1,78	1958
1	Юнона-1	США	3	10	0,01	22,4	1,14	1958
1	Vanguard Авангард	США	4	54	0,04	23	2,6	1958
1	Juno-II Юнона-2	США	2	120	4,0	35	2,4	1958
1	Atlas-B Атлас-Б	США	2	54	0,4	26	2,4	1960
1	Thor-Able-Star Тор-Эйбл-Стар	США	4	22	0,2	22,9	1,14	1961
1	Scout Скаут	США	2	136	3,8	32,9	3,0	1964
1	Titan-II Титан-2	США	2	50	0,5	25	2,4	1966
1	Thor-Burner II Тор-Бернер-2	США	3	18,4	0,042	19	1,4/2,7	1965
1	Diamant-A Диаман-А	Франция	3	24	0,115	23	1,4/2,7	1970
1	Diamant-B Диаман-Б	Франция	3	26,4	0,15	21,6	1,5/2,7	1975
1	Diamant-B/P-4 Диаман-Б/П-4	Франция	4	9,4	0,012	16,5	0,7/2,9	1970
1	Lambda 4S-5 Ламбда 4С-5	Япония	4	43,6	0,075	23,6	1,4/2,9	1970
1	Ми-4S Мю-4С	Япония	3	80	0,17	28	2,25	1970
1	Великий поход-1	Китай	3	18	0,066	12,9	2,0	1971
1	Black Arrow Блэк Эрроу	Англия	3	41	0,1	20	1,4/2,9	1974
1	Ми-3С Мю-3Ц	Япония	4	17,3	0,04	19,4	1,0	1980
2	SLV-3 СЛВ-3	Индия	3	287	4,75	38,4	/10,3	1958
2	Восток	СССР	4	306	1,84*)	42	/10,3	1960
2	Союз	СССР	3	317	7,1	49,3	/10,3	1963
2	Космос-2	СССР	2	109	1,3	32	2,4/	1964
2	Протон	СССР	2	550	12,2	43,5	7,4/	1965
2	Циклон-2	СССР	2	182	2,7	36	3,0/	1969

*) РН «Молния» выводит на высокоэллиптическую орбиту

Продолжение таблицы 3.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Atlas-Agena A	США	3	130	2,3	30	3,0	1960
2	Атлас-Аджена А	США	3	137	2,3 гс	34,4	3,0	1963
2	Atlas-Centaur	США	3	170	4,8	40,5	3,0	1964
2	Атлас-Центравр	США	3	170	4,0	40,5	3,0	1964
2	Titan-IIIА	США	3	180	3,6	49	3,0	1965
2	Титан-3А- Грантейдж	США	3	180	3,6	49	3,0	1965
2	Titan-IIIВ- Agena D	США	3	180	3,6	49	3,0	1965
2	Титан-3Б- Аджена Д	США	3	180	3,6	49	3,0	1965
2	Thorad-Agena D	США	3	100	2,0	35	2,4	1969
2	Торад-Аджена Д	США	3	100	2,0	35	2,4	1969
2	Thorad-Delta	США	3	193	0,5гс	35,4	2,4	1974
2	Торад-Дельта	США	3	193	0,5гс	35,4	2,4	1974
2	Delta-2	США	3	220	1,4гс	38,1	2,24+	1990
2	Дельта-2	США	3	220	1,4гс	38,1	2,24+	1990
2	Ariane-1	ЕКА	3	210	4,8	47	3,8	1979
2	Ариан-1	ЕКА	3	210	4,8	47	3,8	1979
2	Ariane-3	ЕКА	3	240	1,85гс	49	3,8	1984
2	Ариан-3	ЕКА	3	240	1,85гс	49	3,8	1984
2	Ariane-2	ЕКА	3	233	2,58гс	49	3,8	1987
2	Ариан-2	ЕКА	3	233	2,58гс	49	3,8	1987
2	Ariane-4	ЕКА	3	245	5,0	57	3,8	1988
2	Ариан-4	ЕКА	3	245	5,0	57	3,8	1988
2	Ми-3СII	Япония	4	?	0,77	28	1,4/3,0	1985
2	Мю-3С2	Япония	4	?	0,77	28	1,4/3,0	1985
2	N-1	Япония	3	90	0,735	32	2,4/3,2	1976
2	Ню-1	Япония	3	90	0,735	32	2,4/3,2	1976
2	N-2	Япония	3	135	0,67гс	35	2,4/5,0	1981
2	Ню-2	Япония	3	135	0,67гс	35	2,4/5,0	1981
2	H-1	Япония	3	140	1,115г	40	2,4/5,0	1986
2	Аш-1	Япония	3	140	1,115г	40	2,4/5,0	1986
2	Великий поход-2	Китай	2	191	2,5	35	3,35	1975
2	Великий поход-3	Китай	3	202	1,4гс	44	3,35	1984
2	Великий поход-4	Китай	3	249	1,5гс	42	3,35	1988
3	Протон-К	СССР	3	700	21	57,7	7,4/	1967
3	Циклон-3	СССР	3	189	3,6	39	3,0/	1977
3	Зенит-2	СССР	2	459	13,8	57	3,9/	1985

Окончание таблицы 3.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Titan-III Титан-3С	США	4	630	1,1гс	40,5	3,0x3	1965
3	Saturn-IB Сатурн-1Б	США	2	540	20,8	68	6,0	1966
3	Titan-IIIД Титан-3Д- Аджена	США	4	640	13,4	47,2	3,0x3	1971
3	Titan-IIIЕ- Centaur Титан-3Е- Центавр	США	4	640	3,4с	48,5	3,0x3	1971
3	B-52+Pegasus B-52+Перас	США	1+3	19	0,2	15,5	1,27x7	1990
3	Ariane-44LP Ариан-44ЛП	ЕКА	4	421	8,3	58	8,7	1989
3	Ariane-44LP Ариан-44ЛП	ЕКА	4	484	3,5гс 9,4	59	8,7	1989
3	Ariane-44LP Ариан-44ЛП	ЕКА	4	356	4,3гс 6,5 3,0гс	57	6,5	1991
3	Великий поход-2Е	Китай	2	464	3,0гс	51	3,35	1990
3	H-2 Аш-2	Япония	2	260	2,0гс	50	4,0/8,0	1994
4	Saturn-V Сатурн-5	США	3	2812	46,7Л 137	111	10,0	1967
4	Space Shuttle Спейс Шаттл	США	2	2050	120 29,5	56	8,0/23	1981
4	Энергия	СССР	2	2400	95	56	8,0/17, 7	1987

вает наличие аналогов и прототипов, а также традиций КБ и заводов. Пример технической декомпозиции РН дан на рис.3.4.2.

По компоновочным схемам РН можно разделить на три класса:

1) «Пакет» – с параллельным расположением (продольное деление) ступеней («Спутник», «Энергия»);

2) «Тандем» – с последовательным расположением (поперечное деление) ступеней («Космос», «Протон», «Циклон», «Зенит»);

3) комбинированная схема с параллельно-последовательным расположением ступеней («Восток», «Союз», «Молния»).

Ступени РН могут состоять из одного или нескольких блоков.

Многоблочная компоновка ступени имеет более сложные конструктивно-силовую, пневмогидравлическую и динамическую схемы. Это увеличивает массу конструкции по сравнению с моноблочной схемой. Однако уменьшение габаритов

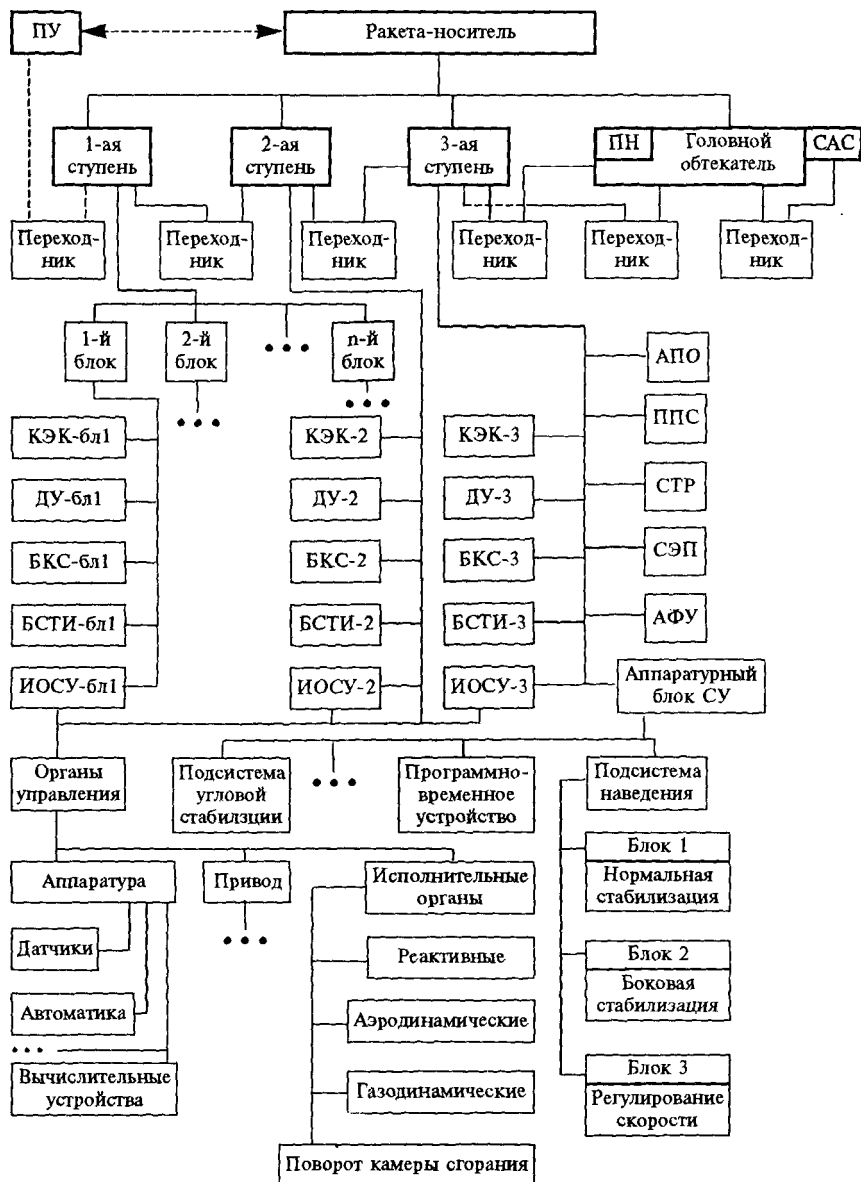


Рис. 3.4.2. Структура конструктивно-компоновочной схемы ракеты-носителя

ПН - полезная нагрузка;
 САС - система аварийного спасения;
 КЭК - конструктивные элементы корпуса;
 ДУ - двигательная установка;
 ИОСУ - исполнительные органы системы управления;
 БКС - бортовая кабельная сеть;
 БСТИ - бортовая система

телеизмерений;
 СЭП - система электропитания;
 СТР - система терморегулирования;
 АПО - устройства аварийного подрыва объекта;
 ППС - бортовая противопожарная система;
 АФУ - антенно-фидерные устройства.

ритных размеров отдельного блока позволяет упростить его доставку на космодром (использование железнодорожного транспорта без разборки блока), отработку и испытание ДУ, других бортовых систем и блока в целом.

Первые РН в СССР и в США создавались на базе МБР, что позволило существенно сократить сроки и расходы на их разработку. Фактически РН «Спутник» это боевая двухступенчатая ракета «Р-7», она является основой разработанных в КБ Королева С.П. носителей «Восток», «Союз», «Молния». Таким образом, это сложный комплекс РН, имеющих одинаковые первые две ступени. Созданные в КБ Янгеля М.К. боевые ракеты Р-12, Р-14, Р-36

стали основой РН «Космос» и «Циклон». В США прототипами комплексов РН (см.табл.3.4.1) явились ракеты «Атлас», «Титан», «Тор» [16]. Аналогичная взаимосвязь прослеживается в китайской космонавтике. ЕКА создало комплекс «Ариан», который «военной» предыстории не имеет.

По типу применяемых двигателей ракеты подразделяются на жидкостные и твердотопливные. Возможна и комбинация разных двигателей на различных ступенях. В литературе имеются упоминания ядерных ДУ, но они вряд ли будут реализованы на РН в ближайшее время по причине высокой радиационной опасности заражения местности в случае аварии на этапе выведения КА. Среди жидкостных ракет подчеркивается наличие криогенных компонентов из-за необходимости принятия особых конструкционных и эксплуатационных мер при использовании компонент, требующих сверхнизких температур и ставящих проблемы дренажа, подпитки, термостатирования и т.п.

Важнейшими показателями РН являются весовые характеристики,

Таблица 3.4.2

Классы ракет-носителей по грузоподъемности

Класс	Грузоподъемность, тонн
Легчайшие	0 — 1
Легкие	1 — 10
Средние	10 — 30
Тяжелые	30 — 200
Сверхтяжелые	свыше 200

Космодромы мировой космонавтики
(распределение по уровням сложности "Gen-")

Космодром	Страна	Координаты		Запуск первого спутника			
		V*	L	Дата	Наименование	мисз, кг	РН
"Gen-1"							
4 Уоллопс	США	37,8	75,5 з.д.	16.02.61	"Эксплорер-9"	6,6	"Скаут"
5 Капустин Яр	СССР	48,6	46,3 в.д.	16.03.62	"Космос-1"	315	"Космос-1"
6 Хаммагир	Франция	31,7	2,3 з.д.	26.11.65	"Астерикс"	42	"Диамант-А"
8 Сан-Марко	Италия	3	40,2 в.д.	26.04.67	"Сан-Марко-2"	129	"Скаут"
9 Вумера	Австралия	31,2	137 в.д.	29.11.67	"Вресат"	45	"Спарта"
10 Кагошима	Япония	31,4	130,5 в.д.	11.02.70	"Осуми"	12	"Лямбда 4С-5"
12 Чан-Чэнг-Тзи	Китай	41,3	100,2 в.д.	24.04.70	"Алеет Восток-1"	173	"ВП-1"
14 Шрихарикота	Индия	13,8	80,3 в.д.	18.07.80	"Рохини"	40	"СЛВ-3"
16 Тай-Юнь	Китай	38	113 в.д.	06.09.88	"Фенг Юн-1"	750	"ВП-4"
17 Негеф	Израиль	32	35 в.д.	19.09.88	"Офек-1"	155	"Шавит 2"
18 Свободный	РФ			04.03.97	"Зая"	87	Старт-1"
"Gen-2"							
3 Западный ИП	США	34,7	120,7 з.д.	28.02.59	"Дискаверер-1"	618	"Гор-АдженаА"
7 Плесецк	СССР	62,7	40,3 в.д.	17.03.66	"Космос-112"	4730	"Восток"
11 Куру	Франция	5,3	53 з.д.	10.03.70	"Мика"+"Диал-1"	52+63	"Диамант-Б"
13 Танегашима	Япония	30,5	131 в.д.	09.09.75	"Кикү"	85	"Н-1"
15 Сичан	Китай	28	102 в.д.	29.01.84	"Чайна-14"	900	"ВП-3"
"Gen-3"							
1 Байконур	СССР	45,6	63,4 в.д.	04.10.57	"Спутник-1"	83,6	"Спутник"
2 Восточный ИП	США	28,5	80,6 з.д.	01.02.58	"Эксплорер-1"	4,8	"Юпитер-Ц"

*) Все космодромы (кроме Вумера) имеют северную широту.

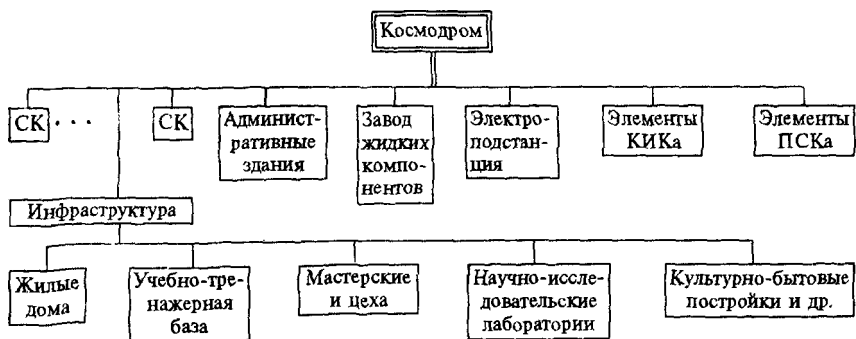


Рис. 3.4.3. Основные составляющие космодрома

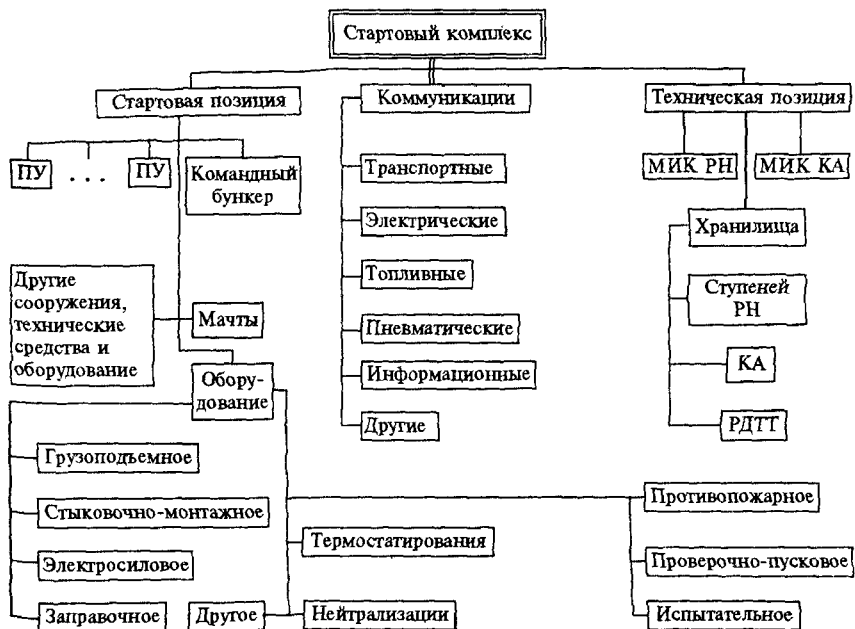


Рис. 3.4.4. Техническая декомпозиция стартового комплекса

среди которых особо выделяются стартовая масса, масса выводимого на стандартную орбиту полезного груза и коэффициент весовой отдачи, представляющий отношение массы полезной нагрузки к стартовой. Часто на этой основе проводят деление ракет по грузоподъемности с учетом некоей стандартной орбиты. Здесь возникает ряд условностей. Например, в СССР стандартной принималась орбита высотой $H=200$ км и с наклоном $i=51$ град. А в США такая орбита имела наклонение $i=28,5$ град. и высоту 100 миль. Указанные наклонения привязывались к основным трассам запуска, обеспечиваемым с космодрома «Байконур» в Казахстане и Восточного испытательного полигона в штате Флорида. По мере развития космонавтики менялись количественные границы весовых категорий РН. Сегодня наиболее удобной для сравнения возможностей РН следует признать полярную орбиту ($i=90$ град), так как в этом случае исключается влияние географического расположения космодрома, а действительно характеризуется лишь ракета. С учетом сложившейся практики вполне допустимо с перспективой на 2000 год рекомендовать для полярной стандартной орбиты высотой 200 км классы ракет-носителей по грузоподъемности, приведенные в табл.3.4.2.

Проводится также деление РН по кратности на одноразовые и многоразовые. Пока все существ-

ующие РН являются одноразовыми. Создание в США МТКК «Спейс шаттл» проблемы многоразовости не решило, так как в этом случае многократно используются лишь двигатели и система управления второй орбитальной ступени. Чтобы создать по-настоящему многоразовую РН, следует решить массу проблем для возвращения и повторного использования всех ее ступеней.

Важной характеристикой РН является количество ступеней. Согласно теории, чем больше количество ступеней, тем выше коэффициент весовой отдачи «идеальной ракеты». Однако в реальной ракете за счет «переходников» и постоянных составляющих бортового оборудования ступеней существует предел их числу. Чаще всего используются двух- или трехступенчатые РН. Для межпланетных полетов, когда требуется сообщить вторую космическую скорость, а также для вывода на высокоэллиптическую или геостационарную орбиту (требуется сложный пространственный маневр с ожиданием) на ракету ставят четвертую ступень. По-существу, этот межорбитальный космический буксир (МКБ, разгонный блок или ступень) больше похож на транспортный КА, нежели на ракетную ступень. Буксир уже не связан со СК, работает только в вакууме и в невесомости, то есть приближен по условиям работы к КА. Он не обслуживается на орбите.

СТАРТОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

На Земле рядом стран (СССР, США, Франция, Италия, Австралия, Япония, КНР, Индия, Израиль) построено 18 космодромов (табл.3.4.3) с десятками **стартовых комплексов (СК)**, с которых успешно стартовало около 4000 ракет-носителей различного класса со спутниками или межпланетными КА (рис.3.4.3).

СК предназначен для технологического обеспечения процесса наземной эксплуатации РН и КА с целью подготовки к выведению последних на заданные орбиты. Охватываемый наземной службой период жизненного цикла начинается от приема ступеней, отсеков, других частей и бортового оборудования РН и КА. Заканчивается он стартом летательного аппарата, полученного объе-



Рис. 3.4.5. Фрагмент технической декомпозиции заправочных средств

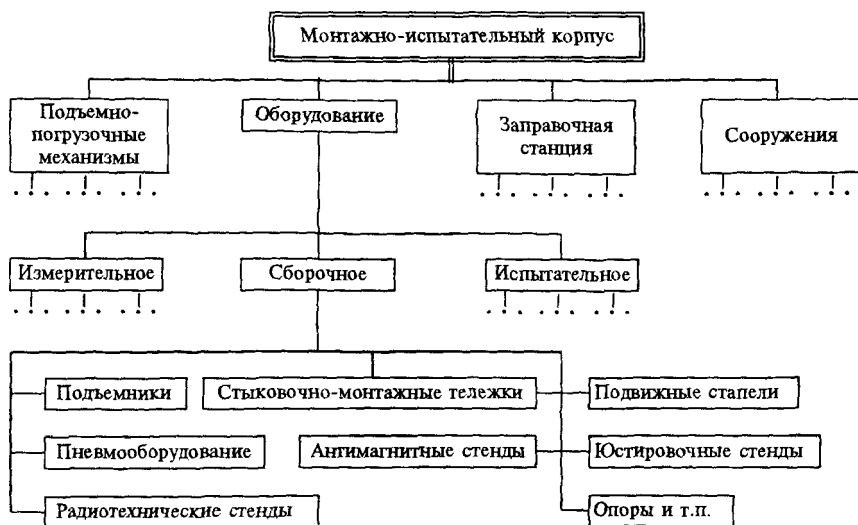


Рис. 3.4.6. Фрагмент технической декомпозиции МИКа

динением РН с КА. СК включает **стартовую позицию (СП)** и **техническую позицию (ТП)**, а также различные коммуникации между ними, в том числе транспортный путь для доставки РН и КА с ТП на СП (рис.3.4.4). Эти комплексы в зависимости от типа обслуживаемых РН различаются по схемному решению, составу технологического оборудования и типу сооружений. Большое их разнообразие определяется прежде всего габаритами и стартовой массой ракеты-носителя, а также компонентами топлива и типом ДУ. Имеется заметная связь с аналогами и прототипами. Так как многие РН явились логичным продол-

жением судьбы боевых ракет, поэтому и их стартовые комплексы являются младшими братьями боевых СК. Конечно, заметное влияние на структуру СК имеет и тип выводимых КА.

Наземное оборудование СК в зависимости от видов выполняемых операций подразделяется на следующие группы: транспортное, грузоподъемное, установочное, заправочное, проверочно-пусковое, стыковочно-монтажное, обслуживания, испытательное, электросиловое, термостатирования, нейтрализации, противопожарное и др. Для обеспечения функционирования этого оборудования на СК построены раз-

личные здания и сооружения, соединяющиеся транспортными, электрическими, топливными, пневматическими, информационными и другими коммуникациями. Как правило, СК имеют сильно развитую инфраструктуру, без которой невозможно обеспечить требуемый уровень решения главной задачи. Сюда могут входить жилые и культурно-бытовые постройки, тренажерная база, мастерские, научно-исследовательские и иные подразделения [9].

Стартовые комплексы делятся на три класса в зависимости от технологического метода подготовки РН: фиксированный, мобильный и смешанный. При фиксированном методе все операции проверки ступеней, сборки, предстартовой проверки и запуска РН осуществляются на СП. При мобильном методе проверка ступеней, сборка и комплексная проверка РН и КА, заправка проводятся на ТП, а запуск на СП. Промежуточный метод, в котором оба упомянутых метода смешаны, предполагает установку в вертикальное положение, заправку, предстартовую проверку и запуск проводить на СП.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ предназначена для приема, хранения, расконсервации, сборки РН и КА, их проверки, испытаний и состыковки, заправки КА некриогенными компонентами топлива и сжатыми газами (рис.3.4.5), погрузки на транспортировщик, то есть проведения полного цикла работ

для подготовки ЛА к вывозу на СП. На ТП размещаются **монтажно-испытательный корпус (МИК)**, оснащенный сборочным, измерительным и испытательным оборудованием (рис.3.4.6). Возможно применение различных МИКов для РН и КА. Кроме того, на участке местности, выделяемом под ТП, размещаются подъездные пути и инженерные коммуникации, заправочные и компрессорные станции, трансформаторные подстанции, хранилища ступеней РН и КА, отдельные здания для РДТТ, лабораторные и служебные помещения, заводы для получения жидких газов (кислород, водород, азот). Если космодром имеет несколько типов СК, то отдельные из перечисленных сооружений могут использоваться для обслуживания нескольких ТП под разные РН. Например, завод жидких компонент топлива или энергоподстанция.

МОНТАЖНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ КОРПУС является базовым элементом ТП. В нем осуществляется подготовка ракеты-носителя к запуску и космического аппарата к выведению на орбиту. Существуют как отдельные МИКи для РН и КА, так и совмещенные. Габариты МИКов зависят от размеров собираемых в них летательных аппаратов.

Для тщательной проверки РН и КА, а также отдельных агрегатов и бортовых систем имеются барокамеры, вакуумные установки. При сборке и подготовке к вывозу на СП используются стыковочно-

монтажные тележки, специальные подставки, опоры, агрегаты обслуживания, лестницы, подвижные сборочные стапеля, заправочные станции. Для обеспечения заданных технических характеристик и прежде всего высокой надежности применяется различное контрольно-испытательное оборудование, в том числе, антимагнитные и юстировочные стенды, измерительные станции, вычислительная техника, пневматическое оборудование для проверки топливных баков, наземные источники питания, радиотехническое, электро-силовое и другое оборудование.

Ступени крупноразмерных ракет могут монтироваться на космодроме: с применением сборки и сварки топливных баков РН из секций, доставляемых с завода. Тогда сборочный цех (завод) ТП оснащается необходимым сварочным оборудованием и обеспечивается гидравлическая проверка баков на герметичность. В зависимости от размеров РН сборка может производиться на стапеле с последующей перегрузкой на транспортировщик или монтироваться непосредственно на нем. Для этих операций имеются ангаро-складские и стыковочно-монтажные тележки, подвижные подъемники, траверсы и т.п. При наличии ступеней с РДТТ на ТП существует специальный корпус для их снаряжения, сборки и пристыковки.

Расстояние от МИКа до СП выбирается из соображений безопасности на случай взрыва РН на СП.

Между МИКом и СП прокладывается одна или две ветки железнодорожного пути, по которому осуществляется с помощью тепловозов подвоз транспортировщика (платформы) к месту старта. По ним может осуществляться доставка цистерн с топливными компонентами. При использовании для стартовых платформ автомобильных или гусеничных шасси, естественно, строятся высококлассные дороги.

СТАРТОВАЯ ПОЗИЦИЯ представляет участок космодрома, на котором расположены одна или несколько ПУ вместе с пусковыми сооружениями, подъездные пути, заправочные средства, хранилища, помещения для размещения оборудования подготовки к пуску, бункер командного пункта, мачты молниеотводов (с прожекторными установками) и ряд вспомогательных сооружений и площадок (ремонтно-механические мастерские, гаражи, административные здания и т.п.). Подвижные агрегаты и оборудование предстартового обслуживания размещаются на бетонированной площадке, а стационарное оборудование – в помещениях пускового и других сооружений.

На СП (обычно вблизи ПУ) размещаются заправочные средства, которые включают стационарное оборудование и подвижные агрегаты.

Главным сооружением СП (ее базовым элементом) является ПУСКОВАЯ УСТАНОВКА (пус-

ковая платформа или пусковой стол), которая предназначена для приема, вертикализации и удержания в заданном положении, проверки, заправки, прицеливания и пуска РН с пристыкованным к ней КА. При создании космических ПУ использовался богатый опыт проектирования боевых и исследовательских ракет. Существуют стационарные (надземные или шахтные) и мобильные (железнодорожные, автомобильные, корабельные и авиационные) ракетные ПУ. Их конструкторско-технологические решения существенно зависят от конструктивно-компоновочной схемы ракеты, ее

габаритов и массы, способа подготовки к пуску. Для запуска КА чаще всего применяют стационарные ПУ, которые монтируются в пусковых сооружениях. В зависимости от типа этих сооружений установки бывают заглубленные или надземные. В заглубленных ПУ нижний торец РН находится ниже уровня поверхности стартовой позиции, что упрощает операцию перевода РН из горизонтального в вертикальное положение. Уменьшается высота стартовых сооружений, повышается оперативность и облегчается процесс обслуживания РН. Однако за эти достоинства приходится рас-

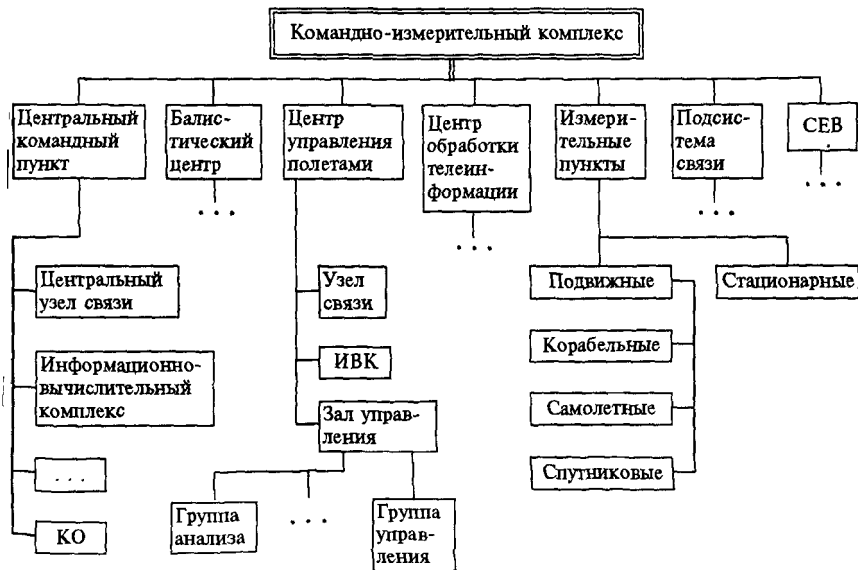


Рис. 3.4.7. Организационная декомпозиция КИКа

плачиваться большим объемом землеройных работ при строительстве, так как необходим выстилаемый термостойким бетоном газоотводной лоток больших размеров. В надземных ПУ удар истекающих из ДУ продуктов сгорания воспринимается газоотражателем из жаростойких металлов. Отвод газовых струй в этом случае упрощается, но возникает необходимость подъема РН над поверхностью СП на значительную высоту. Разнообразными являются опорные элементы ПУ, на которые ракета устанавливается. Например, РН «Спутник» (и все последующие модификации «Р-7») подвешивается за средний силовой пояс, который удерживается откидными опорами. Часто РН устанавливаются на стационарные опоры, которые могут быть жесткими или с гидроамортизаторами. Способ старта также влияет на конструкцию ПУ: применяется старт с удержанием РН до набора всеми ДУ номинальной тяги или без удержания ее, когда ракета отрывается от ПУ после незначительного превышения суммарной тяги над весом РН с КА.

КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

С отрывом от стартового стола ракеты, выводящей на орбиту КА, начинает работу КИК. Его **измерительные пункты (ИПы)**, расположенные по трассе активного участка полета ракеты, контролируют работу бортовых систем и

особенно – работу двигательных установок, определяют параметры траектории движения, фиксируют моменты сброса головного обтекателя, отделения отработавших ступеней РН и выхода КА на опорную орбиту. Если возникают отказы, так называемые нештатные ситуации, и полет проходит с нарушением заданной программы, то в случае необходимости осуществляется подрыв ракеты, чтобы не допустить ее падения на населенные районы. Если на борту КА находятся космонавты, то с ними поддерживается постоянная связь и поисково-спасательному комплексу (ПСК) выдаются координаты падения, в случае аварии. После выхода КА на опорную орбиту он может переводиться на рабочую орбиту посредством своих ДУ или с помощью специальной разгонной ступени (межорбитального буксира – МКБ). В орбитальном полете с помощью КИКа постоянно контролируется работа бортовых систем КА, состояние членов экипажа, осуществляется обмен измерительной информацией, подаются команды на борт и т.п. (рис.3.4.7) [5, 17].

Принимая от спутников радиосигналы, измерительные станции на суше, в океане и в воздухе переправляют их транзитом в координационно-вычислительный центр (КВЦ), соответствующий профилю работы спутника. Там с помощью быстродействующих универсальных и специализированных ЭВМ радиосигналы пре-

вращаются в понятные специалистам цифры, буквы, графики, телевизионные изображения. Необходимые для оперативного управления полетом данные с помощью специально разработанных программ отображаются на мониторах, экранах, световых табло и светодинамических картах, показывающих практически в реальном масштабе времени положение КА над нашей планетой.

Таким образом, средства командно-измерительного комплекса, выражаясь коротко, измеряют параметры орбиты КА и передают на его борт команды для работы обеспечивающей и специальной аппаратуры [7].

ЗАДАЧИ И СТРУКТУРА КОМАНДНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

КИК предназначен для управления всей совокупностью отечественных КА, находящихся в космическом пространстве. Основными ЦЕЛЯМИ комплекса являются:

- управление движением КА на всех участках полета;
- контроль за функционированием устройств и бортовых систем КА;
- управление приемом с КА целевой специальной информации (связной, навигационной, геодезической);
- обеспечение тесного взаимодействия всех наземных комплексов;

- согласование работы различных целевых космических систем.

Управление движением КА необходимо для обеспечения заранее заданной или уточняемой в процессе полета траектории, а также для ориентации относительно Солнца, земных или иных объектов. Траекторное управление полетом КА проводится для перехода с опорной орбиты на рабочую, для построения в пространстве заданной геометрической конфигурации орбитального комплекса из нескольких КА, для увода отработавшего КА из точки размещения на геостационарной орбите, для сближения и стыковки и в ряде других случаев. Ориентация КА относительно центра масс требуется для направления солнечных батарей на Солнце, для наведения параболических антенн в заданную точку, для поддержания оси двигателя в заданном положении при маневрировании и для других целей. Для достижения упомянутых целей КИК решает следующие основные ЗАДАЧИ:

- обеспечение приема, обработки и анализа информации с КА в интересах определения состояния бортовых систем и уровня их функционирования [3, 5, 12, 13, 15];

- проведение траекторных измерений и прогнозирование орбиты движения КА с учетом внешних возмущений, проводимых коррекций и маневров;



Рис. 3.4.8а. Фрагмент структуры автоматизированной системы управления (борт космического аппарата)

– формирование программы коррекций и маневров КА на орбите;

– выдача команд, включающих подпрограммы штатного полета, управляющие бортовой обеспечивающей и специальной аппаратурой;

– вывод из нештатных и аварийных ситуаций.

Решение таких существенно различных задач требует объединения в единый комплекс всех технических средств обмена командно-программной, телеметрической и траекторной инфор-



Рис. 3.4.86. Фрагмент структуры автоматизированной системы управления (командно-измерительный комплекс)

мацией с КА; а также средств связи, автоматизированного сбора и обработки информации с необходимым математическим обеспечением (рис.3.4.8а и рис.3.4.8б).

Эти средства частично размещаются на сухопутных (стационарных) и подвижных, в частности корабельных, командно-измерительных пунктах (КИП или просто ИП), то есть на кораблях, са-

молетах и спутниках, а частично в различных объединяющих центрах. В число таких центров входят командные пункты, центры обработки информации, информационно-вычислительные центры, центры управления и **баллистические центры (БЦ)**. Все пункты и центры с помощью линий информационной и технологической связи объединены в единый **наземный автоматизированный комплекс управления (НАКУ)** аппаратами. Средства КИК, технологически объединенные в отдельные НАКУ могут (наравне со средствами других наземных комплексов) функционально подчиняться центрам управления соответствующих специализированных космических систем. Основу организационной структуры КИК составляют их функциональная специализация по типам КА, решающих целевые задачи в интересах определенных ведомств (эксплуатирующих, заказывающих или потребляющих результаты).

В общем случае в состав КИК входят центры управления различного профиля. Всем хорошо известный из многочисленных теле-репортажей Центр управления пилотируемыми и межпланетными полетами находится в Калининграде Московской области. В СССР интенсивно работал в Евпатории Центр дальней космической связи, судьба которого сейчас непрогнозируема. Имеются центры управления военных и других ведомств. Обработка поступающей от КА ин-

формации и координация действий измерительных средств осуществляется координационно-вычислительными центрами (КВЦ), которые оснащены быстродействующими ЭВМ. Это позволяет не только обрабатывать огромные массивы информации, но и наглядно отображать космическую обстановку в реальном масштабе времени на электронных табло, телевизионных экранах и световых динамических картах, иллюстрирующих движение КА относительно Земной поверхности.

Большая роль для согласования работы всех средств КИКа со всеми космическими системами отводится **Центральному командному пункту (ЦКП)**.

В структуре ЦКП имеются координирующий орган (КО), центральный узел связи (ЦУС), и органы оперативного управления секторы. Обработку информации помогает осуществлять информационно-вычислительный комплекс (ИВК), который имеет накопители информации большой емкости, устройства сопряжения с аппаратурой ввода и вывода информации, устройства наглядного отображения информации (экраны групповые и индивидуальные), показывающие космическую обстановку, состояние КА и параметры их орбит, готовность различных средств КИКа; устройства документирования информации (печатающие устройства, графопроекторы), оконечные устройства и аппаратуру передачи данных для

информационного обмена с внешними абонентами (БЦ, КИПы, ЦУП,...). В секторах управления ЦКП производятся обработка и анализ траекторной и телеметрической информации с ИПов, диагностика и оценка состояния КА, оценка степени выполнения задач полета, выработка решений по управлению КА, долгосрочное и оперативное планирование работы средств управления космическими системами, решение на завершение программы и т.д. Специалисты ЦКП постоянно ведут контроль общей космической обстановки, при необходимости корректируя планы работ.

Для проведения ЛКИ, осуществления уникальных межпланетных перелетов, а также для реализации пилотируемых программ часто, кроме штатных структур, создаются специализированные подразделения, в которые включаются представители различных организаций. Например, большой вклад в развитие отечественной космонавтики внесла Межведомственная главная баллистическая группа (МГБГ).

В состав центра управления полетами (ЦУП) входят ИВК, УС, зал управления и помещения для групп анализа и управления, оборудованные средствами наглядного отображения и взаимодействия оперативных дежурных с прямыми и косвенными участниками работы. ИВК обеспечивает обработку и хранение поступающей с ИПов информации, расчет эфеме-

рид, выработку программ и команд управления бортовой аппаратурой КА, выдачу информации в зал управления и на УС. ЦУС обеспечивает связь ЦКП и ЦПУ с КИПами, осуществляет прием, контроль, распределение и передачу входящей и передаваемой информации с помощью управляющих ЭВМ и специальных пунктов управления операторов ЦУСа. Уровень оснащенности центров электронно-вычислительной техникой, средствами обмена информации, автоматизации процессов представления и документирования данных, а также развитое математическое обеспечение программами позволяют осуществлять управление космическими системами в реальном масштабе времени.

КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ

Различают два класса ИПов: стационарные и подвижные. Подвижные КИПы создаются на базе кораблей, самолетов и спутников. Самолетные пункты в основном решают эпизодические задачи приема телеметрической информации при запусках КА на необычные наклонения орбит, когда появляются участки траекторий вне зон видимости стационарных пунктов. Кроме того, самолеты используются для отработки новых средств на ИПах и в процессе ЛКИ космической техники. Спутники начали применяться позже для ретрансляции информации

между КА или корабельными ИПами и центральными пунктами, постепенно на ИСЗ начинают возлагаться задачи определения орбит и навигации КА. В последующем спутниковые ИПы смогут взять на себя решение других более сложных задач, свойственных стационарным пунктам. Корабельные пункты решают или часть, или полный объем задач, аналогичных для сухопутных пунктов. Пункты командно-измерительного комплекса в общем случае оснащены следующим набором технических средств:

- 1) РТС — радиотелеметрические станции,
- 2) КИА — командно-измерительная аппаратура,
- 3) СССТ — средства связи и служебного телевидения,
- 4) ЭВМ — вычислительная техника для предварительной обработки информации,
- 5) СЕВ — средства системы единого времени.

В СССР была построена цепочка ИПов, расположенных на всей территории Советского Союза (Евпатория, Тбилисси, Москва, Джузалы, Енисейск, Улан-Удэ, Уссурийск, Камчатка и др.). Для управления КА на участках траектории, неконтролируемых с территории СССР, были созданы и включены в состав КИК плавучие ИПы. Для этой цели в начале космической эры приспособлялись различные корабли. А затем строились специальные научно-исследовательские суда. Корабельные ИПы автоном-

но работали в океанах по несколько месяцев, осуществляя связь с центрами через специальные спутники. Это значительно расширяло возможности оперативного решения задач управления ИСЗ практически на любом суточном витке, а также обеспечило круглосуточный контроль за межпланетными КА. При необходимости с целью перекрытия участков полета за пределами видимости с территории СССР в составе КИКа иногда используются самолетные измерительные ИПы.

Для управления ракетами на территории космодрома «Байконур» построено 5 ИПов и ВЦ, а также взаимодействуют с ним 9 ИПов, разнесенных по трассам полета РН. С вводом в строй полигона вблизи Плесеца, на его территории также были созданы измерительные средства, куда вошли система внешнетраекторных измерений «Вега» и два ИПа. Еще четыре ИПа были сооружены по трассам полета ракет в районах Сыктывкара, Воркуты, Норильска и на Новой Земле.

В США проводится линия на централизованное объединение средств управления, подчиняющихся двум ведомствам: МО и НАСА. При этом обеспечивается взаимодействие различных пунктов и сетей слежения за КА на принципах радиочастотной, функциональной и сигнальной совместности. В США насчитывается более 40 ИПов и несколько ЦУПов. Другие страны все вместе

по всему земному шару в общей сложности имеют более 30 ИПов.

В процессе взаимодействия с КА конкретный ИП может решать частные задачи в общем цикле управления совместно с другими ИПами при руководящей роли ЦУП или ЦКП, а также (при региональном способе управления) обеспечивать полный цикл управления отдельным КА по программе заданной ЦКП. При этом происходит взаимодействие с бортовой системой управления КА. Прием и регистрация в наземной аппаратуре информации о параметрах функционирования бортовой обеспечивающей и специальной аппаратуры производится с помощью РТС. Наземные и бортовые средства связи, передающие телеметрическую информацию, могут иметь автономные радиолинии или совмещаться с многофункциональными радиолиниями. Все средства радиосвязи объединены с сетью телефонной и телеграфной связи в единую централизованную систему, обеспечивающую связь со стартовым комплексом, ИПами и в пилотируемых полетах с экипажами КА.

Средства СЕВ обеспечивают все элементы КИКа и все борты КА сигналами точного времени и эталонными частотами синхронизации работы космических систем, а также сигналами государственной службы единого времени для взаимной привязки шкал времени. Взаимная синхронизация шкал в КИКе обеспечивается с погреш-

ностью 10 мкс, с уходом за год не более 100 мкс. Накопленный опыт управления межпланетными КА, достижения электроники, радиотехники, машиностроения, информатики, вычислительной математики позволили создать уникальный радиоастрономический телескоп «РТ-70». Впервые в мире советскими специалистами была создана полноповоротная многодиапазонная квазипараболическая двухзеркальная приемопередающая антенна диаметром 70 м, имеющая высокий общий коэффициент ее использования порядка 0,8 и с эффективной поверхностью главного зеркала 2500 м².

На больших дальностях, исчисляемых миллионами километров, необходимые точности измерения положения межпланетного КА в космическом пространстве достигается интерферометрическими методами. Для этого на земной поверхности подбирают ИПы так, чтобы они образовывали треугольник с большими сторонами. В советском КИКе применялись для межпланетных полетов западный и восточный интерферометрические треугольники. В вершинах первого находятся радиотехнические станции в Евпатории, в Байконуре и в Щелково. Восточный треугольник использует ИПы Уссурийска, Камчатки и Байконура. В связи с этим в Уссурийске построена такая же, как и в Евпатории, система с антенной РТ-70. Существенное улучшение работы КИКа произошло после строи-

тельства на Медвежьих озерах близ станции Щелково подмосковного радиотелескопа с диаметром зеркала 64 м и эффективной поверхностью 1500 м².

В настоящее время появились измерительные пункты в космосе, в роли которых выступают спутники-ретрансляторы. Это позволяет поддерживать с космическими объектами непрерывную связь в течение всего полета.

Наземные пункты поддерживают связь с центрами управления по кабельным линиям и радиоканалам, а морские и отдаленные сухопутные — через спутники-радиотрансляторы. Эта связь автоматизирована, что позволяет без участия человека вводить в ЭВМ все виды информации.

3.4.2. Проблемы и пути развития космонавтики

Ракетно-космическая техника имеет синтетический характер, использует продукты деятельности многих областей производства, заставляет их добиваться соответствующих технических и технологических решений. При разработке технической политики эти решения обладают свойством обратной связи и распространяются на производства различных отраслей, что интенсифицирует их развитие [1, 4, 8, 10].

Очень важно теоретически осмыслить цепочки причинно-следственных связей возникновения

потребностей, оценить возможности синтеза средств их удовлетворения и вторичного отраженного возникновения потребностей в этих средствах в других отраслях народного хозяйства. Это теоретическое осмысление может открыть дорогу к созданию формальных моделей оптимального управления процессом научно-технического развития.

Выступая в качестве одного из рычагов управления научно-технической революцией, сдерживая ее от стихийных и весьма опасных для человечества всплесков, космонавтика ставит ряд конкретных проблем:

1. Влияние космизма на общественное сознание [19].

2. Стимулирующее влияние космонавтики на фундаментальную науку.

3. Роль и место больших космических систем в научно-технической и в технико-экономической сферах.

4. Каталитическое, стимулирующее и управляющее воздействия космонавтики на научно-технический прогресс.

5. Вклад космизма в международное сотрудничество и право.

6. Непосредственное народохозяйственное использование космонавтики и ее косвенное применение, например, в форме конверсии.

В свою очередь возникает серия проблем создания и эксплуатации больших космических систем:

1. Научно-технические проблемы разработки.

2. Проблемы создания производственной, экспериментальной, испытательной и эксплуатационной баз космонавтики.

3. Проблемы пространственно-временного развертывания космических систем.

4. Формирование новых целевых задач

5. Обоснование требований к будущим космическим системам.

6. Общие проблемы права.

7. Сложности безопасного применения.

8. Подготовка кадров для космической отрасли.

9. Информационные аспекты и др.

Центральной суперпроблемой в настоящий момент остается дальнейшее развитие космонавтики. Оно непосредственно и напрямую требует решения перечисленных технико-экономических, научно-технических и иных проблем, а также развития права, сотрудничества и пропаганды применительно к своим особенностям. Многие важные технические вопросы могут быть решены в ходе постановки, анализа и решений названной выше центральной суперпроблемы. Ее доминирование само уже будет порождать симметричную ей проблему, т.е. задачу преодоления ее приоритета.

Уже сегодня многие задачи успешно решаются с использованием космических систем целевого назначения. Так, система космического мониторинга природных ресурсов позволяет [1, 2, 7]:

а) **в сельском хозяйстве** — осуществлять прогнозирование урожая, проводить инвентаризацию земель, контролировать состояние посевов и ход сельскохозяйственных работ, выявлять зоны распространения вредителей и заболевания растений, определять пастбища и водоемы (включая подземные);

б) **в лесном хозяйстве** — проводить тщательную инвентаризацию лесного фонда, оценку его состояния (особое значение приобрела борьба с лесными пожарами — они уничтожают больше леса, чем его заготовки);

в) **в морском хозяйстве** — оценивать состояние морской флоры и фауны, определять биопродуктивность отдельных акваторий и зон ведения промыслов, осуществлять контроль за вредным и опасным загрязнением океанов и морей;

г) **в речном хозяйстве** — проводить повсеместный контроль рек, озер, искусственных водоемов с экологической точки зрения для использования их в качестве транспортных артерий, для энергетики или для промысла;

д) **в добывающей промышленности** — ускорять освоение и снижать затраты на геологическую разведку и оценку мощностей месторождений, обеспечивать контроль побочных эффектов от деятельности предприятий, добывающих нефть, газ, уголь, руду и другие ископаемые, особенно при открытом способе.

Важная роль в наблюдениях из космоса отводится метеороло-

Прогноз периодизации взаимосвязей развития космонавтики и общества

Период	Предыстория космонавтики	1-ый период	2-ой период
Годы	1903	1957	2025
КОСМОНОАВТИКА	Развитие теорий о целях и средствах космонавтики. Разработка боевых ракет.	Создание РН на базе МБР и становление космонавтики. Разработка основных направлений её развития и целевых программ. Расширение влияния: - на развитие идеологических отношений; - на науку и технику; - на глобальные производственные отношения; - на развитие производительных сил на Земле.	Становление собственной материально-технической базы космонавтики. Участие в решении кризисных проблем. Эксперименты по взаимосвязи массы, энергии и информации. Создание космических производств для нужд человечества. Полет человека на Марс
		Международная интеграция производства. Развитие кризисов: - энергетического; - социально-экономического; - демографического; - морально-нравственного.	Решение информაციологических проблем и создание системы управления развитием цивилизации. Преодоление научного геоцентризма и социального эгоцентризма в отношении с природой и внутри общества.
ОБЩЕСТВО	Завершение передела территорий на земной поверхности. Раздел водного и воздушного пространства.	Превращение человечества в развитое общество надпланетного масштаба Опасный период в развитии цивилизации	
	Завершение этапа развития общества как силы планетного масштаба.		

гическому обеспечению, наблюдению природных явлений, прогнозированию стихийных бедствий, контролю за их последствиями.

Кроме задач сбора информации в процессе наблюдения, космические средства уже много лет решают задачи **передачи информации** (телеви-

Таблица 3.4.4

3-ий период	4-ый период	5-ый период
2050	2100	???
<p>Развитие космонавтики на собственной базе.</p> <p>Создание внеземных поселений.</p> <p>Освоение неракетных способов перемещения.</p> <p>Проникновение в четвертое измерение.</p> <p>Развитие единого космического хозяйства.</p>	<p>Развитие промышленности на астероидах, планетах и спутниках.</p> <p>Освоение энергии Солнца.</p> <p>Преодоление светового барьера.</p> <p>Создание новых способов обмена информацией.</p>	<p>Создание единой производительной силы, создающей природу в межзвездных масштабах.</p> <p>“Проникновение” в четвертое измерение.</p>
Развитие отношений с внеземными цивилизациями		Создание коммуникаций в рамках Галактики
Управление земной ноосферой.	Управление ноосферой Солнечной системы.	Управление ноосферой Галактики.
Развитие человечества как самоуправляемой, природоохранной и природотворяющей силы, как автоэволюционирующей цивилизации устойчивого развития		Объединение различных цивилизаций.
Развитие человечества в силу звёздного масштаба.		Включение человечества в силы межзвёздного масштаба
Преодоление информационного кризиса.		

ление, радиовещание, связь) и **навигационного обеспечения**, включая также аварийное спасение объектов и людей, терпящих бедствие.

Перечисленные задачи уже решаются информационными космическими системами, дальнейшее направление их развития бу-

дет идти в сторону улучшения качественного уровня и расширения диапазона требований.

В настоящее время ведутся экспериментальные работы по созданию **производственных систем** в космосе для осуществления технологических процессов на орбитах ИСЗ.

Актуальной является проблема создания ракетно-космических систем **транспортно-технического обеспечения** для очистки Земли от радиоактивных отходов, а вскоре и очистки самого околоземного космического пространства, где постепенно накапливается космический мусор.

Следующим новым (совершенно неосвоенным) направлением является **энергетическое**, развитие которого будет идти в интересах обеспечения солнечной энергией земных потребителей, а также создаваемых в космосе заводов, городов, лунных и напланетных поселений.

Развитие космонавтики не обходится без создания собственной инфраструктуры для решения **вспомогательных задач** транспортно-технического обеспечения, межспутниковой связи и навигации, проведения испытаний новой техники, очистки околоземного космического пространства и т.п.

Существует широкий спектр **научных задач**, направленных на разрешение фундаментальных загадок природы. Сюда можно отнести тайну появления жизни во

Вселенной. Или же постараться найти ответ на вопрос: «Были ли на Земле пришельцы?» Большой круг вопросов касается основ философии.

Систематизируя перечисленные и неупомянутые проблемы и решаемые космонавтикой задачи, можно попытаться разбить ее жизненный цикл на ряд этапов или периодов. Начальным **НУЛЕВЫМ** периодом можно считать предисторию космонавтики, когда она имела статус фантастической выдумки с теоретическими наработками, идеями далекого будущего и некоторыми экспериментальными проработками ракетной техники, как базы космонавтики. **ПУТИ РАЗВИТИЯ**, настоящее и будущее **ПРАКТИЧЕСКОЙ** космонавтики можно с определенной уверенностью разделить на **ПЯТЬ** периодов (табл.3.4.4).

Последний из приведенных — пятый период представляет уровень развития человечества как межзвездной силы. Сила такого масштаба явится не просто галактическим феноменом, полностью зависящим от живительной энергии той или иной звезды, но будет мощнейшей силой, создающей природу. Освоение Галактик потребует решения перечисленных выше проблем «СЕТИ» и глубоких преобразований заселяемых территорий, а может быть и переделки биологической природы людей. Человек станет «Богом», способным сделать и заселить Новую Землю. Здесь подразумевается гос-

подство не только над пространством, но и возможность преобразования новым мощным разумом пространственно-временного континуума, конструирование и создание новых планет и даже звездных миров. Это будет связано с реализацией закона взаимопереходов энергии и информации, лежащего в основе одной из гипотез, объясняющей рождение Вселенной большим взрывом.

Сегодня наши знания о природе неизмеримо больше по сравнению с теми, которыми располагали наши предки две тысячи лет назад, но они ничтожно малы по сравнению с тем, чем будут обладать наши потомки уже через несколько столетий. Поэтому даже самая безудержная фантазия окажется через тысячу лет, а вероятно и гораздо раньше, слишком скромной по сравнению с действительностью. Хотя сегодня, исходя из наших представлений о природе (конечно не для далеких потомков, а для самих себя), мы можем в некоторых общих чертах представить, каким могуществом будет обладать человечество в будущем. Напомним один из тезисов Циолковского К.Э.: «Нет конца разуму и совершенствованию человечества. Прогресс его вечен».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Авдеевский В.С., Успенский Г.Р.** Космическая индустрия – 2-е изд., – М., Машиностроение, 1989.

2. **Авиация и космонавтика.** / Ежемесячный журнал ВВС. – М., 1962-1993.

3. **Береговой Г.Т., Ярополов В.И., Баранецкий И.И., Высоканов В.А., Шатров Я.Т.** Справочник по безопасности космических полетов. – М., Машиностроение, 1989, 336.

4. **Братухин А.Г., Калачанов В.Д.** Научно-техническая продукция: организационные и экономические проблемы разработки. – М., Машиностроение, 1993, 320.

5. **Дементьев Г.П., Захаров А.Г., Казаров Ю.К.** Физико-технические основы создания и применения космических аппаратов. – М., Машиностроение, 1987.

6. **Земля и Вселенная.** / Научно-популярный журнал АН СССР и ВАГО, – М. 1965-1991; РАН и АГО, 1992-1996.

7. **Иванов Н.М., Лысенко Л.Н., Мартынов А.И.** Методы теории систем в задачах управления космическим аппаратом. – М., Машиностроение, 1981.

8. **Космическое оружие: дилемма безопасности.** / Под ред. Велихова Е.П., Сагдеева Р.З., Кокошина А.А. – М., Мир, 1986.

9. **Космонавтика:** Энциклопедия. – М., Советская энциклопедия, 1985.

10. **Матвеевский С.Ф.** Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов. – М., Машиностроение, 1987.

11. **Основы проектирования летательных аппаратов/транспортные системы.** / Под ред. Мишина В.П. – М., Машиностроение, 1985.

12. **Основы синтеза систем летательных аппаратов.** / Под ред. Лебедева А.А. – М., Машиностроение, 1987.

13. **Основы теории полета космических аппаратов.** / Под ред. Нарин-

манова Г.С. и Тихонравова М.К. – М., Машиностроение, 1972.

14. **Полтавец Г.А.** Методика оценки возможностей использования «космического лифта» для выведения полезной нагрузки на геостационарную орбиту. Сб. трудов «Механика космического полета». -М., МАИ, 1986.

15. **Попович П.Р., Скребушевский Б.С.** Баллистическое проектирование космических систем. – М., Машиностроение, 1987.

16. **Ракеты-носители.** Под общ. ред. проф. С.О.Осипова. – М., Воениздат, 1981.

17. **Системы** оборудования летательных аппаратов. Под ред. А.М.Матвеевко, В.И.Бекасова. – М., Машиностроение, 1986.

18. **Тарасов Е.В.** Космонавтика. – М., Машиностроение, 1977.

19. **Урсул А.Д.** Человечество, Земля, Вселенная.(Филос. проблемы космонавтики). – М., Мысль, 1977.

20. **Щеверов Д.Н.** Проектирование беспилотных ЛА (системотехника). – М., Машиностроение, 1978.

«Грандиозные вещи делаются грандиозными средствами.
Одна природа делает великое даром»

Герцен А.И.

ГЛАВА 4

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

4.1. СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Определенные возможности повышения эффективности выполнения всей совокупности технологических работ на стадии разработки большой технической системы создаются при использовании системного подхода к проблеме формирования и применения КТР при технологически ориентированном проектировании новых изделий [6].

Необходимость совершенствования методов формирования технологических частей проектов новых изделий при разработке БТС требует выявления и оценки взаимосвязей основных ее элементов с помощью декомпозиции системы. Как показано в работе [8], при постулировании принципа оптимальности в задачах оценки эффективности сложных систем и выбора путей ее повышения необходимо использовать как минимум три декомпозиции, — в нашей задаче следующие: конструкционная, материаловедческая, технологическая. Возросший удельный

вес влияния параметров, характеризующих свойства материалов, и, особенно, технологических параметров на обеспечение выходных характеристик конструктивных элементов ЛА обуславливает необходимость в процессе проектирования изделий рассматривать во взаимосвязи и приводить в должное соответствие качественные показатели, возможности и особенности применения конструкторских и технологических решений, с учетом свойств используемых материалов.

В авиации давно применяются понятия «конструктивно-силовая схема», «конструктивно-проектировочное решение», «конструктивно-технологическое решение» [1, 2]. И хотя встречаются разные трактовки этих понятий, по сути они направлены на объединение усилий разных специалистов: конструктора и прочниста, конструктора и проектировщика, конструктора и технолога. Отсутствие строгих или применение интуитивных определений затрудняет взаимодействие различных специалистов. Однако обеспечение идеальной технологичности наиболее дейст-

венно может быть реализовано только при такой организации процесса проектирования и изготовления изделий, при которой технолог и другие специалисты подключаются с самых ранних и даже предпроектных стадий ЖЦ.

С появлением наукоемких технологий потребовалось уточнить существовавшие определения, формализовать их с целью использования машинных языков проектирования. В работе [6] было предложено понятие «конструкторско-технологическое решение», при выработке формулировки которого использовался системный подход. Оно объединяет упомянутые три основных фактора (конструкция, материал, технология). По-существу это синтезированный базовый элемент, определяющий производственную технологичность изделий, который следует использовать для совершенствования методов формирования технологической части проектов новых изделий. КТР позволяют увязать и согласовать результаты творчества конструктора, прочниста, аэродинамика, технолога и других специалистов. Для этого заблаговременно ведется отработка и информационная фиксация конструкционного элемента (с учетом требований к конструктивному и техническому характеристикам объекта), материалов и технологических методов [6]:

Конструкторско-технологическое решение в общем случае представляет собой со-

вокупность конструкционных элементов проектируемого объекта, изготовляемого из определенных материалов или собираемого из определенных компонентов (деталей, агрегатов и т. п.), и конкретных технологических операций или процессов, обеспечивающих реализацию заданных требований.

В основу данного определения положен принцип совмещения [7]. Известно, что простое суммирование составляющих малоэффективно. Чтобы совмещение давало новое качество и существенно улучшало характеристики объекта требуется пересечение синтезируемых элементов. Действительно, из рис.4.1.1 видно, что КТР (оно выделено штриховкой) появляется в результате синтеза **конструкции**, удовлетворяющей заданным требованиям, и **материалов**, которые можно применять. Этот синтез реализуется с помощью **технологии**, использующей операции или процессы, которые осуществляются с помощью имеющихся или разрабатываемых технологических средств (оборудования, инструментов, оснастки и т. п.). В КТР «пересечение происходит на материале». Итогом реализации КТР является некоторый объект с желаемыми свойствами, сначала «на бумаге» и затем «в металле».

Таким образом, равноправными при совмещении являются три составляющие конструкторско-технологического решения:

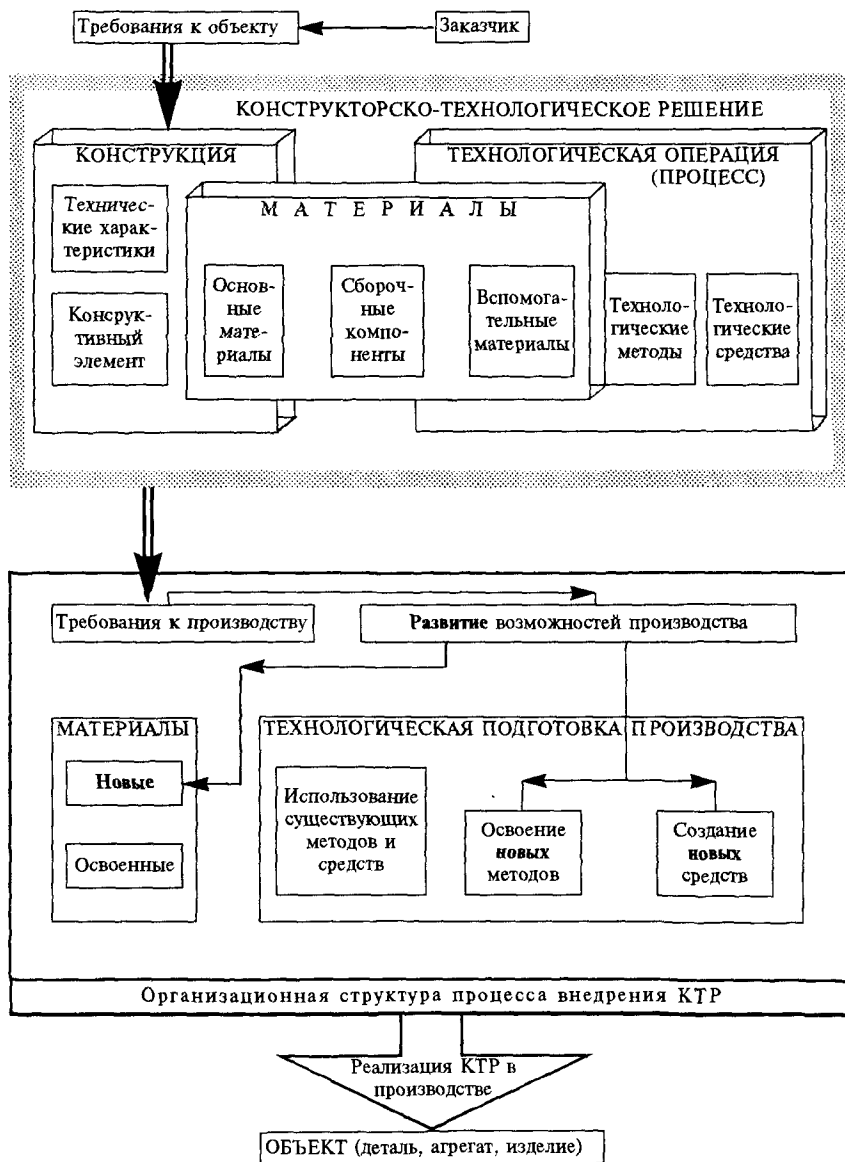


Рис. 4.1.1. Схема применения КТР при технологически ориентированном проектировании

1) конструкция, раскрывающая конструктивное исполнение элемента (форма, геометрические соотношения, связи и т. п.) и соответствующие технические характеристики (вес, прочность, герметичность и т. п.) объекта;

2) материалы (основные или вспомогательные материалы, используемые для формообразования, изменения поверхностных и внутренних свойств изготавливаемых деталей, или входящие детали, агрегаты, блоки при сборке изделия);

3) технология, включающая технологические средства и методы.

Замена любой из трех составляющих в большинстве случаев изменяет характер совмещения и порождает принципиально новое КТР. Одновременное применение новейших достижений теории и практики конструирования, материаловедения и технологии позволяет говорить о наукоемких технологиях. В настоящее время технологичность изделий, как правило, пытаются обеспечить на производстве отработкой уже принятых конструкторских решений – в основном, за счет поиска наиболее подходящей технологии из числа освоенных и, в меньшей степени, за счет изменения самого решения конструктора (чаще всего в тупиковых ситуациях). При этом происходят потери потенциально перспективных решений, так как некоторые весьма рациональные, но поздно найденные в результате технологического анализа реше-

ния вообще не реализуются в данном изделии из-за отсутствия возможности или времени на радикальную переработку проекта.

Рассматриваемую проблему повышения технологичности можно условно разделить на две подпроблемы: формирование и применение КТР. Системный анализ предложенного подхода к трактовке конструкторско-технологических решений показывает сложность их **формирования**, включающего следующие этапы: разработка (поиск конструкторского и технологического решений, их синтез), выбор формы представления, определение необходимого объема информации, оценка эффективности, классификация, формализованное описание. Процесс **применения** (внедрения) КТР, включает:

1) **технологически ориентированное проектирование** изделия БТС и его элементов на базе типовых КТР;

2) **параллельную технологическую подготовку производства** с учетом технологических средств, представленных в КТР;

3) **изготовление изделий** (реализация КТР).

Процесс применения множества сформированных КТР, т.е. «технология» их использования, в свою очередь, в значительной мере определяется не только многообразием КТР, но и степенью их проработки, а также формой и способом представления в базе данных, подготовленность КБ и завода к сотрудничеству. Много-

целевое предназначение КТР для разных специалистов предъявляет высокие требования к четкости информационного отображения предлагаемых решений, их работоспособности и практической реализуемости. Удовлетворить эти требования можно, лишь используя системный подход.

4.2. КЛАССИФИКАЦИЯ КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В зависимости от сложности создаваемого объекта можно выявить разную степень сложности КТР. С указанной точки зрения объекты представляются (конструкционная или техническая декомпозиция БТС на рис.4.2.1) в виде последовательных уровней от БТС до деталей – «сверху-вниз», т.е. в направлении процесса проектирования. КТР, стоящее на более высоком уровне, «впитывает» в себя все решения предыдущих уровней. Степени сложности КТР названы градациями {Gr} (от grading – градуирование, классификация), которые формируются «снизу-вверх», в направлении процесса изготовления.

Для различных иерархических уровней объекта в определении КТР под «материалом» подразумеваются разные исходные компоненты. Так, на уровнях {Gr-1} и {Gr-2} приведенной декомпозиции материалом, например, являются сталь, дюралюминий, титан

в виде заготовок (лист, круглый пруток, шестигранный пруток, прокат и т.п.). На уровне {Gr-3}, когда речь идет об узле (сборочной единице), как правило, представляющем жесткое соединение деталей, существенное значение имеет исходный основной материал этих деталей, так как им определяется прочность соединения, образованного сваркой, пайкой, склейкой и т. п. Здесь также добавляется вспомогательный материал-соединитель: материалы электрода и флюса, припой и клея. На уровне {Gr-4} сборка агрегатов производится с помощью как разъемных, так и неразъемных соединений. Поэтому здесь в качестве «материала» условно выступают детали, подаваемые на сборку, а «вспомогательным материалом» являются крепежные элементы (болты, гайки и т. п.). По аналогии с уровнем {Gr-4} могут рассматриваться иерархические уровни {Gr-5}, {Gr-6} и {Gr-7}, при переходе на которые происходит постепенное укрупнение исходных «полуфабрикатов-материалов» и сборочных единиц. На уровнях БТС и комплекса элементы объединяются по функциональному признаку.

Создание массива КТР предусматривает ранжирование их по переделам (заготовительным, механообрабатывающим, механосборочным и др.). Поскольку каждый передел характеризуется применением специфических технологических методов, операций и

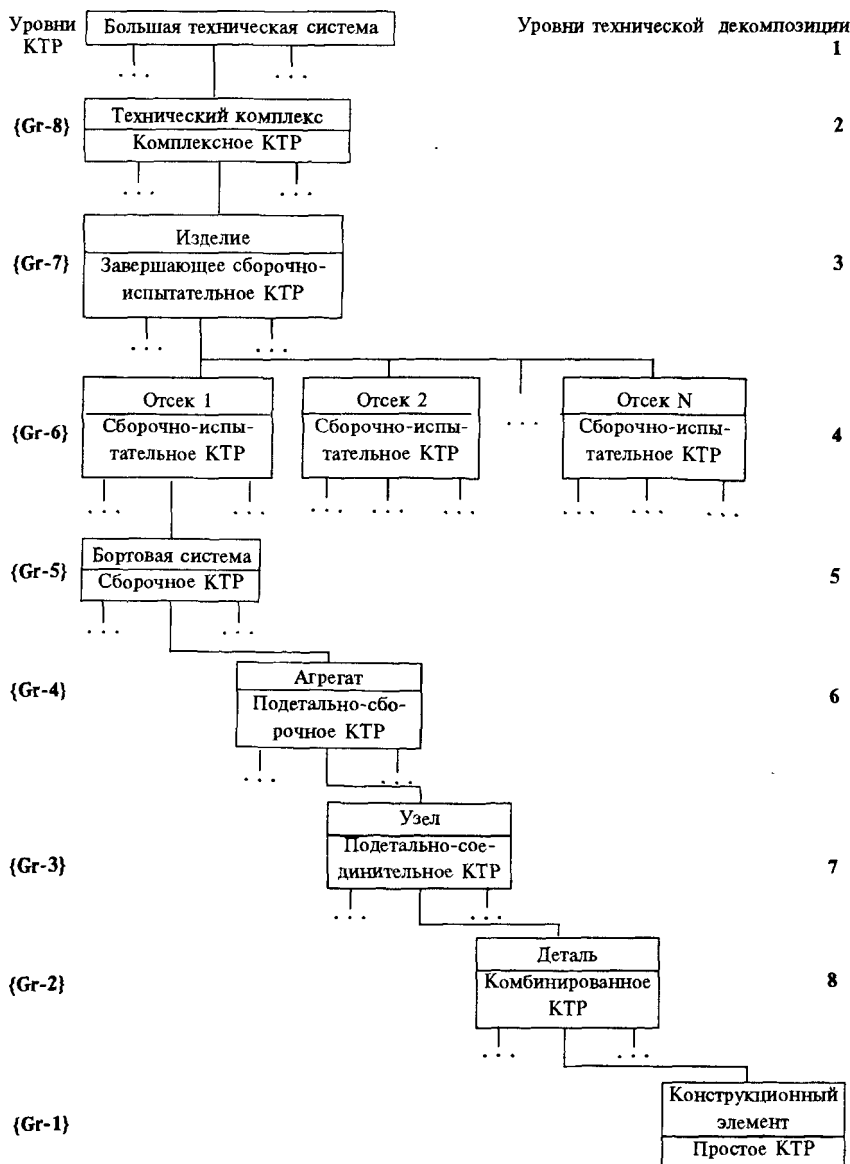


Рис. 4.2.1. Классификационные уровни конструкторско-технологических решений на основе технической декомпозиции БТС

процессов, оборудования и средств оснащения, постольку для систематизации, анализа, разработки и применения конструкторско-технологических решений всё их множество должно быть ранжировано от заготовительных процессов к сборочным и упорядочено в пределах каждого передела (и конкретных, относящихся к нему технологических методов)

В соответствии с конструкционной декомпозицией предлагается следующая иерархическая классификация КТР (см. рис.4.2.1):

1. **Простые КТР {Gr-1}**, предназначенные для получения заданных конструктивных элементов детали (с учетом требований к размерам, точности, чистоте поверхности и др.) из выбранного материала с помощью соответствующих технологических операций, использующих необходимые инструменты, оборудование и т. п. В результате реализации простых КТР происходит формирование (сверление, фрезерование, шлифовка и т. п.) одного или одновременно нескольких конструктивных элементов детали (или нескольких деталей). Простые КТР могут быть направлены на изменение внутренних или внешних свойств части детали либо всей детали, например с помощью закалки, отжига и т. д., а также на формирование заготовки детали (ковка, литье, нарезание профиля и т. п.).

2. **Комбинированные КТР {Gr-2}**, представляющие собой сочетание

простых КТР или использующие несколько разнородных материалов. Данные КТР позволяют получить деталь в результате объединения нескольких простых КТР, например, путем механической обработки заготовки на токарном станке, шлифовкой и закалкой. Примером использования нескольких материалов могут быть КТР, технологическая часть которых предусматривает хромирование, никелирование, окраску и т.п. Другими примерами комбинированных КТР являются решения, использующие операции измерения и контроля заданных характеристик детали, ее центровки и т.п. К этому виду КТР относятся также решения, связанные с хранением и транспортировкой деталей, такие как покрытие сохраняющей смазкой, упаковка и т.п. В результате реализации такого КТР получается изготовленная и прошедшая необходимый контроль деталь, подготовленная для соединения и сборки или для хранения и отправки.

3. **Подетально-соединительные КТР {Gr-3}**, обеспечивающие с помощью крепежных деталей сборку или неразъемное соединение деталей в узел методами склейки, пайки, сварки и т. д.

4. **Подетально-сборочные КТР {Gr-4}**, представляющие в конструктивном плане упорядоченную совокупность нескольких деталей и соединений, подборок и сборочных единиц, а в технологическом плане объединяющие процес-

сы и операции сборки, контроля, испытаний и доводки агрегата.

5. **Сборочные КТР {Gr-5}**, позволяющие:

а) собрать из агрегатов и деталей функциональную бортовую систему (например, систему терморегулирования, электропитания и т.п.);

б) обеспечить ее проверку на степень удовлетворения заданному уровню критерия эффективности, требуемой надежности и соответствие особым условиям эксплуатации;

в) провести при необходимости доводку характеристик бортовой системы до требуемых по заданию величин.

6. **Сборочно-испытательные КТР {Gr-6}**, обеспечивающие создание и заводские испытания крупных составляющих частей изделия (блоков, ступеней, отсеков и т.п.) в условиях предприятия-изготовителя с последующей (после испытаний) разборкой, транспортировкой и сборкой в заданном месте (для крупногабаритных и массивных частей).

7. **Завершающие сборочно-испытательные КТР уровня {Gr-7}**, позволяющие получить готовое изделие путем сборки его из отдельных частей (модулей, отсеков, блоков, ступеней), проверки и подготовки к эксплуатации. В результате реализации данного КТР происходит переход от производственного этапа к эксплуатационному.

8. **Комплексное КТР {Gr-7}** реализуется внезаводскими техноло-

гическими операциями, например, при сборке в космосе из шести модулей орбитальной станции «Мир» применялись специфические технологии.

Для учета фактора времени целесообразно КТР разделять на **существующие, требуемые и перспективные**. «Существующие КТР», то есть полученные ранее и апробированные в процессе создания различных объектов (изделий, агрегатов, деталей), могут использоваться и в новых проектах. При разработке нового изделия БТС возникает необходимость в создании конкретного «требуемого КТР» для разрешения тех или иных противоречий (решения новых задач, обеспечения новых функций, улучшения характеристик «существующих КТР»). В процессе развития конструкторских идей, с появлением улучшенных материалов, по мере разработки оригинальных технологических процессов на основе новых физических принципов должны формироваться «перспективные КТР», которые создадут новые возможности для технологически ориентированного проектирования будущих изделий БТС.

Существенной методологической особенностью предлагаемого системного подхода является создание конструкторско-технологического классификатора для формирования банка КТР и ряда соподчиненных и взаимосвязанных классификаторов КТР раз-

личных уровней и соответствующих средств технологического оснащения (СТО), что позволит вести подготовку производства к освоению новых изделий с учетом влияния принятых КТР на выбор основного оборудования и технологической оснастки.

Для фиксации необходимого объема информации о КТР (например, в каталогах, информационных картах, различных носителях информации для ЭВМ и т.п.) следует сформулировать ряд требований, вытекающих из определения КТР и задач их разнообразного использования. Состав необходимой информации о КТР (в информационных картах, на различных носителях для ЭВМ) вытекает из определения КТР и задач их разнообразного использования. При этом учитываются:

- данные по технологическим ограничениям применения данного КТР (габаритным, температурным, конфигурационным и т. д.);

- технологические возможности конструирования на основе данного КТР (типовые конструкционные элементы или конструкторские требования, которые могут быть реализованы данным технологическим методом);

- количественные показатели, характеризующие требования к конструкции со стороны функциональных задач и со стороны технологических операций (процессов);

- диапазоны возможных условий применения КТР;

- исходные параметры для оценки эффективности КТР и результаты такой оценки;

- информацию о технологической обеспеченности КТР, т.е. уровень освоения технологии в производстве, требуемое оборудование и оснащение.

Реализация принципов формирования «перспективных КТР» в широком масштабе требует изменения подхода к формированию тематики и выполнению НИОКР по решению в отрасли технологических проблем. Это рациональный путь внедрения новых наукоемких технологий. Во главу угла ставится цель – завершать технологические разработки не только принципиальными решениями, но и отработанными типовыми решениями по реализации новой технологии в элементах конструкции. Постановка такой цели вполне оправдана, так как доведение технологических разработок до КТР, соответствующих указанным требованиям, существенно сокращает разрыв между созданием нового технологического процесса и его оперативной реализацией в конструкции, что до настоящего времени остается проблематичным.

Конструкторско-технологические решения, подготовленные с учетом указанных требований, смогут стать для конструктора руководством при проектировании, сокращая время принятия решения, в том числе, во многих случаях, исключая необходимость проведения эксперимента и сводя

к минимуму затраты на последующее обеспечение технологичности. Таким образом, появление массива КТР создает предпосылки для переноса на предпроектные стадии усилий технологов и конструкторов по выработке оптимальных совместных типовых решений взамен традиционного порядка раздельно-последовательной отработки на технологичность.

4.3. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТРИБОМЕХАНИЧЕСКИХ КТР

Системотехника была создана для решения глобальных проблем в больших технических системах. Однако оказалось, что применение системного анализа к микрообъектам тоже дает ощутимые результаты. Многие КТР на иерархическом уровне в технической декомпозиции представляют узлы трения, которое обусловлено физикохимическим взаимодействием движущихся относительно друг друга объектов. Одним из первых, кто начал системные исследования в этой области для решения проблем трения, изнашивания и смазки, был Хорст Чихос [17].

В качестве исследуемой системы Чихос [17] предложил рассматривать структуру, включающую первый, второй элементы машины и промежуточный объем. В трибомеханической системе он выделяет (первые два объединены в пару

трения) следующие составные части:

- 1) первый трибоэлемент машины,
- 2) второй трибоэлемент машины,
- 3) смазка,
- 4) окружающая среда.

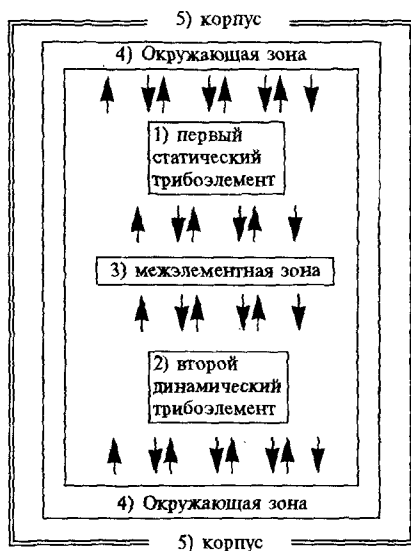


Рис. 4.3.1. Схема конструкторско-технологического решения (трибомеханический узел)

Сделаем следующий шаг в системном анализе узлов трения, рассматривая в составе изделия (самолета, ракеты и т.п.) **трибомеханическое КТР**, включающее пять элементов (рис.4.3.1):

1 – статический (фиксированный фактически или условно) трибоэлемент,

2 — динамический (движущийся относительно первого) трибоэлемент,

3 — межэлементная зона (не обязательно смазка),

4 — окружающая зона,

5 — корпус, ограничивающий связь с внешней средой.

Это формализация простейшего варианта трибомеханического КТР. Более общий случай представляет, например, хорошо известный шарикоподшипник. Действительно, в составе такого КТР имеются несколько трибоэлементов: внешнее кольцо, внутреннее кольцо, множество шариков, обойма, корпус.

Легко заметить появление в предлагаемом варианте (по сравнению с вариантом Чихоса) принципиально нового элемента — корпуса с изолирующими прокладками для защиты от воздействия внешней среды (вакуум, пыль, коррозирующие вещества,...). Эта схема реально существует в технике. Например, многие движущиеся пары на КА герметично отделены от внешней среды. Примером межэлементной зоны без смазки могут служить газовые опоры подшипников гироскопов на ракетах.

С позиций системного анализа любое трибомеханическое КТР (узел трения) необходимо исследовать с учетом многих аспектов:

1) состава и характера взаимодействия между элементами;

2) свойств (и их изменения) элементов;

3) выполняемых функций по передаче в процессе движения энергии, вещества, информации;

4) характеристик процесса функционирования (тип движения, нагрузка, скорость, температура и т.п.);

5) изменения структуры узла и его триботехнических характеристик (износ, потери энергии и материала, загрязнение смазки и т.д.).

Только комплексный подход при рассмотрении всех основных вышеприведенных аспектов позволяет не пропустить важные факторы, влияющие на работоспособность узлов и машины в целом. При анализе и оценке эффективности КТР для их сравнения следует учитывать, что каждое КТР входит в три системы, которыми являются:

1) система автоматизированного проектирования, где КТР присутствует в базе данных в качестве некоторого информационного блока;

2) технологическая система, изготовляющая и эксплуатирующая КТР;

3) большая техническая система, базовым элементом которой является техническое изделие (ЛИА, содержащий КТР), в нем реализуются функции КТР и появляется эффект от их применения.

Таким образом, применение системного подхода при создании трибомеханических КТР крайне необходимо. Поэтому остановимся на определении места и роли этих КТР в технологической сис-

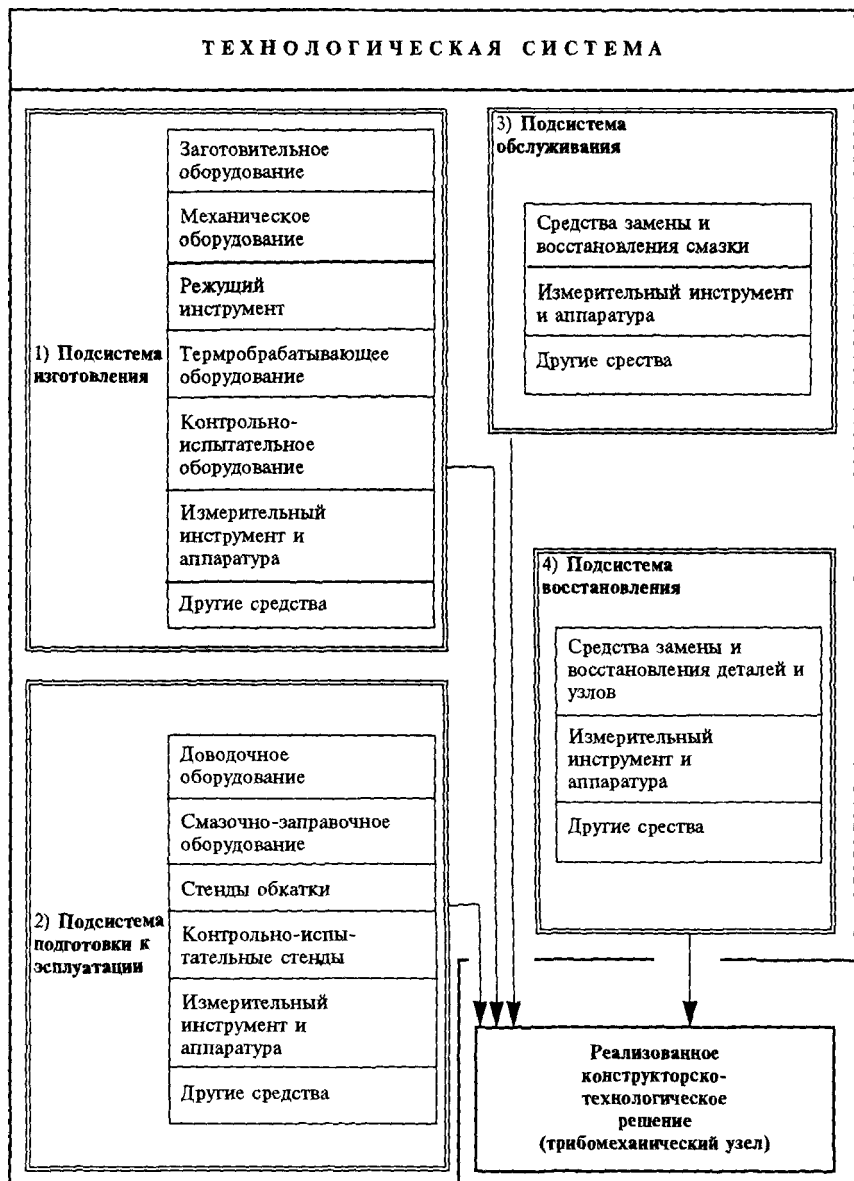


Рис. 4.3.2. Структурная схема технологической системы и ее выходы на трибомеханическое конструкторско-технологическое решение

теме, с учетом специфики их трибомеханических свойств и функций. Такая система состоит из четырех подсистем (рис.4.3.2). Они «обслуживают» КТР на всех этапах ЖЦ.

В процессе функционирования (в составе изделия) трибомеханического узла (КТР), в нем происходят существенные изменения:

а) трущиеся поверхности изнашиваются, меняя геометрические, топографические, физические, химические свойства;

б) в межэлементной зоне изменяется состав и характеристики наполнителя (газовый, жидкий, пластический с изменяющимися состояниями);

в) происходит обмен молекулами и частицами между телами и наполнителем;

г) при отсутствии герметичного корпуса (частный случай) происходит обмен молекулами и частицами с окружающей средой.

В результате непрерывного процесса существенных изменений свойств трибомеханического узла, называемых износом, может произойти отказ или заметное ухудшение выходных параметров. Поэтому **проблема уменьшения износа трущихся деталей и узлов** всегда была актуальной для проектантов, конструкторов и эксплуатантов изделий больших технических систем. Практически осязаемое уменьшение износа получило название эффекта «безызнаемости», который подробно описан в работах [3, 4]. Одним из перспектив-

ных методов повышения износостойкости трущихся деталей узлов машин и механизмов является реализация этого эффекта [9-16]. Суть мероприятий заключается в создании особого режима трения материалов, при котором в межэлементной зоне контакта самопроизвольно образуется в наполнителе (смазка) неокисляющаяся, неспособная наклепываться тонкая металлическая пленка с низким сопротивлением сдвигу. На ней, в свою очередь, образуется полимерная пленка, которая создает дополнительный антифрикционный слой. В режиме «безызнаемого» трения самопроизвольно возникают следующие автокомпенсационные процессы [9]:

— снижение давления в контакте и уменьшение трения,

— компенсация последствий от деформирования поверхностного слоя при трении и снижении сопротивления сдвигу,

— компенсация износа (благодаря использованию электрических явлений для удержания диспергированных частиц металла в зоне фрикционного контакта и последующего осаждения их на поверхность трения),

— предотвращение окисления металла при трении,

— образование в межэлементной зоне защитной полимерной пленки.

Для практической реализации и использования этих полезных процессов на трущиеся поверхности наносятся специальные по-

крытия, применяются металлоплакирующие присадки, особым способом осуществляется приработка поверхностей [10-16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадягин А.А., Егер С.М., Мишин В.Ф., Склянский Ф.И., Фомин Н.А. Проектирование самолетов. М., Машиностроение, 1972, 516.
2. Беляков И.Т., Борисов Ю.Д. Технологические проблемы проектирования летательных аппаратов. М., Машиностроение, 1978, 240.
3. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М., Машиностроение, 1985, 424.
4. Гаркунов Д.Н., Крагельский И.В., Поляков А.А. Атомарный перенос при трении // Научное открытие N 41 // М., - «Бюллетень изобретений», 1961.
5. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения / Под общ. ред. Гаркунова Д.Н./ М., Машиностроение, 1982, 207.
6. Исаченко В.А., Полтавец Г.А. Системный подход к проблеме формирования и применения конструкторско-технологических решений// Труды XIX чтений К.Э. Циолковского// Космонавтика и НТП. М., ИИЕТ АН СССР, 1985.
7. Касаев К.С. О свойствах объектов с позиций синергизма. М., «Вестник машиностроения», 1991, N3, 7-8.
8. Полтавец Г.А. К вопросу применения принципа оптимальности Беллмана в системном анализе. - В сб.: «Адаптация, моделирование и диагностика систем». Куйбышев, КуАИ, 1980, 21-26.
9. Прокопенко А.К. Избирательный перенос в узлах трения машин бытового назначения. Монография. Л., Легпромбытгиздат, 1987, 104.
10. Прокопенко А.К., Гаркунов Д.Н., Симаков Ю.С., Бурмуклов Ф.Х., Голина С.И. Иванов В.Ф., Состав для нанесения покрытий. Ав/св.1203126// «Бюллетень изобретений», 1986, N1.
11. Прокопенко А.К., Гаркунов Д.Н., Быстров В.Н., Титов В.А., Ивочкина Н.В., Францев В.Н., Способ приработки сопрягаемых поверхностей трения. Ав/св.1282960// «Бюллетень изобретений», 1987, N2.
12. Прокопенко А.К. и др.(всего 13), Металлоплакирующая присадка. Ав/св.1363851// «Бюллетень изобретений», 1987, N48.
13. Прокопенко А.К. и др.(всего 13) Металлоплакирующая присадка. Ав/св.1496249// «Бюллетень изобретений», 1989, N27.
14. Прокопенко А.К., и др. Состав для приработки деталей узла трения. Ав/св.1622671// «Бюллетень изобретений», 1991, N3.
15. Прокопенко А.К., Смирнов В.Н., Поспелов М.В., Голубев А.П., Состав для нанесения покрытий натиранием. Ав/св.1623232// «Бюллетень изобретений», 1990.
16. Прокопенко А.К., Гаркунов Д.Н., Юдин В.М., Полянин Б.А., Ставровский. Топливная композиция. Ав/св.1499906// «Бюллетень изобретений», 1991.
17. Чихос Х. Системный анализ в триботике. М., Мир, 1982, 352.

«Самое важное для государственного деятеля – чтобы он не считал важными те дела, которые важности не представляют.»

Шарль де Голь

ГЛАВА 5

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

5.1. КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Для иллюстрации возможностей практического использования описанных выше методов, в частности, для решения оптимизационных задач в БТС на основе принципов оптимизации и декомпозиции, предлагается исследовать систему транспортно-технического обеспечения (ТТО) космических объектов (КО) на орбите. Эта система предназначена для выведения КО на заданные орбиты, увеличения срока активного существования, повышения эффективности, надежности и безопасности эксплуатации обслуживаемых КО. Система ТТО включает в себя средства выведения и транспортно-космическую систему.

Существует несколько уровней сложности систем ТТО [4-6]. На уровне {Gen-1} (первое поколение) средствами ракетно-космической техники решались про-

стейшие задачи по выведению ИСЗ на низкие опорные и рабочие орбиты.

На уровне {Gen-2} были решены задачи перевода ИСЗ с низких опорных на высокие рабочие орбиты, а также на межпланетные траектории.

Для решения этих задач были созданы средства выведения КА, включающие наземный стартовый комплекс (СК), комплексы ракет-носителей (РН) и межорбитальных космических буксиров (МКБ) или разгонных ступеней (РС).

После появления в 1971 г. долговременных орбитальных станций (ДОС) возникла потребность создания транспортно-космических систем (ТКС), которые предназначались для повышения эффективности и увеличения сроков эксплуатации ДОС путем решения с помощью транспортных космических аппаратов (ТКА) следующих задач:

– доставка на станцию и возвращение на Землю экипажей посещения;

– доставка и смена экипажей основных экспедиций постоянно действующих ДОС;

– материально-техническое обеспечение (МТО) станций, т.е. снабжение их расходными компонентами, запчастями и т.п.;

– регулярное и оперативное возвращение на Землю результатов деятельности на орбите.

Для решения этих задач применительно к станциям типа «Салют» был создан комплекс грузопассажирских КА («Союз»), а также **спускаемых грузовых капсул (СГК)**. Система ТТО вышла на новый уровень сложности {Gen-3}.

В настоящее время функционирует система ТТО уровня {Gen-4}. Она появилась, когда по мере усложнения станций («Салют-6», «Салют-7», «Мир») и расширения круга решаемых ими задач заметно возросли требования и были выдвинуты новые задачи ТТО:

– увеличение грузопотока для МТО;

– техническое обслуживание (профилактика, ремонт, замена блоков);

– проведение монтажно-сборочных работ (солнечные батареи, радиоантенны, исследовательская аппаратура);

– сборка многоблочных ДОС.

Это потребовало модификации грузопассажирских ТКА («Союз-Т», «Союз-ТМ») и создания грузовых («Прогресс», «Прогресс-М», УТКС) кораблей.

После включения с 1995 года для ТТО станции «Мир» много-

разовой орбитальной ступени «Атлантис» (полёты по программам STS-71, STS-74, STS-76, STS-79, STS-81 и STS-84) транспортно-космическая система стала международной. В дальнейшем планировалось включение в систему ТТО орбитального корабля «Буран».

Учитывая экстремальные условия космических полетов, экспериментально прорабатываются задачи аварийного спасения и срочного возвращения экипажей на Землю.

Перечень основных и частных задач ТТО приведен в табл.5.1.1. Обслуживаемыми объектами являются ДОС, пилотируемые космические корабли (КК) и автоматические космические аппараты (АКА). Для ТКА введены следующие обозначения (риску 5.1.1): П – пассажирский, ГП – грузопассажирский, ГАН – грузовой автоматический невозвращаемый, ГВ – грузовой возвращаемый, ГНК – грузовой невозвращаемый контейнер, ГВК – грузовой возвращаемый контейнер, АС – аварийно-спасательный, ТО – технического обслуживания.

На следующем уровне {Gen-5} в перспективе потребуется применение ТКС для решения экологических проблем путем решения следующих задач:

– очистка приземного космического пространства от прекративших функционирование ИСЗ, фрагментов и обломков различных КО;

– удаление с Земли в далекое космическое пространство или на

Таблица 5.1.1

Задачи транспортно-технического обеспечения космических аппаратов

Основная задача	Частные задачи	Обслуживаемые объекты		
		3	4	5
1	2	ДОС	КК	АКА
Выведение и доставка космических объектов на низкие орбиты	Вывод одиночных КА		+	+
	Вывод РС и МКБ			+
	Вывод ДОС	+		
	Вывод модулей и блоков	+		
	Доставка СГК	+		
	Доставка модулей и блоков	+		
Транспортировка в космосе ("Орбита" - Орбита)	Перевод КА с низких опорных орбит на рабочие			+
	Перевод КА на межпланетные траектории			+
	Транспортировка блоков на орбиту сборки	+		
	Транспортировка грузов с базы-станции	+		
	Буксировка грузовых контейнеров	+		
	Доставка грузов с КА на базу-станцию	+		+
	Возвращение КА с рабочих орбит на опорные			+
	Удаление отработавших КА, частей РН и т. п.			+
Пассажирские перевозки	Доставка экипажа с Земли на посещаемую ДОС	+		
	Доставка с Земли и смена экипажа ДОС	+		
	Возвращение экипажа с ДОС на Землю	+		
	Доставка экипажа с орбитальной базовой ДОС на посещаемую станцию	+		
	Доставка с базовой ДОС и смена экипажа обслуживаемой обитаемой станции	+		
	Доставка обслуживающего персонала для проведения работ и мероприятий по техническому обеспечению станций и автоматических КА	+		+
	Возвращение экипажа с обслуживаемой станции или с автоматического КА на базу-станцию	+		+
Материально-техническое обеспечение	Доставка расходных компонентов обеспечивающих бортовых систем, спецматериалов и других сухих грузов	+		
	Доставка газообразных и жидких компонентов в баках, баллонах и т. п.	+		
	Заправка топливом и другими компонентами	+		
Возвращение грузов на Землю	Оперативная доставка специнформации	+	+	+
	Доставка грузов с орбиты на Землю	+	+	+
	Возвращение КА (АКА, обитаемых модулей и кораблей, блоков ДОС)	+	+	+

Окончание таблицы 5.1.1

1	2	3	4	5
Техническое обеспечение КО на орбите	Профилактические и регламентные работы	+		+
	Проведение ремонтно-восстановительных работ	+		+
	Замена отказавших (отработавших) элементов	+		+
	Осуществление сборки и монтажа блочных ДОС	+		
	Дооснащение ДОС солнечными батареями, антеннами и т. п.	+		
	Проверка и обслуживание доставленных КА перед отправкой на рабочие орбиты			
Проведение спасательных операций	Оперативное развертывание и восстановление орбитальных систем	+		+
	Отработка международных операций	+	+	
	Спасение космонавтов и экипажей из аварийных объектов	+	+	
	Спасение космонавтов из открытого космоса	+	+	
Очистка приземного космического пространства	Неотложная медицинская помощь	+	+	
	Удаление отработавших КО	+		+
	Сбор фрагментов и обломков	+		+
	Перевод КО на безопасные орбиты			+
Вывоз с Земли вредных отходов	Ликвидация радиоактивных КО			+
	Удаление радиоактивных отходов АЭС	Обслуживание наземных объектов		
	Удаление ядерных боезарядов			
Уничтожение космического оружия				
	Уничтожение бактериологического оружия			
	Удаление отходов промышленности			

Солнце радиоактивных отходов атомных электростанций (АЭС), боезарядов (ядерных, химических, бактериологических) оружия массового поражения, а также вредных отходов промышленного производства. Для этого можно будет включать в систему ТТО уничтожаемые по мирным договорам боевые ракеты, превратив их после модернизации в транспортные средства.

Дальнейшую перспективу развития и усложнения системы ТТО

можно увязать с созданием лунных баз (**Gen-6**), а также баз-станций на Марсе (**Gen-7**) и других объектах Солнечной системы, в частности на астероидах.

На рис.5.1.1 и 5.1.2 представлены различные варианты декомпозиции системы ТТО и ее составляющих. В качестве летательных аппаратов могут использоваться одноразовые или многоразовые **транспортно-космические корабли (ТКК)**, представляющие объединения или одноразовых РН и ТКА,

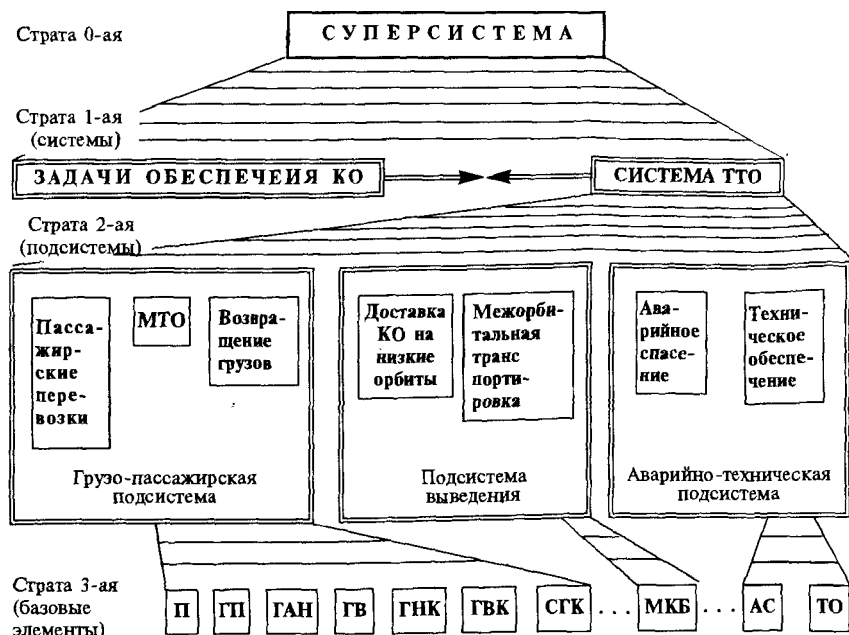


Рис. 5.1.1. Стратегические уровни целевой декомпозиции задач транспортно-технического обеспечения космических объектов

или многоразовых разгонной (РС) и орбитальной ступеней (ОС) либо же одноразовых первых ступеней и многоразовой последней, как, например, в американском МТКК «Спейс шаттл» и в советском МТКК «Энергия»+«Буран».

Учитывая сложность системы ТТО, принятие решений представляется весьма трудной процедурой (рис.5.1.3), поэтому здесь важно оценивать оба пути усложнения, как за счет создания новых базовых элементов, так и путем повышения их эффективности [4,6]. Кардинальным моментом при этом является выбор наи-

лучших КТР [3]. Поскольку КТР является комплексным решением конструктора, материаловеда и технолога, представляется насущным определение влияния параметров этих решений на характеристики КА в целом. В первом приближении можно полагать, что при анализе КТР конкретной детали (или узла) выбранный вариант конструкции формирует ее габариты и вес, материал влияет на прочность и вес, технология определяет стоимость детали. Все три фактора примерно в равной степени влияют на надежность. Учитывая противоречивость стремлений

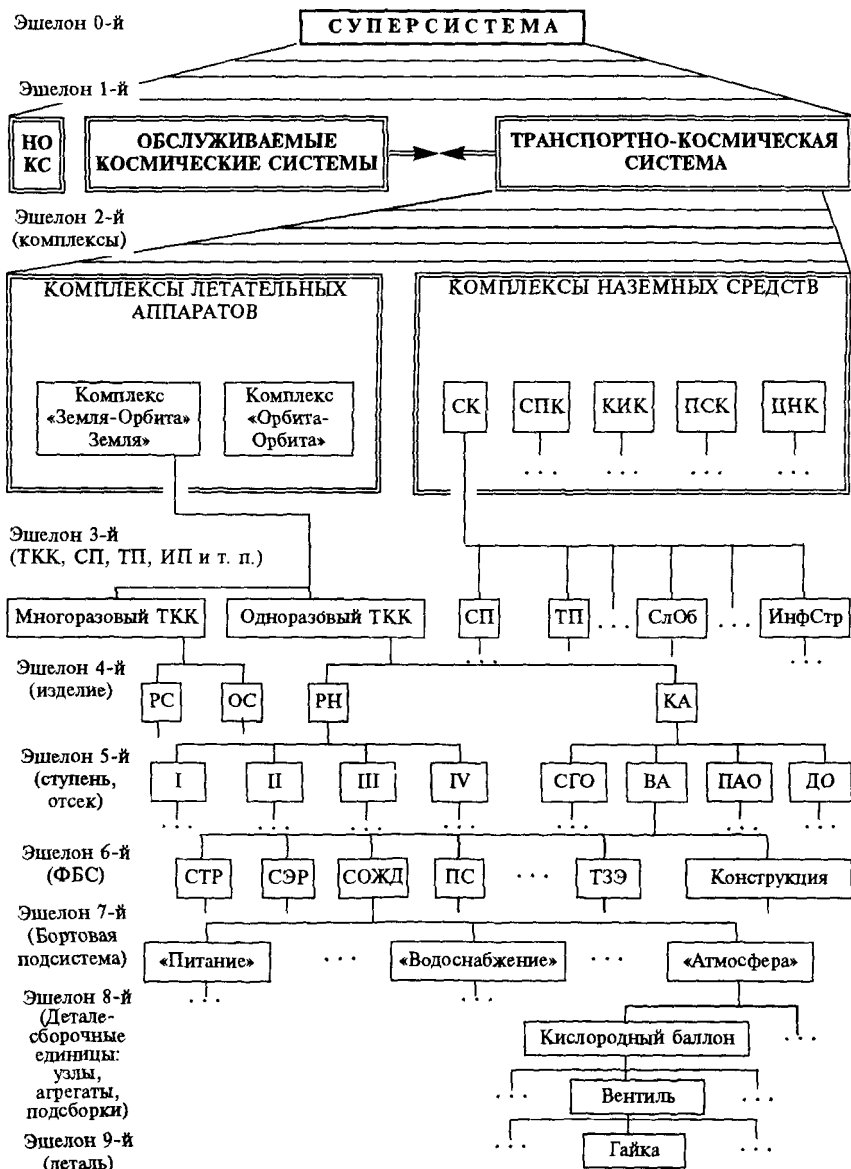


Рис. 5.1.2. Техническая декомпозиция (эшелонирование) транспортно-космической системы

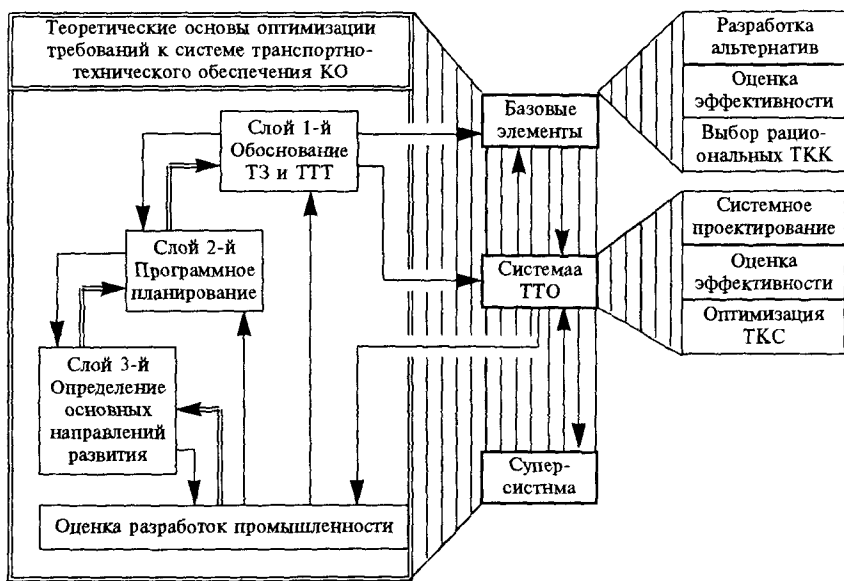


Рис. 5.1.3. Многослойная схема принятия решений

увеличить надежность при одновременном уменьшении веса и стоимости, будем оценивать разные варианты КТР по их влиянию на критерии эффективности космических аппаратов и систем.

В данной главе демонстрируются методики и модели увязки решений, получаемых на разных уровнях иерархии [3-6]. Наш подход будет состоять в следующем. Из множества КА различного целевого назначения возьмем в качестве примера транспортный космический аппарат. Это упрощает задачу, поскольку его полезная нагрузка не влияет на стоимость и надежность КА в целом. При изготовлении ТКА могут быть использованы несколько вариантов КТР i -ых де-

талей (агрегатов) бортовых систем и конструкции, отличающихся между собой по весу (G_i), стоимости (C_i) и надежности (p_i), но обеспечивающих одинаковые показатели всех остальных характеристик. Выбор конкретного КТР по определенному агрегату или детали можно оценить только по критериям всего ТКА. Однако для этого потребуются рассматриваемые ниже методики учета места и характера функционирования агрегата, влияния его показателей (G_i, C_i, p_i) на основные характеристики ТКА, определяющие его эффективность: вес ($G_{\text{ТКА}}$), стоимость ($C_{\text{ТКА}}$) и надежность ($p_{\text{ТКА}}$).

Существующая практика проектирования показывает, что многие

вопросы, особенно те, которые связаны с принятием технологических решений и выбором материала требуют проведения экономической оценки, которая часто проводится на качественном уровне на основании опыта и интуиции проектанта. Это приводит к тому, что на поздних этапах проектирования и в процессе серийного производства появляются значительные изменения в конструкции, направленные на улучшение определенных параметров. Они влекут замену материала, технологической документации, переделку оснастки и др. Эти изменения приводят к существенным дополнительным затратам. Поэтому, чем позднее (по этапам жизненного цикла) осуществляются изменения в КТР, тем дороже они обходятся. Следовательно, чем позднее внесено изменение в КТР, тем меньше будет экономическая эффективность от такого совершенствования.

Выбор КТР при проектировании ЛА является ответственным этапом еще и потому, что принятые конструктором решения ориентируют технологов на совершенствование определенных методов и способов изготовления конструкции, т.е. принятые КТР определяют и направления совершенствования технологий, пути технологической подготовки производства [1-3].

Разработка и отработка КТР требует времени и денег. Самую хорошую деталь конструкции в принципе можно улучшить, затратив на это значительное время,

проводя эксперименты на прочность, испытания на надежность, применяя дорогие покрытия, тщательно шлифуя поверхность и т.д. Поэтому необходимо решать проблему оценки рациональности предлагаемых мероприятий с помощью выбора критериев эффективности, оптимизации и сравнения однотипных КТР, которые могут выступать в качестве конкурирующих вариантов. При этом, разумеется, следует учитывать затраты на формирование, разработку, применение и реализацию КТР. Естественно сравнивать КТР либо по «полезной характеристике» w_i (скорость, мощность, сила, надежность, давление и т.п.), которую стремятся увеличить, либо по «вредной характеристике» v_i (масса-вес, стоимость, энергопотребление, тепловыделение и т.п.), которую желательно уменьшать, при соблюдении в равной степени прочих требований и условий [3]. Возможен также искусственный критерий типа относительного или удельного показателя: $R_i = w_i/v_i$.

5.2. ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА КРИТЕРИЕВ ТРАНСПОРТНО-КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Прежде всего следует учитывать особенности выбора критериев эффективности ТКА и всей транспортно-космической системы. Исходя из методологии системного подхода, при оптимизации КА следует рассматривать не только лета-

тельный аппарат, но и систему в целом с учетом многих аспектов ее создания и эксплуатации. Систему, содержащую в качестве базового элемента ЛА, естественно представлять в качестве большой технической системы. Необходимо исследовать три основных вида декомпозиции: целевую, техническую и организационную. Иерархическому строению системы должен соответствовать и комплекс применяемых критериев оценки эффективности и оптимизации. С учетом принципов оптимизации и декомпозиции многоуровневых БТС это позволяет грамотно выбрать комплект критериев для каждого уровня иерархии. Применительно к транспортно-космической системе, решающей задачи, указанные в табл. 5.1.1, в качестве основных можно принять следующие уровни:

1) Космическая суперсистема (обслуживаемые объекты вместе с

системой их транспортно-технического обеспечения).

2) Транспортно-космическая система.

3) Целевые подсистемы.

4) Транспортные космические корабли (одноразовые РН с ТКА или многоразовые разгонная и орбитальная ступени).

5) Базовый элемент (транспортный космический аппарат).

6) Бортовые элементы ТКА (агрегаты, конструкция, бортовые обеспечивающие системы и т.п.).

На каждом уровне может быть несколько критериев, позволяющих проводить расчеты с различной степенью приближенности и точности с учетом имеющихся исходных данных и ограничений. Иерархия таких критериев представлена на рис. 5.2.1.

Последний 6-ой уровень является поставщиком данных, характеризующих степень развития науки и

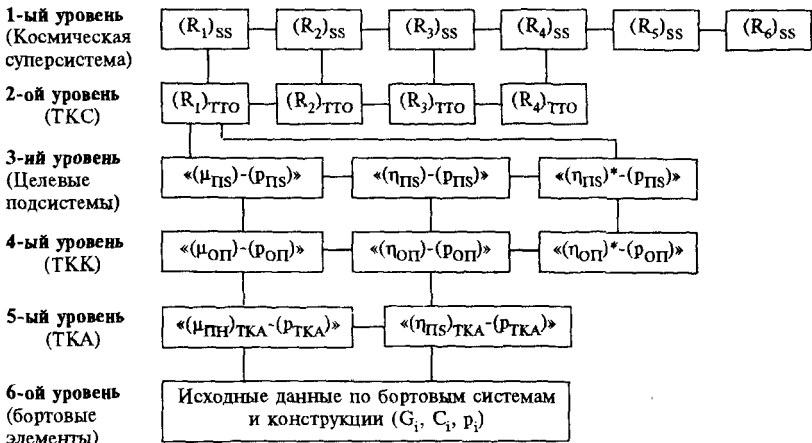


Рис. 5.2.1. Многоуровневая иерархическая система критериев

техники. Из этих элементов предстоит «собрать» ТКА оптимальный в некотором смысле, для оценки и выбора вариантов здесь уже потребуются критерии. Поэтому их обсуждение начнем с этого уровня.

5-ый уровень. Для оценки ТКА естественным является выбор в качестве критерия эффективности коэффициента полезной нагрузки (весовой отдачи):

$$(\mu_{пн})_{тка} = \frac{(G_{пн})_{тка}}{(G_0)_{тка}} \quad (5.2.1)$$

представляющего отношение доставляемого веса (массы) полезной нагрузки к начальной орбитальной (полной) массе ТКА. Данный критерий часто применяется для сравнения самых различных транспортных средств, например для самолетов, и вполне себя оправдал. Численное значение этого критерия зависит главным образом от степени совершенства бортовых систем, агрегатов и элементов конструкции. Однако, при одних и тех же исходных данных по 6-му уровню можно получить различную величину $(\mu_{пн})_{тка}$. Самое большое значение $(G_{пн})_{тка}$ получается при компоновке объекта без резервирования, то есть при минимальной его надежности $r_{тка}$. Наоборот, если весь этот запас $(G_{пн})_{макс}$ израсходовать на резервные блоки и агрегаты, то будет обеспечена максимальная надежность $(r_{тка})_{макс}$, соответствующая достигнутому уровню технологии и возможностям промышленности

на данном этапе. Но в этом случае $(\mu_{пн})_{тка} = 0$. Таким образом, на диаграмме «коэффициент полезной нагрузки – безотказность» получены две крайние точки с координатами:

$$\begin{aligned} &\langle (\mu_{пн})_{макс} - (r_{тка})_{мин} \rangle \text{ и} \\ &\langle (\mu_{пн} = 0) - (r_{тка})_{макс} \rangle. \end{aligned}$$

Оптимальное значение лежит между ними. Это позволяет сделать принципиальный вывод о том, что максимизация весовой отдачи (или надежности) приведет к ошибочному результату. Следует пользоваться этими критериями не порознь а в совокупности: либо в виде функций $\mu_{пн}(r_{тка})$ и $r_{тка}(\mu_{пн})$, либо в диаграммном виде:

$$\langle (\mu_{пн})_{тка} - (r_{тка}) \rangle. \quad (5.2.2)$$

При оптимизации ТКА важное значение имеет не только масса доставленного груза, но и затраты на его транспортировку. Поэтому при утвержденном носителе более точную оценку дает использование коэффициента экономической отдачи:

$$(\eta_{пн})_{тка} = (G_{пн})_{тка} / C_{тка}, \quad (5.2.3)$$

выражающего отношение массы полезной нагрузки к стоимости ТКА.

Здесь также следует применять диаграммный критерий:

$$\langle (\eta_{пн})_{тка} - (r_{тка}) \rangle. \quad (5.2.4)$$

Формулы (5.2.1) и (5.2.3) легко использовать для одноцелевых ТКА, осуществляющих решение

отдельных задач по доставке ($G_{гд}$) или возвращению ($G_{гв}$) грузов, либо по перевозке пассажиров ($G_{пас}$) для смены экипажей долговременной орбитальной станции. Во всех этих случаях, истолковывая соответствующим образом понятие полезной нагрузки, получим {индексы (...) $_{ТКА}$ для простоты опущены}:

а) коэффициенты весовой отдачи (полезной нагрузки):

$$\begin{aligned}\mu_{гд} &= \frac{G_{гд}}{G_0}; \\ \mu_{гв} &= \frac{G_{гв}}{G_0}; \\ \mu_{пас} &= \frac{G_{пас}}{G_0},\end{aligned}\quad (5.2.1a)$$

б) коэффициенты экономической отдачи:

$$\begin{aligned}\eta_{гд} &= \frac{G_{гд}}{C_{ТКА}}; \\ \eta_{гв} &= \frac{G_{гв}}{C_{ТКА}}; \\ \eta_{пас} &= \frac{G_{пас}}{C_{ТКА}},\end{aligned}\quad (5.2.3a)$$

в) диаграммные критерии:

$$\begin{aligned}\langle \mu_{гд} \rangle - \langle P_{ТКА} \rangle; \\ \langle \mu_{гв} \rangle - \langle P_{ТКА} \rangle; \\ \langle \mu_{пас} \rangle - \langle P_{ТКА} \rangle;\end{aligned}\quad (5.2.2a)$$

$$\begin{aligned}\langle \eta_{гд} \rangle - \langle P_{ТКА} \rangle; \\ \langle \eta_{гв} \rangle - \langle P_{ТКА} \rangle; \\ \langle \eta_{пас} \rangle - \langle P_{ТКА} \rangle.\end{aligned}\quad (5.2.4a)$$

Реально создаваемые и эксплуатируемые ТКА, как правило, редко бывают одноцелевыми. Даже посылая смену экипажа, одновременно доставляют, пусть небольшую по массе, партию грузов. Это могут быть новые бортовые журналы, инструкции, ремонтные приспособления, скоропортящиеся расходные компоненты и т.п. При возвращении сменившегося экипажа на Землю в спускаемом аппарате возвращают часть полученной информации на различных носителях (бумага, фотопленка, магнитные ленты и др.), а также отдельные образцы и приборы для оперативной обработки. Для таких многоцелевых ТКА диаграмма (« $\mu_{гд}$ » — « $P_{ТКА}$ ») не полностью отражает объем выполненной работы. Поэтому возникает необходимость работать с векторным критерием, учитывающим все компоненты полезной нагрузки и различие в надежности операций доставки и возвращения:

$$\langle \mu_{гд} \rangle - \langle \mu_{гв} \rangle - \langle \mu_{пас} \rangle - \langle P_{ТКА} \rangle_{дост} - \langle P_{ТКА} \rangle_{возвр}.\quad (5.2.5)$$

Для того, чтобы перейти от пяти к двум компонентам необходимо добавить коэффициент возвращаемости грузов ($\alpha = G_{гв}/G_{гд}$) и коэффициент пассажирских перевозок ($\beta = G_{пас}/G_{гд}$). Следует также учесть, что надежность возвращения пассажиров определяется не оптимизацией, а требованиями безопасности, поэтому величина

$(P_{ТКА})_{возвр}$ является заданной. При фиксированных требованиях к массам $G_{ГВ}$ и $G_{ПАС}$ критерий (5.2.5) упрощается, вместо вектора « $(\mu_{ГД}) - (\alpha_{ГВ}) - (\beta_{ПАС}) - (P_{ТКА})_{дост} - (P_{ТКА})_{возвр}$ » можно использовать диаграмму

$$\langle (\mu_{ГД})_{ТКА} - (P_{ТКА})_{дост} \rangle \quad (5.2.5a)$$

при

$$(\alpha_{ГВ}) = (\alpha_{ГВ})_{треб};$$

$$(\beta_{ПАС}) = (\beta_{ПАС})_{треб};$$

$$(P_{ТКА})_{возвр} = (P_{возвр})_{треб}.$$

По аналогии с критериями оценки ТКА следует такие же диаграммы применять и для РН. При этом необходимо учитывать, что у РН полезной нагрузкой является выводимый на орбиту космический аппарат ($G_{ПН} = G_{ТКА}$), а начальным весом – стартовый вес носителя $(G_0)_{РН}$. Обозначив вероятность успешного выведения ТКА на заданную орбиту через $P_{ВЫВ}$, а стоимость ракеты-носителя $C_{РН}$, окончательно получим диаграммы:

$$\langle (\mu_{ПН})_{РН} - P_{ВЫВ} \rangle \quad (5.2.6)$$

$$\text{и } \langle (\eta_{ПН})_{РН} - P_{ВЫВ} \rangle, \quad (5.2.6a)$$

где $(\mu_{ПН})_{РН} = G_{ТКА} / (G_0)_{РН}$ – коэффициент весовой отдачи (полезной нагрузки) РН;

$\eta_{ПН}$ – коэффициент экономической отдачи РН:

$$(\eta_{ПН})_{РН} = G_{ТКА} / C_{РН}. \quad (5.2.6b)$$

При соответствующей договоренности в формуле (5.2.6b) вместо стоимости РН может использоваться стоимость выведения, учитывающую с помощью коэффициента $k_{ВЫВ}$ затраты наземных средств на подготовку и проведение пуска: $C_{ВЫВ} = k_{ВЫВ} C_{РН}$. (5.2.6в)

4-ый уровень. Оценивая эффективность транспортного космического корабля (РН+ТКА или РС+ОС), следует говорить о критериях транспортной операции. Тогда с учетом диаграмм (5.2.2), (5.2.4) и (5.2.6) получим диаграммы для всего ТКК или всей операции:

$$\langle (\mu_{ОП}) - P_{ОП} \rangle \text{ и } \langle (\eta_{ОП}) - P_{ОП} \rangle. \quad (5.2.7)$$

Здесь коэффициент весовой отдачи ТКК рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} \mu_{ОП} &= (G_{ПН})_{ТКА} / (G_0)_{РН} = \\ &= (\mu_{ПН})_{РН} (\mu_{ПН})_{ТКА}; \end{aligned} \quad (5.2.7a)$$

а коэффициент экономической отдачи транспортной операции по формуле:

$$\eta_{ОП} = \frac{(G_{ПН})_{ПН}}{C_{ПН} + k_{ОП} C_{РН}} = \frac{(\mu_{ПН})_{ПН}}{(\mu_{ПН})_{ПН} / (\eta_{ПН})_{ПН} + k_{ОП} / (\eta_{ПН})_{РН}}. \quad (5.2.7b)$$

Очевидно, что весовая отдача ТКК определяется с учетом параметров заданной орбиты и необходимого маневра для выведения ТКА и его стыковки со станцией. С помощью диаграмм (5.2.2), (5.2.4), (5.2.5) и (5.2.7) можно сравнивать уже разработанные ТКА, РН и ТКК. На рассматриваемом уровне для получения более точных результатов следует учитывать отчисление (амортиза-

ция на одну операцию) затрат $C_{\text{разр}}$ на разработку ЛА и технологическую подготовку производства $C_{\text{тпп}}$, то есть использовать уточненные коэффициенты экономической отдачи. Тогда для операции, например, с учетом серийности изготовления ТКА ($N_{\text{тка}}$) и носителей ($N_{\text{рн}}$) будем иметь уточненный (*) коэффициент экономической отдачи транспортно-операционной операции:

$$(\eta_{\text{оп}})^* = \frac{(G_{\text{пн}})_{\text{тка}}}{C_{\text{тка}} + \frac{(C_{\text{тка}})_{\text{разр}} + (C_{\text{тка}})_{\text{тпп}}}{N_{\text{тка}}} + k_{\text{выб}} C_{\text{рн}} + \frac{(C_{\text{рн}})_{\text{разр}} + (C_{\text{рн}})_{\text{тпп}}}{N_{\text{рн}}}}; \quad (5.2.7в)$$

или через критерии предыдущего иерархического уровня системы:

$$(\eta_{\text{оп}})^* = \frac{(\mu_{\text{пн}})_{\text{тка}}}{\frac{(\mu_{\text{пн}})_{\text{тка}} (k_{\text{тка}})_{\text{разр}} (k_{\text{тка}})_{\text{тпп}}}{(\eta_{\text{пн}})_{\text{тка}}} + \frac{(k_{\text{выб}}) (k_{\text{рн}})_{\text{разр}} (k_{\text{рн}})_{\text{тпп}}}{(\eta_{\text{пн}})_{\text{рн}}}}. \quad (5.2.7г)$$

В первую очередь такое уточнение необходимо для сравнения существенно различающихся ТКК, например, легких и тяжелых или одноразовых и многоразовых, или существующих и только разрабатываемых. При этом критерием сравнения будет диаграмма:

$$\langle (\eta_{\text{оп}})^* - \rho_{\text{оп}} \rangle. \quad (5.2.7д)$$

3-ий уровень. Оценивая эффективность целевых подсистем транспортно-космической системы, необходимо руководствоваться требованиями задач ТТО. При оптимиза-

ции подсистем приходится принимать решения в трех направлениях:

- 1) выбор типажа и грузоподъемности ТКА;
- 2) стратегия комплектования подсистемы разными ТКА;
- 3) определение рациональной схемы обеспечения надежности.

В качестве иллюстрации методологии оптимального комплектования рассмотрим подсистему доставки грузов на орбитальную станцию. Эту задачу можно решать тремя способами:

- а) вывести с помощью РН на опорную орбиту грузовой автома-

тический невозвращаемый (ГАН) транспортный КА, который с использованием запасов топлива осуществит маневрирование с целью сближения и стыковки со станцией;

б) вывести с помощью РН на опорную орбиту грузовой неуправляемый (без ДУ и топлива) контейнер (ГНК), а маневрирование с целью сближения и стыковки осуществлять самой станцией;

в) использовать тот же ГНК, но для его доставки применять межорбитальный космический буксир (МКБ), базирующийся на станции.

Грузоподъемность ТКА будет зависеть прежде всего от применяемого носителя, а также от уровня резервирования бортовых систем.

Возможны различные варианты обеспечения надежности реализации требуемой годовой программы грузоперевозок $(Q_{гд})_{\text{треб}}$ при заданной вероятности $(p_{пс})_{\text{треб}}$ ее выполнения. Если взять ТКА с диаграммой « $(\mu_{пн})_{\text{max}} - (p_{тка})_{\text{min}}$ », то при идеальной надежности $(p_{тка}=1.0)$ потребуется минимальное штатное количество ТКА:

$$(N_{тка})_{\text{шт п}} = \frac{(Q_{гд})_{\text{треб}}}{(\mu_{пн})_{\text{max}} G_{тка}} \quad (5.2.8)$$

Однако при низкой безотказности ТКА надежность подсистемы окажется существенно ниже требуемого уровня:

$$[(p_{тка})_{\text{min}}]^{(N_{тка})_{\text{min}}} \ll (p_{пс})_{\text{треб}} \quad (5.2.8a)$$

Поэтому придется запускать большое количество дополнительных $(N_{тка})_{\text{доп}}$ ради обеспечения требуемой вероятности успешной работы подсистемы в целом. Подбирая различные варианты комплектования подсистемы и используя диаграммы 4-го уровня типа (5.2.2), (5.2.4), (5.2.5), (5.2.6) и (5.2.7д), можно построить подобные диаграммы и для подсистем:

$$\langle (\mu_{пс}) - (p_{пс}) \rangle \text{ и } \langle (\eta_{пс}) - (p_{пс}) \rangle \quad (5.2.9)$$

Используемые здесь коэффициенты весовой и экономической отдачи будут иметь несколько иной смысл, чем для ТКА, РН, ТКК. Для их расчета используются следующие суммирующие формулы:

а) для коэффициента весовой отдачи подсистемы доставки грузов

$$(\mu_{пс})_{гд} = \frac{\sum_j \sum_i N_{j i} \cdot [(\mu_{пн})_{тка}]_{j i} \cdot [(\mu_{пн})_{пн}]_i \cdot [(G_0)_{пн}]_i}{\sum_i N_i \cdot [(G_0)_{пн}]_i} \quad (5.2.9a)$$

б) для коэффициента экономической отдачи этой же подсистемы

$$(\eta_{пс})_{гд} = \frac{\sum_j \sum_l N_{j,l} \cdot [(\mu_{пн})_{тка}]_{j,l} \cdot [(\mu_{пн})_{рн}]_{j,l} \cdot [(G_0)_{рн}]_{j,l}}{\sum_j \sum_l N_{j,l} \cdot \{C_{тка}\}_{j,l} + k_{якв} [C_{рн}]_{j,l}}. \quad (5.2.9б)$$

Здесь $[(G_0)_{рн}]_{j,l}$, $[(\mu_{пн})_{рн}]_{j,l}$ и $[C_{рн}]_{j,l}$ — стартовый вес, коэффициент полезной нагрузки (по весу выводимого ТКА) и стоимость l-ой ракеты-носителя;

$N_{j,l}$, $[(\mu_{пн})_{тка}]_{j,l}$ и $[C_{тка}]_{j,l}$ — штатное количество (при $p=1.0$) транспортных КА j-го типа, выводимых l-ой РН, их коэффициент полезной нагрузки (по весу груза доставляемого) и стоимость.

Обязательным условием является обеспечение заданного объема грузоперевозок за оцениваемый срок работы подсистемы:

$$\sum_j \sum_l N_{j,l} \times [(\mu_{пн})_{тка}]_{j,l} \times [(\mu_{пн})_{рн}]_{j,l} \times [(G_0)_{рн}]_{j,l} \geq (Q_{гд})_{\text{треб}}. \quad (5.2.9в)$$

В выражение (5.2.9б) для получения более точных результатов следует, подобно формуле (5.2.7д), включить отчисления затрат $C_{разр}$ на разработку ЛА и технологическую подготовку производства $C_{тпп}$, то есть иметь дело с диаграммой

$$\langle (\eta_{пс})^* - (p^*) \rangle. \quad (5.2.9г)$$

Выражения, аналогичные (5.2.8)-(5.2.9), имеют место также для

подсистем возвращения грузов и перевозки пассажиров.

2-ой уровень. Транспортно-космическую систему (ТКС), решающую комплекс задач транспортно-технического обеспечения (ТТО) орбитальных станций и составленную из различных подсистем, также можно характеризовать диаграммными критериями: « $(R_i)_{\text{ТТО}} - p_s$ ».

Рассмотрим следующие варианты целевого критерия $(R_i)_{\text{ТТО}}$ по мере нарастания его сложности:

$$1) (R_1)_{\text{ТТО}} = 1/C_{\text{ТКС}}; \quad (5.2.10а)$$

$$2) (R_2)_{\text{ТТО}} = T_{\text{сущ}}/C_{\text{ТКС}}; \quad (5.2.10б)$$

$$3) (R_3)_{\text{ТТО}} = T_{\text{ас}}/C_{\text{ТКС}} = (T_{\text{сущ}} - dT_{\text{ТКС}})/C_{\text{ТКС}}; \quad (5.2.10в)$$

$$4) (R_4)_{\text{ТТО}} = [(q_{\text{ас}} T_{\text{ас}} + q_{\text{пс}} (T_{\text{сущ}} - T_{\text{ас}})] / C_{\text{ТКС}}. \quad (5.2.10г)$$

Здесь введены обозначения:

$C_{\text{ТКС}}$ — суммарные затраты на функционирование ТКС в течение всего времени $T_{\text{сущ}}$ ее существования;

$T_{\text{ас}}$ — время активного существования (функционирования) обслуживаемой системы (орбитальной станции);

$dT_{\text{ТКС}}$ — потери времени функционирования станций на транс-

портные операции, а также в результате нарушения штатного режима эксплуатации ТКС, например, для подготовки к запуску аварийного ТКА;

q_{ac} и q_{nc} — интенсивности расхода компонентов (доставляемых грузов) в единицу времени при активном и пассивном существовании объектов.

1-ый уровень. Для суперсистемы можно применять аналогичные четыре критерия вида (5.2.10а), (5.2.10б), (5.2.10в), (5.2.10г). Но в знаменателе следует вместо C_{TKC} записать суммарные затраты, до-

бавив расходы C_{OKC} на саму обслуживаемую космическую систему:

$$C_{сум} = C_{TKC} + C_{OKC}. \quad (5.2.11a)$$

Например,

$$(R_3)_{ss} = T_{ac} / (C_{TKC} + C_{OKC}). \quad (5.2.11б)$$

Кроме того, на этом уровне можно предложить критерии, учитывающие особенности функционирования обслуживаемой системы с учетом динамики изменения функциональной эффективности ТКС во времени:

$$(R_5)_{ss} = \frac{F_{TKC}(T_{сум})}{C_{сум}(T_{сум})} = \frac{\int_{t_0}^{t_1} r_{TKC}(t)q(t)dt}{C_{OKC} + \int_{t_0}^{t_1} C_{TKC}(t)dt}; \quad (5.2.12a)$$

а также учитывающие динамику изменения во времени функциональной эффективности обслуживаемой станции:

$$(R_6)_{ss} = \frac{F_{окс}(T_{сум})}{C_{сум}(T_{сум})} = \frac{(f_{окс} * f_{TKC}) \int_{t_0}^{t_1} r_0(r_{окс}, r_{ЭК}, r_{РК}, r_{ос}, r_{np}, q, t)dt}{C_{окс} + \int_{t_0}^{t_1} C_{TKC}(t)dt}, \quad (5.2.12б)$$

где $T_{сум} = t_k - t_n$ — время существования станции (разница между конечным и начальным временем);

$C_{сум}(T_{сум})$ — суммарные затраты за этот период;

$(f_{окс} * f_{TKC})$ — суперпозиция функциональных ограничений OKC и ТКС;

r_0 — сложная функция совместной эффективности, зависящая от

производительности станции (r_{OKC}), работоспособности экипажа ($r_{ЭК}$), пригодности и сохранности расходных компонентов ($r_{РК}$), особенностей взаимодействия транспортных кораблей со станцией ($r_{ВЗ}$), и прочих факторов совместного полета (r_{np}), интенсивности спроса РК (q). Напомним, что все $r_i(t)$ и q изменяются во времени.

5.3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕСОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Вес (масса) любого летательного аппарата, в том числе и космического, является исключительно важной характеристикой. Во-первых, увеличение орбитального веса КА приводит к резкому возрастанию стартового веса ракеты-носителя. А если ее характеристики уже изменить нельзя, то КА просто не приобретет первую космическую скорость и не выйдет на орбиту. Поэтому весовые ограничения являются весьма существенными. Во-вторых, при известных удельно-стоимостных характеристиках аппаратуры и элементов конструкции через вес удобно выражать затраты на КА и операцию в целом. В-третьих, рационально распределяя весовые резервы, можно значительно повысить надежность КА. В-четвертых, вес является тем первоочередным параметром, на снижение которого направлены значительные усилия конструкторов, материаловедов и технологов. Поэтому варианты конкретных КТР в первом приближении всегда можно сравнивать по их влиянию на полный вес КА, проводя соответствующие параметрические исследования.

5.3.1. Начальный вес невозвращаемого космического аппарата

Большинство КА являются искусственными спутниками Земли,

функционирующими длительное время. Поскольку их возвращение не предусматривается, они используются до выработки ресурса. Затем на замену выводится новый КА. Некоторые КА снабжены ДУ для маневрирования или корректировки параметров орбиты. Проектировщики стремятся к унификации КА различного назначения, это удается достичь применительно к бортовым обеспечивающим (иногда говорят, служебным) системам, а также элементам корпуса. Каждый расчет будет соответствовать конкретному времени создания КА, степени проработанности проекта, наличию прототипов. Уровень развития промышленности и технологические возможности отражаются при этом в исходных весовых характеристиках бортовых систем и элементов. Для того, чтобы излагаемые результаты сделать универсальными, исключим влияние особенностей **полезной нагрузки (ПН)**. Тогда в качестве типовых можно рассматривать **транспортные космические аппараты (ТКА)**.

Методически для параметрических исследований в интересах оценки эффективности и оптимизации желательно полный (начальный, орбитальный) вес (G_0) ТКА, выводимого носителем на заданную орбиту, выразить параметрической зависимостью от основных требований задач **транспортно-технического обеспечения (ТТО)**. Такими основными параметрами являются маневренные

возможности; характеристики ПН: вес доставляемого на орбиту груза, вес возвращаемого на Землю груза, вес пассажиров. У других КА (связи, навигации, геодезии, метеорологии и т.д.) полезной нагрузкой будет являться специальная аппаратура. Для анализа и выбора КТР, если не вносятся изменения в спецаппаратуру, то можно ее принимать в качестве груза. Это позволяет использовать типовой подход к анализу весовых характеристик.

Идею предлагаемой **методики параметрической оценки веса** рассмотрим на примере расчета простейшего ТКА: **грузового автоматического невозвращаемого (ГАН)**. Его начальный вес (или массу – после вывода на орбиту) можно представить следующей формулой:

$$G_0 = G_{гд} + G_{об} + G_{к} + G_{рв} + G_{м}, \quad (5.3.1)$$

где $G_{гд}$ – вес груза, доставляемого на орбитальную станцию;

$G_{об}$ – вес оборудования, бортовых систем, аппаратуры и других элементов;

$G_{к}$ – вес конструкции;

$G_{рв}$ – резерв веса (неучтенный вес), позволяющий компенсировать ошибки и неточности весового расчета;

$G_{м}$ – вес систем маневрирования и стыковки (включая топливо, двигательные установки, систему ориентации и стабилизации и т. п.).

Здесь

$$G_{м} = (G_{апп})_{сосп} + (G_{дв})_{сосп} + (G_{дв})_{м} + (G_{т})_{м}, \quad (5.3.1a)$$

где $(G_{апп})_{сосп}$ и $(G_{дв})_{сосп}$ – аппаратура и двигательная установка (исполнительные органы) бортовой системы ориентации, стабилизации и причаливания;

$(G_{дв})_{м}$ – двигательная установка для орбитального маневрирования;

$(G_{т})_{м}$ – топливо и рабочее тело, затрачиваемое на маневрирование. Разделим все весовые элементы формулы (5.3.1) на три группы:

1) $G_{пн} = G_{гд}$ – полезная нагрузка, ради которой создается и запускается ТКА;

2) $G_{const} = G_{об} + (G_{апп})_{сосп}$ – постоянная составляющая, вес которой не изменяется при увеличении или уменьшении веса полезной нагрузки, то есть практически не зависит от веса ТКА;

3) $G_{вар} = G_{к} + G_{рв} + (G_{дв})_{сосп} + (G_{дв})_{м} + (G_{т})_{м}$ – переменная составляющая, которая заметно зависит от $G_{пн}$ и G_0 . Поэтому ее слагаемые удобно выразить в виде относительных параметров:

$$\begin{aligned} g_{к} &= G_{к}/G_0; \\ g_{рв} &= G_{рв}/G_0; \\ g_{м} &= G_{м}/G_0. \end{aligned} \quad (5.3.2)$$

Статистика показывает, что в достаточно широком диапазоне изменения G_0 можно считать постоянными величины g_i . В резуль-

тате преобразований выражения (5.3.1) получим:

$$G_0 = G_{\text{пн}} + G_{\text{const}} + G_{\text{var}} = G_{\text{пн}} + G_{\text{const}} + G_0(g_k + g_{\text{рв}} + g_m). \quad (5.3.3)$$

Далее отсюда легко вывести функциональную зависимость

$$k = \frac{1}{1 - g_k - g_{\text{рв}} - g_m} = k_k k_{\text{рв}} k_m = k_1 k_2 k_3, \quad (5.3.4)$$

$$k_k = k_1 = \frac{1}{1 - g_k}; \quad k_{\text{рв}} = k_2 = \frac{1}{1 - k_1 g_{\text{рв}}}; \quad k_m = k_3 = \frac{1}{1 - k_1 k_2 g_m}. \quad (5.3.5)$$

Теперь мы можем оценить, как весовые изменения какого-то КТР конкретной детали или агрегата, увеличивая весовые затраты на конструкцию, топливо и иные составляющие, отражаются на полном весе ТКА в целом.

5.3.2. Весовая отдача невозвращаемого космического аппарата

В общем случае изложенный подход оценки G_0 не является

начального веса от полезной нагрузки:

$$G_0 = k(G_{\text{пн}} + G_{\text{const}}). \quad (5.3.3a)$$

Очевидно, что весовой коэффициент переменной составляющей можно разложить по ее элементам:

общепринятым, обычно используются аддитивные функции вида (5.3.1). Полезность выражения (5.3.3a) заключается в том, что оно позволяет проводить анализ коэффициента полезной нагрузки, используемого в качестве критерия многих транспортных средств.

Для этого, решая уравнение (5.3.3a) относительно полезной нагрузки, получим формулу:

$$\mu_{\text{пн}} = \frac{G_{\text{пн}}}{G_0} = \frac{1}{k} - \frac{G_{\text{const}}}{G_0} = \frac{1}{k_1 k_2 k_3} - \frac{G_{\text{const}}}{G_0}. \quad (5.3.6)$$

Предложенный подход дает нам возможность перейти к функциональной зависимости коэффициента полезной нагрузки от веса ТКА, которая отражает степень конструктивного совершенства бортовых элементов (k_k и G_{const}),

маневренных характеристик (k_m), весового резерва ($k_{\text{рв}}$) и начального веса (G_0), то есть можно анализировать влияние принимаемых технологических решений на критериальную функцию:

$$\mu_{\text{пн}} = \mu(k_1, k_2, k_3, G_{\text{const}}, G_0).$$

5.3.3. Начальный вес возвращаемого космического аппарата

В общем случае транспортные аппараты, как и большинство КА, имеют сложную весовую структуру, которая прежде всего зависит от принятой компоновки. В свою очередь конструктивно-компоновочная схема аппаратов определяется:

1) особенностями применения (целевое назначение и тип аппарата, класс решаемых задач, характеристики обслуживаемых объектов, требования к эффективности, условия применения, время активного существования и т.п.);

2) эксплуатационными характеристиками (условия наземного обслуживания, схема и средства выведения, орбиты, методы маневрирования и сближения, способы возвращения, кратность использования, технология обеспечения

многообразности, средства и способы обеспечения безопасности, эффективности, надежности и экономичности);

3) производственными и технологическими факторами (этапность создания ТКА и системы в целом, возможности преемственного использования опыта изготовления и эксплуатации аналогов и предшествующих прототипов, пути обеспечения безопасности, эффективности, надежности и экономичности на этапе создания, степень освоенности предлагаемых материалов, наличие необходимых станков, оборудования и других средств технологического оснащения, степень увязки заводской кооперации и др.).

От простого типа ТКА, каковым является ГАН, перейдем к **грузо-пассажирскому (ГП)** кораблю типа «Союз», конструктивно-компоновочная схема которого представ-

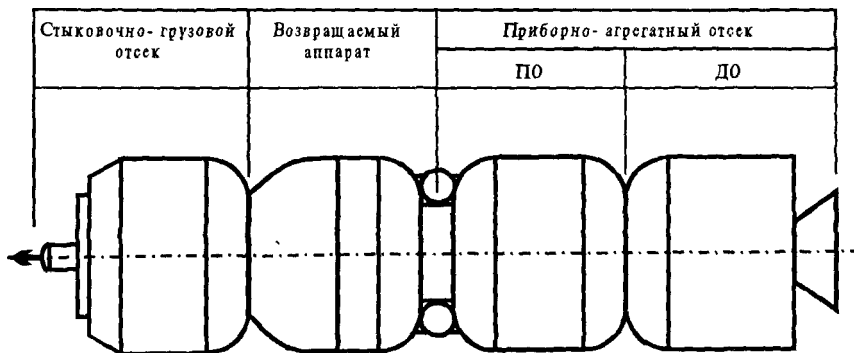


Рис.5.3.1. Конструктивно-компоновочная схема грузо-пассажирского корабля типа «Союз»

лена на рис. 5.3.1. Дальнейший вывод основных формул построен применительно к этому кораблю, который разделен на отдельные отсеки:

I. Стыковочно-грузовой отсек (СГО), внутри которого доставляется основная часть грузов. Здесь же размещается часть системы обеспечения жизнедеятельности экипажа. Отсек оснащен бортовыми системами обеспечения орбитальных операций сближения и стыковки, а в варианте спасателя (или ремонтника) также различными манипуляторами, специальным оборудованием для ремонта и технического обслуживания, проведения аварийно-спасательных работ.

II. Приборно-агрегатный отсек (ПАО). Он представляет объединение герметичного приборного (ПО) и двигательного отсеков (ДО), оснащенного двигательными установками и исполнительными органами систем маневрирования и торможения (для схода с орбиты), а также баками с топливом и баллонами с рабочим телом.

III. Возвращаемый (ВА) или спускаемый аппарат (СА), в котором, помимо минимально необходимого для спуска и посадки оборудования, расположена возвращаемая часть груза, размещается экипаж в скафандрах.

Разделение ТКА на автономные отсеки диктуется требованием уменьшения полного веса, которое удовлетворяется так же, как и в РН, последовательным отделе-

нием на различных этапах полета отработавших ступеней (отсеков). Для увеличения весовой отдачи производится последовательное изменение веса ТКА, которое будет рассмотрено ниже.

Для принятой компоновки формула полного веса будет иметь вид:

$$G_0 = G_{\text{сго}} + G_{\text{пао}} + G_{\text{ва}} = G_I + G_{II} + G_{III} \quad (5.3.7)$$

Большое разнообразие весовых составляющих (путем группирования по принципу функционального назначения и этапности полета) можно свести к нескольким типовым элементам. Тогда, например, для рассматриваемого наиболее сложного грузо-пассажирского варианта ТКА будем иметь:

$$G_{\text{сго}} = G_I = (G_{\text{об}})_{\text{сго}} + (G_{\text{к}})_{\text{сго}} + (G_{\text{рв}})_{\text{сго}} + G_{\text{то}}; \quad (5.3.7a)$$

$$G_{\text{пао}} = G_{II} = (G_{\text{об}})_{\text{пао}} + (G_{\text{к}})_{\text{пао}} + (G_{\text{рв}})_{\text{пао}} + (G_{\text{апп}})_{\text{сосп}} + (G_{\text{ду}})_{\text{сосп}} + (G_{\text{ду}})_{\text{мт}} + (G_{\text{т}})_{\text{м}} + (G_{\text{т}})_{\text{т}}; \quad (5.3.7б)$$

$$G_{\text{ва}} = G_{III} = (G_{\text{об}})_{\text{ва}} + (G_{\text{к}})_{\text{ва}} + (G_{\text{рв}})_{\text{ва}} + G_{\text{тз}} + G_{\text{св}} + G_{\text{гв}} + G_{\text{экип}} + G_{\text{сожд}} \quad (5.3.7в)$$

В этих трех выражениях, кроме обозначений, введенных в формулах (5.3.1) и (5.3.1а), приняты следующие индексы весовых составляющих:

$(G_{\text{об}})_i, (G_{\text{к}})_i, (G_{\text{рв}})_i$ — оборудование, конструкция и резервный вес в соответствующем i -ом отсеке;

$(G_{дв})_{мт}$ – двигательная установка (единая) для орбитального маневрирования и подачи тормозного импульса;

$(G_{т})_{м}$ и $(G_{т})_{т}$ – топливо и рабочее тело, затрачиваемые на маневрирование и на торможение для схода ТКА с орбиты;

$G_{тз}$ – теплозащитное покрытие ВА;

$G_{св}$ – средства возвращения, включая парашюты, систему управления спуском, двигатели мягкой посадки и др.;

$G_{экип}$ и $G_{содл}$ – экипаж и система обеспечения его жизнедеятельности и безопасности.

Полезная нагрузка теперь включает грузы и экипаж: $G_{пн} = G_{гд} + G_{экип}$. Причем вес груза, доставляемого на орбитальную станцию, разделен на две части, которые размещены в разных отсеках: в СГО (оставляемая на орбитальной станции) и в ВА (возвращаемая на Землю):

$$G_{гд} = G_{го} + G_{гв}. \quad (5.3.8)$$

Поскольку формулы (5.3.7), (5.3.7а), (5.3.7б), (5.3.7в) описывают самый общий случай, то для вариантов ТКА, более простых, чем грузо-пассажирский, некоторые элементы из этих формул будут отсутствовать. Другие элементы с целью более подробного раскрытия бортовых систем могут усложняться в соответствии со спецификой и конкретным назначением ТКА. Следует обратить внимание на важный момент. По-

лучаемые весовые формулы с одинаковым успехом могут быть использованы не только для транспортных КА, но для любых других, скажем, связанных, метеорологических, биологических и т.п. Отличие будет заключаться лишь в формировании полезной нагрузки. Для спутников прикладного или исследовательского назначения она будет представлена соответствующей целевой (специальной) аппаратурой.

Весовые расчеты по суммирующим формулам (5.3.7), (5.3.7а), (5.3.7б), (5.3.7в) и (5.3.8) традиционного типа требуют каждый раз при сравнении вариантов построения КА детальной проработки компоновки и весовой сводки, то есть на этапе эскизного проектирования для выбора наилучшего КТР они мало пригодны. Потому что не позволяют оценить степень влияния требований и различных вариантов технологий, материалов, конструкции, других факторов на полный вес КА. Поэтому для сравнения различных вариантов принимаемых решений, а также для оптимизации системы ТГО в целом, целесообразно выражать полный вес (массу) ТКА в более приемлемой форме, удобной для параметрических исследований путем вариации отдельными характеристиками бортовых систем, агрегатов, узлов и деталей. То есть необходимо выявить имеющиеся связи между различными элементами формул (5.3.7), (5.3.7а), (5.3.7б), (5.3.7в) и

(5.3.8), а также определить взаимовлияние различных весовых составляющих друг на друга, как это было сделано при получении зависимостей (5.3.3)-(5.3.6) для простейшего ТКА.

Для решения этой задачи в самом общем случае следует по сравнению с формулой (5.3.1) расширить основные группы весовых элементов ТКА:

1) $G_{\text{пн}} = G_{\text{го}} + G_{\text{гв}} + G_{\text{экип}}$ — полезная нагрузка;

2) $G_{\text{const}} = (G_{\text{об}})_{\text{сго}} + (G_{\text{об}})_{\text{пао}} + (G_{\text{об}})_{\text{ва}} + (G_{\text{апп}})_{\text{сосп}}$ — постоянная составляющая, вес которой не зависит от веса полезной нагрузки; сюда включаются радиотехнические системы, автоматика, бортовые обеспечивающие системы (терморегулирования, энергопитания, связи, РЛС стыковки, бортовая кабельная связь и т. п.);

3) $G_{\text{вар}} = f(G_0, G_{\text{го}}, G_{\text{гв}}, G_{\text{экип}})$ — переменная составляющая, которая включает конструкцию, теплозащиту, двигательные установки, топливо и рабочее тело, системы возвращения, резервный вес и др.;

4) $G_{\text{созд}} = f(N_{\text{экип}}, t_{\text{ас}})$ — система обеспечения жизнедеятельности, вес которой определяется количеством членов экипажа и временем активного существования.

Тогда

$$G_0 = G_{\text{пн}} + G_{\text{const}} + G_{\text{вар}} + G_{\text{созд}} \quad (5.3.9)$$

Прежде, чем приступить к подробному анализу этой формулы, рассмотрим этапность полета ТКА и связанные с этим изменения его веса.

I) На орбиту с помощью РН доставляется ТКА массой G_0 , он осуществляет маневр сближения и, израсходовав часть топлива, к станции пристыковывается ТКА массой $(G_{\text{тка}})_I = G_0 - (G_{\text{т}})_M$.

II) После проведения разгрузочно-погрузочных работ (на станцию перенесен груз весом $G_{\text{го}}$, а в ВА заменен груз $G_{\text{гв}}$), завершения совместного полета от станции отстыковывается разгрузившийся ТКА массой $(G_{\text{тка}})_{II}^* = G_0 - (G_{\text{т}})_M - G_{\text{го}}$. Перед торможением отделяется СГО (внутри него могут быть помещены удаляемые со станции бытовые или иные отходы). Именно на оставшуюся массу $(G_{\text{тка}})_{II} = G_{\text{пао}} + G_{\text{ва}} - (G_{\text{т}})_M$ рассчитывается тормозной импульс, для реализации которого расходуется топливо $(G_{\text{т}})_T$.

III) Перед входом (или в процессе прохождения) в плотные слои атмосферы отделяется ПАО. От ТКА остается только ВА массой $(G_{\text{тка}})_{III} = G_{\text{ва}}$. На эту величину ориентированы расчеты теплозащиты, парашютов и других средств возвращения на Землю.

Рассмотренная схема полета соответствует применению ТКА одноразового использования. Достигается минимизация возвращаемого веса, когда в ВА, кроме экипажа, находится небольшая часть груза.

Формулу (5.3.9) с учетом деления весовых компонент по отсекам в соответствии с выражениями (5.3.7а), (5.3.7б), (5.3.7в) можно преобразовать к следующему аддитивному виду:

$$G_0 = [G_{\text{пн}} + G_{\text{созд}}] + [(G_{\text{т}})_{\text{м}} + (G_{\text{т}})_{\text{т}} + G_{\text{св}}] + [(G_{\text{const}})_{\text{I}} + (G_{\text{const}})_{\text{II}} + (G_{\text{const}})_{\text{III}}] + [(G_{\text{к}})_{\text{I}} + (G_{\text{к}})_{\text{II}} + (G_{\text{к}})_{\text{III}}] + [(G_{\text{рв}})_{\text{I}} + (G_{\text{рв}})_{\text{II}} + (G_{\text{рв}})_{\text{III}}]. \quad (5.3.10)$$

По аналогии с выражениями (5.3.2) считается, что в большинстве случаев справедлива линейная зависимость переменных составляющих веса:

$$(G_{\text{var}})_{\text{ix}} = (g_{\text{i}})_{\text{x}} (G_{\text{тка}})_{\text{x}} \quad (\text{x} = \text{I, II, III})$$

Так, например, вес конструкции III-го отсека (ВА) будет равен $(G_{\text{var}})_{\text{кIII}} = (g_{\text{к}})_{\text{III}} (G_{\text{тка}})_{\text{III}}$.

Переходя к весовым коэффициентам $(k_{\text{x}} = k_{\text{I}}, k_{\text{рв}} = k_{\text{2}}, k_{\text{м}} = k_{\text{3}})$, вес

ТКА, разбив по отсекам, можно выразить формулой:

$$G_0 = k_{\text{I}}^* [(G_{\text{const}})_{\text{I}} + G_{\text{то}}] + k_{\text{II}}^* (G_{\text{const}})_{\text{II}} + k_{\text{III}}^* [(G_{\text{const}})_{\text{III}} + G_{\text{тв}} + G_{\text{эжип}} + G_{\text{созд}}]. \quad (5.3.10а)$$

Здесь каждый отсек в общем случае имеет свои значения относительных весов $(g_{\text{i}})_{\text{x}}$, соответственно и коэффициентов k_{x}^* и $(k_{\text{i}})_{\text{x}}$: $k_{\text{I}}^* = (k_{\text{I}} k_{\text{2}} k_{\text{3}})_{\text{I}}$; $k_{\text{II}}^* = (k_{\text{I}} k_{\text{2}} k_{\text{3}})_{\text{II}}$; $k_{\text{III}}^* = (k_{\text{I}} k_{\text{2}} k_{\text{3}})_{\text{III}}$. Поскольку маневр осуществляется, когда ТКА еще имеет полный набор отсеков, поэтому естественно относительные затраты веса для 1кг каждого отсека одинаковы, то есть

$$(k_{\text{3}})_{\text{I}} = (k_{\text{3}})_{\text{II}} = (k_{\text{3}})_{\text{III}} = k_{\text{м}} = k_{\text{3}}$$

Это значение может быть вынесено за скобки.

Признаем также условие, что относительные веса резерва одинаковы для всех отсеков, то есть:

$$g_{\text{рв}} = (g_{\text{рв}})_{\text{I}} = \frac{(G_{\text{рв}})_{\text{I}}}{G_{\text{I}}} = (g_{\text{рв}})_{\text{II}} = \frac{(G_{\text{рв}})_{\text{II}}}{G_{\text{II}}} = (g_{\text{рв}})_{\text{III}} = \frac{(G_{\text{рв}})_{\text{III}}}{G_{\text{III}}}. \quad (5.3.11)$$

Следовательно $(k_{\text{2}})_{\text{I}} = (k_{\text{2}})_{\text{II}} = (k_{\text{2}})_{\text{III}} = k_{\text{рв}} = k_{\text{2}}$ и данный коэффициент также можно вынести. Наконец, условие равенства относительных весов конструкции можно принять лишь с определенными оговорками. Очевидно, что ВА, которому предстоит пройти плотные

слой атмосферы и удариться о Землю должен быть прочнее других отсеков, поэтому его относительный вес конструкции выше. Однако, если условно часть этого «усиливающего перетяжеления» $(dG_{\text{усил}})_{\text{III}}$ перенести в средства возвращения, тогда можно записать:

$$(5.3.11а)$$

$$g_{\text{k}} = (g_{\text{k}})_{\text{I}} = \frac{(G_{\text{k}})_{\text{I}}}{G_{\text{I}}} = (g_{\text{k}})_{\text{II}} = \frac{(G_{\text{k}})_{\text{II}}}{G_{\text{II}}} = (g_{\text{k}})_{\text{III}} = \frac{(G_{\text{k}})_{\text{III}} - (dG_{\text{усил}})_{\text{III}}}{G_{\text{III}}},$$

то есть $(k_1)_{I}=(k_1)_{II}=(k_1)_{III}=k_k = k_1$. Теперь из формулы (5.3.10а) легко получить следующую парамет-

рическую зависимость начального веса от полезной нагрузки и весовых коэффициентов:

$$G_0 = k_1 k_2 k_3 \times \{ (G_{const})_I + G_{гв} \} + k_1 \times \{ (G_{const})_{II} + k_2 \times (G_{гв} + G_{экип} + (G_{const})_{III} + G_{соед}) \}. \quad (5.3.10б)$$

Расчет первых трех коэффициентов ($k_k = k_1$; $k_{рв} = k_2$; $k_m = k_3$) проводится по формулам (5.3.5), куда подставляются значения $(g_i)_x$, полученные относительно полного веса $G_0 = G_I + G_{II} + G_{III}$, то есть

$$g_k = \frac{(G_k)_I + (G_k)_{II} + \left[(G_k)_{III} - (dG_{усил})_{III} \right]}{G_I + G_{II} + G_{III}}; \quad (5.3.11а)$$

$$g_{рв} = \frac{(G_{рв})_I + (G_{рв})_{II} + (G_{рв})_{III}}{G_I + G_{II} + G_{III}}; \quad g_m = \frac{G_m}{G_I + G_{II} + G_{III}}. \quad (5.3.11в)$$

$$g_m = \frac{G_m}{G_I + G_{II} + G_{III}}. \quad (5.3.11г)$$

Оставшиеся два коэффициента рассчитываются по формулам:

$$k_r = k_4 = \frac{1}{1 - k_1 k_2 g_{rr}} \quad \text{и} \quad k_s = k_5 = \frac{1}{1 - k_1 k_2 g_{возвр}}, \quad (5.3.5а)$$

где $g_{rr} = (G_r)_I / (G_{тка})_{II}$ — относительный вес топлива на торможение;

$g_{возвр} = [G_{св} + (dG_{усил})_{III}] / (G_{тка})_{III}$ — относительный вес систем возвращения.

Формулу (5.3.10б) в ряде случаев можно, выразив вес ТКА через вес доставляемого груза, упростить:

$$G_0 = G_{min} + k_1 G_{гд} + k_1 (k_{II} k_{III} - 1) \alpha G_{гд}, \quad (5.3.10в)$$

где $G_{min} = k_1 \times \{ (G_{const})_I + k_{II} \times \{ (G_{const})_{II} + k_{III} \times (G_{экип} + (G_{const})_{III} + G_{соед}) \} \}$ — минимальное значение веса ГП ТКА при фиксированных значениях весов экипажа и системы обеспечения жизнедеятельности; $k_I = k_1^* = k_k k_{рв} k_m$, $k_{II} = k_r$, $k_{III} = k_s$ —

коэффициенты, учитывающие «этапность работы» отсеков в полете; $\alpha = G_{гв} / G_{гд}$ — относительный вес возвращаемого на Землю груза.

5.3.4. Весовая отдача возвращаемого космического аппарата

Используя формулу (5.3.10в), можно найти значение коэффициента полезной нагрузки возвращаемого ТКА. Если ТКА является грузовым ($G_{экип} = 0$) и возвращается такой же вес груза, что и доставляется на орбиту, то $G_{пн} = G_{гд} = G_{гв}$, то есть $G_{гв} = 0$ и $\alpha = 1,0$. В этом случае, решая уравнение (5.3.10в) относительно $G_{гд}$, получим следующую формулу для расчета весовой отдачи:

$$\mu_{пн} = \frac{G_{пн}}{G_0} = \frac{1}{k_I k_{II} k_{III}} \left[1 - \frac{G_{мин}}{G_0} \right] \quad (5.3.12a)$$

где $G_0 = G_{мин} + k_I k_{II} k_{III} G_{гд}$ — начальный вес ГВ ТКА,
 $G_{мин} = k_I \times \{(G_{const})_I + k_{II} \times \{(G_{const})_{II} + k_{III} \times (G_{const})_{III}\}\}$ — минимальное значение веса ГВ ТКА.

В общем случае, когда $G_{гд} > G_{гв}$ и $0 < \alpha < 1,0$, формула несколько усложнится:

$$\mu_{пн} = \frac{G_{пн}}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha(k_I k_{II} k_{III} - 1)} \left[\frac{1}{k_I} - \frac{G_{мин}}{k_I G_0} \right] \quad (5.3.12б)$$

где $G_0 = G_{мин} + k_I \{ (1 - \alpha) G_{гд} + k_{II} k_{III} \alpha G_{гд} \}$ — начальный вес ГВ ТКА.
 Когда возвращается груза больше, чем доставляется, то есть $G_{гв} > G_{гд}$ и $\alpha > 1,0$, тогда зависимость примет вид:

$$\mu_{пн} = \frac{G_{пн}}{G_0} = \frac{1}{\left[\left(\frac{k_I k_{II} k_{III} (k_m - 1)}{k_m} + 1 \right) + \alpha \left(\frac{k_I k_{II} k_{III}}{k_m} - 1 \right) \right]} \left[1 - \frac{G_{мин}}{G_0} \right],$$

где $G = G_{мин} + \left[k_I k_{II} k_{III} + (\alpha - 1) \left(\frac{k_I k_{II} k_{III}}{k_m} - 1 \right) \right] G_{гв}$ (5.3.12в)

Для грузо-пассажирских ТКА можно также применять формулы (5.3.12а), (5.3.12б), (5.3.12в), достаточно расширить в выражении для $G_{мин}$ смысл третьей константы: $(G_{const})_{III} = (G_{const})_{III} + G_{эжд} + G_{сжд}$

5.3.5. Параметрические исследования весовых характеристик КА

Статистические данные (на базе корабля «Союз»), необходимые для расчетов, представлены в таблице 5.3.1. При параметрических исследованиях весовых характеристик будем исходить из следующих основных предпосылок:

1. Величины постоянных составляющих $(G_{const})_i$ определяются назначением и типом объекта.

В течение длительного периода их можно считать фиксированными, так как изменение $(G_{const})_i$ происходит лишь в результате совершенствования входящих (деталей, аппаратуры и других элементов).

2. Относительный вес конструкции g_k зависит от многих факторов, среди которых основными являются вес КА G_0 и плотность упаковки полезной нагрузки $\gamma_{пн}$. Зависимость $g_k = g_k(\gamma_{пн}, G_0)$ можно получить из рис.5.3.2.

3. Величина резервного веса $g_{рв}$ назначается с учетом возможных ошибок в расчетах, опыта проектирования, наличия отечественных или зарубежных аналогов и прототипов.

Таблица 5.3.1

Основные весовые характеристики обеспечивающих КА

№	Характеристика	Тип обеспечивающего КА					
		ГП	ГАН	ГВ	ГНК	МКБ	АС
1	Весовые константы, кг:						
	$(G_{const})_I$	370	420	400	100	400	370
	$(G_{const})_{II}$	880	760	880	-	820	880
	$(G_{const})_{III}$	300	-	150	-	200	200
2	Весовые переменные:						
	а) относительные веса:						
	g_K	0,2	0,18	0,19	0,16	0,23	0,23
	g_{OB}	0,08	0,06	0,05	0,08	0,07	0,08
	g_M	0,1	0,1	0,1	-	0,31	0,12
	g_T	0,09	-	0,09	-	-	0,09
	g_B	0,47	-	0,42	-	-	0,47
	б) коэффициенты:						
	k_K	1,25	1,22	1,24	1,19	1,30	1,30
	k_{OB}	1,11	1,08	1,07	1,10	1,10	1,12
	k_M	1,16	1,15	1,15	1,0	1,80	1,21
	$k_K k_{OB} k_M = k_I$	1,61	1,51	1,53	1,31	2,58	1,76
	$k_T = k_{II}$	1,14	1,0	1,14	1,0	1,0	1,15
	$k_B = k_{III}$	2,87	1,0	2,45	1,0	1,0	2,60
3	Вес экипажа, кг	(80) - 250	-	-	-	-	80 - (250)
4	Вес СОЖД, кг	250	-	-	-	-	250
5	Минимальный вес, кг	6425	1150	2790	130	-	-
6	Вес груза доставляемого, кг	200	3000	1500	5000	-	400
7	Вес груза возвращаемого, кг	50	-	600	-	(6500)	100
8	Начальный вес, кг	7010	7190	7650	6680	-	-

4. Затраты топлива на маневр, выражаемые с помощью относительной величины g_M , зависят от характеристик применяемого топлива (рабочего тела), прежде всего от удельного импульса $P_{уд}$, являясь функцией $g_M = g_M(V_M, P_{уд})$. При этом требуемый импульс скорости V_M определяется начальными условиями сближения: расстоянием между объектами r и вектором относительной скорости \dot{r} (параметрами

опорной и рабочей орбит), как показано на рис.5.3.3.

5. Относительный вес систем торможения также имеет зависимость вида $g_T = g_T(V_T, P_{уд})$. Однако эту величину часто принимают постоянной.

6. В некотором диапазоне весов возвращаемых аппаратов относительный вес систем возвращения и посадки принимаются фиксированным $g_B = const$. Численное зна-

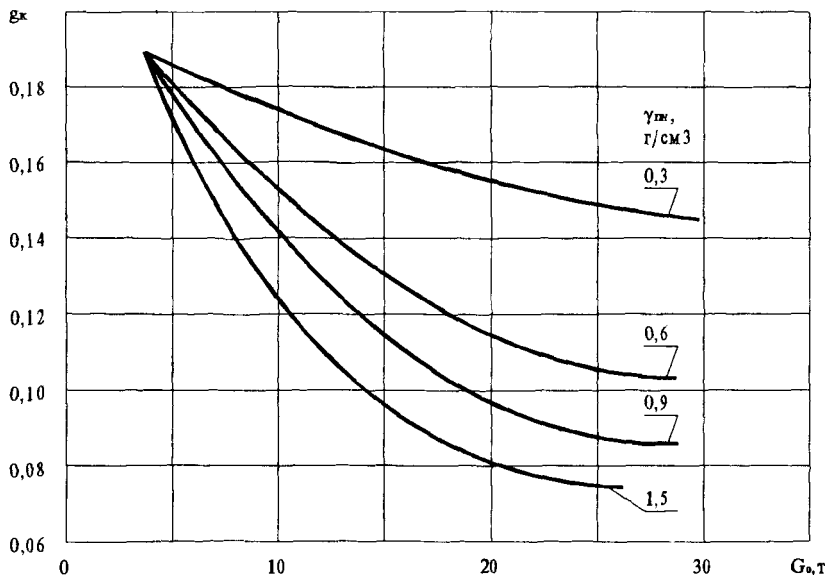


Рис.5.3.2. Зависимость относительного веса конструкции от плотности «упаковки» полезной нагрузки и веса КА

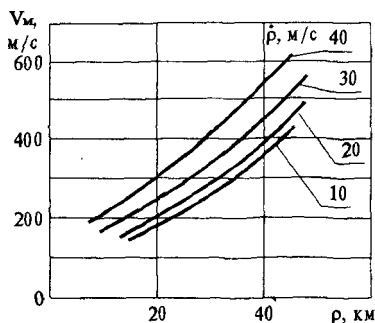


Рис.5.3.3. Зависимость требуемого импульса скорости на маневр от дальности и относительной скорости КА

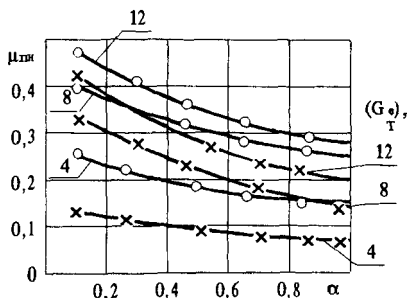


Рис.5.3.4. Зависимость весовой отдачи от коэффициента возвращаемости груза при следующих исходных данных:

- $k_{II}=1,6; (G_{const})_I=500 \text{ кг}; k_{II}=1,2; (G_{const})_{II}=750 \text{ кг};$
- ГВ при $k_{II}=1,5; (G_{const})_{III}=50 \text{ кг};$
- x-x-x- ГП при $k_{II}=2,0; (G_{const})_{III}=200 \text{ кг}.$

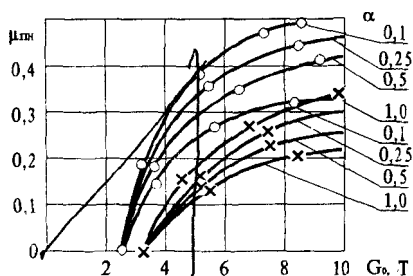


Рис.5.3.5. Зависимость весовой отдачи от полного веса ТКА при следующих исходных данных:

- $k_I=1,4;$
- x-x-x-x- $k_I=2,0.$

чение этого параметра определяется типом средств и систем, обеспечивающих возвращение и посадку, материалом теплозащитных покрытий.

Результаты расчетов представлены в таблице 5.3.1. Полученные зависимости позволили построить графики (рис.5.3.4-5.3.5) изменения значения коэффициента полезной нагрузки транспортных КА различного типа от начального веса G_0 и коэффициента возвращаемости грузов α . Гиперболические кривые имеют начальную точку $(G_0)_{нач} = G_{мин}$ и горизонтальную асимптоту $(\mu_{пн})_{max}$. Для различных ТКА они будут определяться формулами:

а) грузовой автоматический невозвращаемый ТКА:

$$(\mu_{пн})_{пвх} = \frac{1}{k_I};$$

б) грузовой автоматический возвращаемый ТКА:

$$(\mu_{пн})_{пвх} = \frac{1}{k_I k_{II} k_{III}} \quad \text{для } \alpha = 1,0;$$

$$(\mu_{пн})_{max} = \frac{1}{k_I} \left[\frac{1}{1 + \alpha(k_{II} k_{III} - 1)} \right] \quad \text{для } 0 < \alpha < 1,0;$$

$$(\mu_{пн})_{пвх} = \frac{k_m}{k_I k_{II} k_{III} [k_m + (\alpha - 1)] - k_m(\alpha - 1)} \quad \text{для } 1,0 < \alpha.$$

Таким образом, на величину предельных значений $(\mu_{пн})_{max}$ влияние оказывают только коэффициенты переменных составляющих k_I, k_{II}, k_{III} и относительное значение возвращаемости грузов α . На вес $(G_0)_{нач}$ и крутизну кривых влияют также постоянные составляющие $(G_{const})_I, (G_{const})_{II}, (G_{const})_{III}$.

Эти выводы позволяют определить степень влияния изменений, вносимых в весовые характеристики КТР при использовании различных технологий, а также сравнивать вклад деталей и агрегатов различного типа в повышении эффективности ТКА.

5.4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РКТ

5.4.1. Принципы и методы технико-экономического анализа

Процесс создания средств **ракетно-космической техники (РКТ)**, улучшения ее технических характеристик и параметров связан с непрерывно возрастающими затратами общественного труда. Рост ресурсных затрат должен компенсироваться опережающим ростом эффективности и качества создаваемой техники. Все это существенно усложняет проведение технико-экономического анализа и отбор наиболее эффективных вариантов технических решений. В современных условиях создания средств РКТ повышаются требования к качеству технико-экономического анализа и его роли в управлении эффективностью разрабатываемой техники.

Системный анализ уровня затрат и ожидаемых результатов в процессе научно-технического обоснования и проектирования с целью максимизации экономического и социального эффектов от применения РКТ в народном хозяйстве является основой для технико-экономической оценки и выбора наиболее эффективных, оптимальных вариантов технических решений на всех стадиях и этапах процесса создания космических систем.

Необходимо, чтобы методы технико-экономического анализа, его содержание и структура при проек-

тировании средств РКТ совершенствовались в двух направлениях: по стадиям и этапам жизненного цикла и по отдельным объектам системы. Качество анализа, его структура, организация и сроки проведения должны на каждом этапе, применительно к каждому анализируемому элементу, подчиняться единой цели — поиску технических возможностей повышения эффективности проектируемых систем. А это достигается полной и точностью экономических расчетов.

По существу, технико-экономический анализ при проектировании представляет собой комплексное исследование взаимосвязи функциональных, технико-эксплуатационных, конструктивно-технологических, эргонометрических и иных параметров создаваемой или совершенствуемой техники с затратами на различных этапах ее создания, обосновывающее выбор оптимального варианта проектных и производственных решений.

Можно выделить четыре основных этапа технико-экономического анализа при создании средств РКТ:

- на этапе НИР по оценке перспективных направлений;
- на этапе проектирования по оценке эффективности проектируемых элементов;
- на этапе производства и испытаний по оценке технологичности и надёжности новой техники;
- на этапе эксплуатации по оценке возможности повышения эффективности при совершенст-

вовании элементов. Каждый из этих этапов отличается решаемыми задачами, перечнем рассматриваемых показателей, методами их расчета и другими особенностями.

Исключительную роль в обеспечении создания высокоэффективных средств техники играет технико-экономический анализ на этапе предварительного проектирования при разработках авангардного (технических предложений) и эскизного проектов, когда имеются большие возможности и значительные резервы повышения технико-экономических характеристик и показателей эффективности. По результатам технико-экономического анализа разрабатываются и уточняются основные требования к проектируемой системе и ЛА, а также к другим ее составным элементам.

Все параметры разрабатываемой системы должны быть обоснованы не только с позиций безусловного обеспечения заданных ЛТХ, но и экономически. Это позволит создавать новые **ракетно-космические системы (РКС) и летательные аппараты (ЛА)** с такими характеристиками, в которых действительно имеется объективная народно-хозяйственная потребность, оптимизировать их, что в конечном счете приведет к снижению затрат на создание и эксплуатацию средств РКТ, к повышению экономической эффективности их применения.

Следует иметь в виду, что кажущаяся сиюминутная экономия, полученная на стадиях проектиро-

вания за счет необоснованного сокращения общих сроков создания системы или, например, объема наземной стендово-экспериментальной отработки, всегда приводит к серьезным экономическим просчетам и потерям после реализации проекта.

По мере выполнения проектных работ от стадии к стадии ОКР неопределенность информации, характеризующей технические и экономические параметры разрабатываемых средств техники, снижается, а точность и достоверность экономических расчетов возрастают.

Технико-экономический анализ РКС в процессе проектирования состоит из следующих этапов:

- а) определение альтернативных вариантов создаваемой системы,
- б) выбор рациональных вариантов, определение затрат на разработку и изготовление базовых элементов (КА, РН) в производстве,
- в) оценка научно-технического уровня разрабатываемых средств техники,
- г) расчет ожидаемой экономической эффективности и срока окупаемости,
- д) определение оптимального варианта построения системы,
- е) расчет будущей потребности в разрабатываемых средствах РКТ.

Важную роль в технико-экономическом анализе играет изучение показателей уже созданной и эксплуатируемой РКТ, имеющей сходные функционально-технические характеристики, и принимаемой за аналог.

5.4.2. Техничко-экономические показатели

Разработка средств РКТ связана с решением целого ряда сложных проблем технического и экономического характера. На всех этапах жизненного цикла РКС применительно к системе в целом и ее элементам проводится оценка экономических показателей и устанавливаются требования с целью обеспечения экономии и рационального использования трудовых, материальных и финансовых ресурсов. В качестве стоимостных показателей используется группа технико-экономических показателей, характеризующих затраты на разработку, производство и эксплуатацию элементов РКС или изделия.

К числу таких показателей относятся:

1) **полная стоимость жизненного цикла системы:**

$$C_{\text{полн}} = C_{\text{разр}} + C_{\text{ка}} + C_{\text{рн}} + C_{\text{зап}} + C_{\text{экспл}} + C_{\text{ск}} + C_{\text{кик}} + C_{\text{пск}} + C_{\text{цнк}}, \quad (5.4.1)$$

где $C_{\text{разр}} = C_{\text{нир}} + C_{\text{окр}}$ — **стоимость разработки системы;**

$C_{\text{нир}}$ — **стоимость проведения НИР**, в том числе затраты на разработку, изготовление макетов и проведение экспериментов;

$C_{\text{окр}}$ — **стоимость проведения ОКР**, в том числе затраты на разработку технического предложения и эскизного проекта, рабочей документации, на технологическую подготовку производства, из-

готовление опытных изделий и их испытание, на корректировку рабочей документации по результатам испытаний;

$C_{\text{ка}}$ и $C_{\text{рн}}$ — **стоимость изготовления КА и РН** в опытном (серийном) производстве;

$C_{\text{зап}}$ — **стоимость запуска КА** на опорную (рабочую) орбиту;

$C_{\text{экспл}}$ — **стоимость эксплуатации КА**, в том числе затраты на приведение и поддержание КА в готовности к использованию, при хранении и транспортировке КА за весь период эксплуатации;

$C_{\text{ск}} = C_{\text{тл}} + C_{\text{сп}}$; $C_{\text{кик}}$, $C_{\text{пск}}$, $C_{\text{цнк}}$ — **затраты на эксплуатацию наземных комплексов:** стартового (технической и стартовой позиций), командно-измерительного, поисково-спасательного, целевого; участвующих в подготовке, запуске и обслуживании данного КА в полете, а также при возвращении;

2) $C_{\text{выв}}$ — **стоимость вывода 1 кг веса (массы) КА** на опорную (рабочую) орбиту;

3) $(C_{\text{экспл}})^{\text{год}}$ — **годовая стоимость эксплуатации КА** с учетом затрат на наземные комплексы: КИК, ПСК, ЦНК.

5.4.3. Социальные и экономические аспекты разработки и использования средств ракетно-космической техники

Проекты разработки средств РКТ требуют тщательного изучения с научно-технической, экономической, коммерческой, социальной, международной точек зрения. Важ-

но уверенно владеть при этом приемами и методами технико-экономического обоснования, сопоставления альтернативных вариантов, анализа чувствительности обобщающих финансово-экономических показателей проекта.

Обязательной предпосылкой принятия правильного решения служат:

- системный подход к обоснованию разрабатываемого объекта;
- комплексный анализ проектного предложения;
- технико-экономическая оценка проекта;
- учет собственных экономических интересов и понимание интересов партнеров, инвесторов, потребителей;
- анализ возможных альтернатив и их оценка;
- последовательность и обоснованность действий в достижении поставленных целей.

Технико-экономическая оценка проекта средств РКТ должна обязательно учитывать особенности функционирования рынка, в частности, неопределенность достижения конечного результата, субъективность интересов различных участников и, как следствие, множественность критериев.

Традиционный расчет показателей сравнительной эффективности вариантов практически не учитывает динамичность параметров проекта. Это упрощает проводимые расчеты, но делает результаты недостаточно достоверными. В частности, при оценке выгодно-

сти проекта важно учитывать следующие его характеристики:

- возможные изменения в спросе на разрабатываемые средства РКТ и, соответственно, изменение объемов производства;
- ожидаемые колебания цен на потребляемые ресурсы и реализуемую продукцию;
- планируемое снижение издержек производства в процессе наращивания объема выпуска;
- предстоящие изменения в техническом уровне создаваемых элементов систем или производства, вызываемые реализацией научно-технических достижений;
- доступность и стабильность финансовых источников для необходимых инвестиций.

По результатам анализа характеристик проекта должно быть сделано заключение о практической возможности и экономической целесообразности его разработки.

5.4.4. Оценка стоимости разработки ракетно-космической системы

Структура затрат на разработку РКС представляется достаточно сложной и многовариантной. При этом должны учитываться затраты по всем стадиям и этапам жизненного цикла, связанные с разработкой и модернизацией КА, РН, наземных средств подготовки, проведения пусков, обеспечения полетов и возвращения на Землю.

Исходными данными при расчете затрат на разработку являются:

- технические характеристики и конструктивные особенности разрабатываемой РКС, ЛА и других ее элементов;

- продолжительность разработки и состав исполнителей работ;

- объем наземных стендово-экспериментальных отработок;

- объем летно-конструкторских испытаний;

- обеспеченность разрабатываемой РКС наземными средствами выведения, подготовки и обеспечения пусков.

При определении затрат на выполнение технического предложения, эскизного проекта и разработку комплекта технической документации необходимо учитывать зависимости трудоемкости и, следовательно, стоимости выполненных работ от ряда факторов:

- сложности решения поставленных задач и времени, отведенного на выполнение проектов и разработку технической документации;

- состава исполнителей проектов и их квалификации;

- материально-технической базы исследований;

- полноты научно-технической информации по вопросам исследований и наличия связей с другими научными организациями;

- уровнем материально-технической базы и технологической подготовки производства на планируемом заводе-изготовителе;

- материальной и моральной заинтересованности коллективов исполнителей в качественном и своевременном выполнении работ.

Затраты по данным стадиям и этапам выполнения работ определяются на основании продолжительности разработки проектов, количества организаций и сотрудников, занятых разработкой, уровнем оплаты их труда.

Оценку стоимости разработки РКТ проведем на примере рассмотрения и анализа технико-экономических характеристик **большой технической системы (БТС)**, включающей:

- 1) **долговременную орбитальную станцию (ДОС)**,

- 2) транспортно-космическую систему, имеющую в своем составе следующие **транспортные космические аппараты (ТКА)**:

- а) пилотируемый **грузо-пассажирский (ГП)** корабль типа «Союз ТМ» для доставки и возвращения экипажа станции вместе с небольшой партией груза $\{(G_0)_{\text{ТКА}} = 7,1\text{т}, N_{\text{экипаж}} = 2 \div 3 \text{ человека}\}$;

- б) грузовой ТКА типа «Прогресс М» $\{(G_0)_{\text{ТКА}} = 6,9 \div 7,2 \text{ т}; (G_{\text{гн}})_{\text{ТКА}} = G_{\text{гд}} = 2,35 \div 2,75 \text{ т}\}$.

- в) **универсальный транспортный корабль снабжения (УТКС)**, доставляющий грузы и выполняющий функцию специализированного научного модуля $\{(G_0)_{\text{ТКА}} = 18,5 \div 20,0 \text{ т}; \text{масса (вес) доставляемых расходных компонентов } G_{\text{гд}} = 4 \div 6,4 \text{ т}\}$. Был испытан («Космос-929», «Космос-1267», «Космос-1443» и «Кос-

мос-1686») в полетах станций «Салют-6» и «Салют-7».

Долговременная орбитальная станция запускается в интересах решения научных и прикладных задач и предназначена для оперативного наблюдения с высокой детальностью и всепогодного круглосуточного зондирования поверхности Земли и Мирового океана, исследования природных ресурсов, проведения научно-технических и экспериментально-технологических работ и может функционировать на орбите как в обитаемом (посещаемом), так и в автоматическом режимах. Для выполнения специальных научных исследований и проведения экспериментов могут быть разработаны (в том числе на базе УТКС) целевые функционально-транспортные модули (ФТМ): научно-экспериментальный, астрофизический, биологический, народно-хозяйственный и другие, доставляемые на орбиту и стыкуемые со станцией. Подобные модули работают в составе станции «Мир». Аналогичные модули планируются для международной станции «Альфа».

Основные характеристики ДОС:

- Вес станции – 18,5÷20,0 т;
- Вес полезной нагрузки – 2÷3 т;
- Время активного существования – до 5 лет;
- Высота рабочей орбиты – 200÷400 км;
- Наклонение орбиты – 51÷73 град.;

Ракета-носитель – «Протон» (запуск с космодрома «Байконур»).

Полная стоимость разработки ракетно-космической системы на базе орбитальной станции может быть представлена в виде:

$$(C_{\text{РКС}})^P = (C_{\text{ДОС}})^P + (C_{\text{ТКС}})^P + (dC_{\text{СК}} + dC_{\text{КИК}} + dC_{\text{ПСК}} + dC_{\text{ЦНК}})^P, \tag{5.4.2}$$

где $(C_{\text{ДОС}})^P$ – затраты на разработку ДОС;

$(C_{\text{ТКС}})^P = (C_{\text{ТКА}}^P + C_{\text{РН}}^P + C_{\text{ДР}}^P)$ – суммарные затраты на разработку транспортно-космической системы, включая расходы на ТКА, РН и др.;

$(dC_{\text{СК}} + dC_{\text{КИК}} + dC_{\text{ПСК}} + dC_{\text{ЦНК}})^P$ – затраты на доработку и модернизацию соответствующих наземных комплексов;

Наибольшая часть затрат при разработке РКС относится к стадиям изготовления опытных образцов КА, проведения стендово-экспериментальной отработки и летных испытаний. Такими КА в рассматриваемой РКС являются ДОС и ТКА.

Затраты на разработку ДОС могут быть представлены в виде:

$$(C_{\text{ДОС}})^P = (C_{\text{ДОС}})^{ПР} + (C_{\text{ДОС}})^{\text{НАИ}} + (C_{\text{ДОС}})^{\text{ЛКИ}} + (C_{\text{ДОС}})^{\text{ДОР}} = (C_{\text{ДОС}})^{\text{ИЗГ}} N_{\text{УС}} + (1+k_1)(C_{\text{ДОС}})^{\text{ИЗГ}} N_{\text{НАИ}} + (1+k_{\text{ЗАП}}) \times [(C_{\text{ДОС}})^{\text{ИЗГ}} + (C_{\text{РН}})^{\text{ИЗГ}}] N_{\text{ЛКИ}}, \tag{5.4.3}$$

где $(C_{\text{дос}})_{\text{пр}}$ – затраты на НИР, проектно-конструкторские и экспериментальные работы, выражаемые через условное ($N_{\text{ус}} = 6 \div 10$) количество ДОС, при полной комплектации, средняя стоимость изготовления которой равна $(C_{\text{дос}})_{\text{изг}}$;

$(C_{\text{дос}})_{\text{наи}}$ – затраты на наземные автономные испытания;

$(C_{\text{дос}})_{\text{лки}}$ – затраты на ЛКИ;

$(C_{\text{дос}})_{\text{дор}}$ – затраты на доработку;

k_1 – коэффициент, учитывающий затраты на разработку стендового оборудования, пультов и пр. ($k_1 = 0,20 \div 0,25$).

$N_{\text{наи}}$ – среднее количество изделий для наземных автономных испытаний, приведенное к стоимости изделия полной комплектации;

$k_{\text{зап}}$ – коэффициент, учитывающий затраты на подготовку и проведение пусков ДОС

($k_{\text{зап}} = 0,2 \div 0,3$) при ЛКИ;

$(C_{\text{рн}})_{\text{изг}}$ – стоимость изготовления РН;

$N_{\text{лки}}$ – количество ДОС, предназначенное для проведения ЛКИ.

Ввиду многообразия средств РКТ и отсутствия достаточного объема статистических данных, предварительное определение затрат по стадиям и этапам проведения работ вызывает большие затруднения. Средние значения распределения затрат головного разработчика по стадиям и этапам разработки ДОС типа «Алмаз» в процентах от общей стоимости работ представлены в табл.5.4.1. Данный пример, как и остальные в этом параграфе, носят иллюстративный характер, поэтому расчеты по всем затратам даны в условных денежных единицах (уде).

Таблица 5.4.1

Относительные затраты по стадиям ОКР

№№ п/п	Стадии опытно-конструкторских работ	Затраты, %
1	Разработка технического предложения	0,5 - 0,6
2	Разработка эскизного проекта	1,4 - 1,6
3	Разработка рабочей документации	5,2 - 6,3
4	Изготовление опытных образцов, наземные автономные испытания и корректировка документации, в том числе: - проектирование и изготовление техоснастки, стендов и пультов (7 - 9%); - изготовление образцов и доработки (22 - 24%); - проведение испытаний, корректировка документации (5 - 6%).	34,0 - 39,0
5	Наземные комплексные и межведомственные испытания	5,6 - 5,9
6	Изготовление образцов для ЛКИ и проведение натурных испытаний	47,0 - 51,0
7	Подготовка документации для серийного производства	0,8 - 1,1
Итого: $100 \pm 5,5\%$		94,5 - 105,5

Таблица 5.4.2

Количество изделий $N_{\text{наи}}$, приведенных к стоимости ДОС полной комплектации

№№ п/п	Наименование макетов и изделий	Доля стоимости от основного изделия
1	Габаритно-весовой макет	0,15 - 0,25
2	Изделие для статических испытаний	0,25 - 0,30
3	Изделие для тепловых испытаний	0,35 - 0,50
4	Изделие для отработки антенно-фидерных устройств	0,05 - 0,10
5	Изделие для отработки разделения с носителем	0,10 - 0,15
6	Изделия для отработки стыковки с УТКС	0,10 - 0,15
7	Изделие для медико-биологических исследований	0,40 - 0,60
8	Комплексный стенд-тренажер	0,90 - 1,00
9	Технологическое изделие	1,00 - 1,30
10	Отдельные блоки, части конструкции	0,20 - 0,35
	Всего	3,50 - 4,70

Затраты ($C_{\text{дос}}^{\text{наи}}$) на проведение наземных автономных испытаний (НАИ) зависят от объема и видов стендово-экспериментальных обработок. Так, например, в типовой объем таких обработок применительно к ДОС могут включаться раз-

личные макеты и изделия, примерная стоимость изготовления которых указана в табл. 5.4.2 в долях стоимости основного изделия – ДОС.

Стоимость проведения доработок ($C_{\text{дос}}^{\text{дор}}$) рабочей документации и подготовки документации

Таблица 5.4.3

Распределение затрат на разработку УТКС

№№ п/п	Исполнители и наименование работ	Затраты от общей стоимости ОКР, %
А	Головная организация-разработчик УТКС:	65-70
	1. Проектно-конструкторские работы.	6 - 8
	2. Наземная экспериментальная отработка, в том числе: - изготовление стендовых изделий (65 - 69%); - изготовление тренажеров (31 - 35%).	17 - 20
	3. Изготовление опытных образцов УТКС - изготовление корпуса и сборка изделий (30 - 34%); - изготовление комплектующих систем (66 - 70%).	24 - 27
	4. Проведение летных испытаний	15 - 18
Б	Соисполнители-разработчики отдельных бортовых систем и их элементов	30 - 35
	Всего	100

для серийного производства следует определять в процентном отношении к затратам по всем стадиям проведения ОКР.

Аналогичным образом, как и для ДОС, может определяться стоимость разработки и отработки УТКС. Распределение затрат головного разработчика и соиспол-

нителей работ по нему приведено в табл.5.4.3.

5.4.5. Стоимость изготовления космических аппаратов

Расчет стоимости изготовления КА можно проводить различными

Таблица 5.4.4

Удельная стоимость элементов КА и ДОС

№№ п/п	Наименование элементов	ξ_i , уде/кг
1	Конструкция корпуса (без тепловой и радиационной защиты)	1,0 - 1,2
2	Конструкция тепловой защиты	1,5 - 2,0
3	Радиационная защита	0,5 - 0,6
4	Научная аппаратура	5,7 - 6,7
5	Радиолокационная аппаратура	7,0 - 8,5
6	Фотографическая аппаратура	3,0 - 5,0
7	Телевизионная аппаратура	7,0 - 8,5
8	Инфракрасная аппаратура	7,0 - 8,0
9	Телеметрическая аппаратура	7,0 - 7,5
10	Навигационная аппаратура	7,0 - 8,0
11	Оптическая аппаратура визирного наблюдения	6,0 - 7,0
12	Аппаратура накопления и обработки информации	5,0 - 6,0
13	Аппаратура командной радиолинии	5,0 - 7,0
14	Система передачи информации по радиоканалу	4,7 - 6,0
15	Система связи	3,0 - 3,7
16	Антенно-фидерные устройства	2,3 - 3,0
17	Бортовой вычислительный комплекс	5,5 - 6,0
18	Аппаратура системы единого времени	5,3 - 6,0
19	Бортовая кабельная сеть	1,3 - 2,0
20	Система управления бортовым комплексом	5,0 - 6,0
21	Система управления движением	5,7 - 7,3
22	Двигательные установки	2,0 - 3,0
23	Двигатели системы ориентации и стабилизации	3,0 - 4,0
24	Электромеханическая система стабилизации и поворота	4,0 - 4,7
25	Система терморегулирования	1,5 - 2,0
26	Аппаратура системы жизнеобеспечения	1,3 - 2,0
27	Химические источники питания	0,1 - 0,2
28	Солнечные батареи (уде/Кв.м)	130 - 170
29	Топливо: АГ + НДМГ	0,01

способами (или их комбинацией): по статьям сметной калькуляции, методом удельных стоимостей, с использованием экономико-математических моделей и др.

Стоимость изготовления ДОС представим в следующем виде:

$$(C_{\text{дос}})_{\text{изг}} = (C_{\text{пн}} + C_{\text{кон}} + C_{\text{об}} + C_{\text{сжо}} + C_{\text{ду}}) (1 + K_{\text{об}}), \quad (5.4.4)$$

где $C_{\text{пн}}$ – стоимость полезной нагрузки (специальной аппаратуры целевого назначения);

$C_{\text{кон}}$ – стоимость элементов конструкции;

$C_{\text{об}}$ – стоимость обеспечивающих бортовых систем;

$C_{\text{сжо}}$ – стоимость системы жизнеобеспечения;

$C_{\text{ду}}$ – стоимость двигательных установок;

$K_{\text{об}}$ – коэффициент, учитывающий затраты на проведение монтажно-сборочных работ и отработку станции.

При отсутствии достаточного объема статистических данных по КА сходного типа, стоимость изготовления ДОС (или ТКА) можно определить на этапе предварительного проектирования с использованием метода удельных стоимостей, разбив массу (вес) станции на массы (веса) отдельных комплектующих элементов и систем. Умножив эти веса на удельные стоимости соответствующих i -ых элементов ДОС, найдем их стоимость. Удельные стоимости ξ_i (табл. 5.4.4) отдельных комплектующих систем и конструкции представлены по данным отечественных КА и ДОС

Таблица 5.4.5
Результаты расчетов стоимости изготовления ДОС

№№ п/п	Наименование систем	G_i , кг	ξ_i , уде/кг	C_i , тыс. уде
1	Конструкция	4750	1,0	4,8
2	Спецаппаратура для целевых исследований	2000	7,0	14,0
3	Система управления	1200	7,3	8,8
4	Система управления бортовым комплексом	1000	5,5	5,5
5	Система электропитания и оборудования	1500	6,0	9,0
6	Система жизнеобеспечения	1100	2,7	3,0
7	Бортовой комплекс систем приема, накопления и передачи информации	1500	4,6	6,9
8	Система терморегулирования	1100	1,8	2,0
9	ДУ без топлива	700	2,7	1,9
10	Бортовая кабельная сеть	600	1,7	1,1
11	Прочие системы	450	3,0	1,4
12	Топливо и сжатый газ	2600	0,04	0,1
Итого (включая заправку)		18500	~3,2	58,5
Сборка и отработка (15%)				8,8
Всего				67,3

Таблица 5.4.6

Результаты расчетов стоимости изготовления УТКС

№№ п/п	Наименование систем	G_i , кг	$\xi_{i,}$ уде/кг	C_i , тыс. уде
1	Конструкция	4300	1,0	4,3
2	Система управления	1040	7,7	8,0
3	Система управления бортовым комплексом	380	6,0	2,3
4	Система электропитания	1447	6,7	9,7
5	Командная радиолиния	140	4,7	6,6
6	Система стыковки	800	2,7	2,2
7	Система наддува и разгерметизации	210	2,3	0,5
8	Система телеметрии	550	7,3	4,0
9	Система терморегулирования	1010	2,3	2,3
10	Телевизионная аппаратура	80	3,0	0,3
11	Бортовая кабельная сеть	400	1,7	0,7
12	Экспериментальные приборы	60	9,3	0,6
13	Двигательные установки	1360	2,7	3,7
14	Грузы и контейнеры	550	2,7	1,5
15	Прочие системы	290	3,0	0,9
16	Топливо и сжатый газ	5800	0,04	0,2
Итого		18500	~2,5	47,6
Сборка и отработка (20%)				9,5
Всего				57,1

Таблица 5.4.7

Стоимость изготовления ВА

№№ п/п	Наименование систем	G_i , кг	$\xi_{i,}$ уде/кг	C_i , тыс. уде
1	Конструкция	590	1,5	0,9
2	Теплозащита	935	1,1	1,0
3	Система управления	205	7,3	1,5
4	Система автоматики, СЭП	228	7,0	1,6
5	РТК и телеметрия	109	8,7	0,9
6	Система жизнеобеспечения	100	3,3	0,3
7	Система терморегулирования	98	4,0	0,4
8	Кресла и амортизация	150	2,7	0,4
9	ДУ СОС и управления аэрод. качеством	183	4,0	0,7
10	Парашютно-реактивная система	460	2,3	1,1
11	Прочие системы	457	4,0	1,8
12	Экипаж	285	-	-3,0
Итого		3800	-3,0	10,6
Сборка и отработка (20%)				2,1
Всего				12,7

Таблица 5.4.8

Стоимость изготовления ФТМ

№№ п/п	Наименование систем	G_i , кг	ξ_i , уде/кг	C_i , тыс. уде
1	Конструкция	1510	1,0	1,5
2	СОУД	940	4,0	3,8
3	Система сближения и стыковки	480	3,3	1,6
4	Комплексная РТС	100	8,7	0,9
5	Средства навигации, связи и ТВ	100	4,7	0,5
6	Система бортовых измерений	160	4,3	0,7
7	СУ бортовым комплексом	300	5,3	1,6
8	СЖО	700	2,7	1,9
9	Двигательная установка	700	2,3	1,6
10	Система электропитания	360	6,0	2,2
11	Научная аппаратура	1400	6,7	9,4
12	Бортовая кабельная сеть	450	1,7	0,8
Итого		7200	3,7	26,5
Сборка и отработка (20%)				5,3
Всего				31,8

типа «Алмаз» в условных денежных единицах, отнесенных к весу.

Результаты расчетов по формулам (5.5.5)-(5.5.9) стоимости изготовления ДОС, предназначенной для наблюдения и исследования природных ресурсов Земли, выполненных с использованием удельных стоимостей, представлены в табл.5.4.5. Стоимость выполнения сборочных работ и комплексной отработки ДОС с использованием контрольно-проверочной аппаратуры условно принята в размере 15% от стоимости комплектующих систем и конструкции станции. Приближенная оценка стоимости изготовления ДОС определяется по эмпирической зависимости:

$$(C_{\text{дос}})_{\text{изг}} = 22 + 2,6 G_{\text{дос}}$$

(при $10 \text{ т} < G_{\text{дос}} < 30 \text{ т}$),

где значение начального веса станции $G_{\text{дос}}$ представлено в тоннах, а стоимость в тысячах уде.

Результаты расчетов стоимости изготовления УГКС приведены в табл.5.4.6. А стоимость изготовления возвращаемого аппарата (ВА) с экипажем из 3-х человек представлена в табл.5.4.7. В качестве примера в табл.5.4.8 приведены также расчеты стоимости изготовления ФТМ, стыкуемого с ДОС для проведения экспериментально-исследовательских работ.

5.4.6. Оценка стоимости выведения КА на орбиту

Стоимость запуска КА определяется стоимостью изготовления используемой для его выведения

ракеты-носителя, при расчете которой необходимо учитывать количество ступеней и их взаиморасположение, объем топливных баков и применяемые компоненты топлива, тип двигателей и число камер сгорания, характеристики аппаратуры управления и др. Каждый вывод на рабочую орбиту требует расхода РН, которые являются одноразовыми, а также топлива и амортизации СК. Если рабочая орбита существенно отличается от опорной, то еще требуется разгонная ступень (межорбитальный космический буксир).

В настоящее время имеется достаточное число сравнительно дешевых и надежных из уже разработанных РН, способных вывести (в том числе с использованием доразгонного блока) на околоземную орбиту полезные нагрузки в широком интервале значений:

$$1,5 \text{ т} < G_{\text{РН}} < 100 \text{ т.}$$

В табл.5.4.9 приведены основные характеристики РН для вывода ПН

на опорные ($m_{\text{РН}}^{\text{оп}}$) и геостационарные ($m_{\text{РН}}^{\text{ге}}$) орбиты. Как говорилось выше, для расчета стоимости выведения, стоимость РН следует умножить на коэффициент, учитывающий затраты на эксплуатацию наземных комплексов.

В качестве примера в табл.5.4.10 приведены результаты расчета затрат на подготовку и запуск ДОС «Салют» (типа «Алмаз») или модулей станции «Мир» с помощью РН «Протон».

5.5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СТОИМОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

5.5.1. Оценка затрат на транспортную операцию

Современный уровень развития РКТ приводит к необходимости проведения оценки ее экономической эффективности, к выбо-

Таблица 5.4.9

Основные характеристики ракет-носителей

№№ п/п	Наименование РН	m_0 , т	$m_{\text{РН}}^{\text{оп}}$, т	$m_{\text{РН}}^{\text{ге}}$, т	$C_{\text{РН}}$, тыс.уде	$\mu_{\text{РН}}^{\text{пн}}$, %	$\eta_{\text{РН}}^{\text{пн}}$, кг/уде
1	Циклон-2	182	2,7	-	7 - 8	1,48	0,34-0,38
2	Циклон-3	189	3,6	-	8 - 9	1,90	0,40-0,45
3	Союз	317	7,1	-	6 - 7	2,24	1,01-1,18
4	Нева	220	5,0	-	8 - 10	2,27	0,50-0,63
5	Русь	309	7,5	-	10 - 14	2,27	0,50-0,70
6	Зенит-2	459	13,7	1,1	14 - 17	3,01	0,99-1,38
7	Протон-К	700	21,0	2,4	17 - 20	3,00	1,05-1,24
8	Протон-М	700	22,0	3,0	27 - 33	3,14	0,67-0,81
9	Энергия-М	1060	35,0	7,0	100-133	3,30	0,26-0,35
10	Энергия	2850	105,0	20,0	460-600	3,96	0,16-0,21

Таблица 5.4.10

Расходы на подготовку и запуск ДОС с помощью РН "Протон-К"

№№ п/п	Наименование работ	Стоимость, тыс. уде
1	Работы на ТП в МИК КА: - дооборудование рабочих мест; - транспортировка ДОС и РН; - выполнение технологических операций; - комплексная проверка ДОС; - комплексная проверка РН; - подготовка головного обтекателя (ГО); - сборка ДОС, РН и ГО; - электрическая проверка сборки перед вывозом на СП	11,0 5,0 0,3 1,8 1,5 1,0 0,3 0,8 0,3
2	Работы на СП: - дооборудование СК; - транспортировка на СП; - установка РН с ДОС на ПУ; - подключение разъемов и трубопроводов; - заправка РН компонентами топлива; - предстартовая проверка ДОС и РН	11,0 7,0 0,2 0,2 0,2 2,7 0,7
3	Затраты на пуск: - ракета-носитель "Протон"; - амортизация ПУ; - ремонтно-восстановительные работы	23,2 16,7 5,3 1,2
4	Затраты на выведение ДОС на начальную орбиту и управление полетом: - дооснащение средств наземного КИКа; - выведение на начальную орбиту; - связь с ДОС, прием и передача команд при начальных сеансах связи после вывода	20,0 10,0 6,7 3,3
5	Прочие неучтенные работы и расходы	5,8
Всего		70,0

ру параметров космических систем и ЛА с учетом экономических характеристик. Однако вопросы прогнозирования экономических показателей БТС на ранних стадиях проектирования еще не достаточно изучены. Это связано со сложностью самих систем, трудностью выбора вариантов из множества альтернатив при большой степени структурной неопределенности, а также с проблемами

прогнозирования вида и объема предстоящих работ на всех этапах жизненного цикла.

Принятый выше критерий экономической отдачи должен учитывать полезность изделия и величину, заложенного в него общественного труда. Полезность ТКС и транспортных космических кораблей проявляется на этапе эксплуатации, может характеризоваться количеством перевозимого

груза или экипажей. А общественный труд принято отражать экономическими затратами. Наибольшую сложность представляет именно расчет этих затрат.

В основе критериев R и η лежит стоимость транспортной операции, которая формируется на основе учета полных затрат, куда входят:

- стоимость одноразового транспортного КА и РН,
- затраты на топливо и другие расходные компоненты,
- амортизация средств наземного обеспечения,
- затраты на пуск и управление полетом,

Для многоразовых ТКК должны учитываться амортизация многоразовых элементов и затраты на подготовку их к повторно-му пуску.

Поскольку в стоимость операции включены капитальные и текущие затраты, то для их правильного учета следует применять коэффициент временного приведения затрат:

$$C_{оп} = C_{тек} + E_n C_{кап} + E_{пр} C_{др}, \quad (5.5.1)$$

где $C_{тек}$, $C_{кап}$ и $C_{др}$ — текущие годовые, капитальные и другие затраты;

E_n и $E_{пр}$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений и коэффициент дисконтирования, то есть приведения различных долгосрочных затрат к текущему моменту.

Для машиностроительных отраслей принимался $E_n = 0,15$ (срок окупаемости около 6 лет) [7]. Для расчета коэффициента приведения используется формула [7]:

$$E_{пр} = (1 + k_{пр})^t, \quad (5.5.2)$$

где $(+t)$ или $(-t)$ — период «будущего» или «прошлого» времени в годах,

$k_{пр}$ — норматив приведения разновременных затрат к одной дате ($k_{пр} = 0,08$).

Прогнозирование затрат сопряжено с необходимостью учета большого числа разнородных факторов в условиях неполной информации, недостаточной достоверности статистических данных. Расчет затрат ведется как по элементам БТС, так и по активным системам (НИИ, ОКБ, завод и т.д.). Поэтому необходимо применять модели различных типов. В простейшем случае, если операция выполняется одноразовым ТКА, то можно использовать следующую формулу:

$$C_{оп} = C_{тка} + k_{выв} C_{рн}, \quad (5.5.3)$$

где $C_{тка}$ и $C_{рн}$ — средние стоимости изготовления ТКА и РН, $k_{выв}$ — коэффициент выведения, учитывающий текущие затраты (топливо и т.п.) и амортизацию наземных средств СК и КИКа.

В ряде случаев следует учитывать затраты на разработку, тогда

$$(C_{оп})^* = C_{разр}/N_{сер} + C_{тка} + k_{выв} C_{рн}, \quad (5.5.4)$$

где $C_{\text{разр}}$ — затраты на разработку ТКА,

$N_{\text{сер}}$ — размер заводской серии.

Для многократно используемых ТКА необходимо учитывать дополнительные эксплуатационные расходы:

$$(C_{\text{оп}})_{\text{мн}}^* = (C_{\text{разр}} / N_{\text{сер}} + C_{\text{тка}}) / (N_{\text{кр}} + C_{\text{рв}} + k_{\text{выв}} C_{\text{рн}}) \quad (5.5.4a)$$

где $N_{\text{кр}}$ — кратность использования ТКА,

$C_{\text{рв}}$ — текущие затраты на ремонтно-восстановительные работы и подготовку к повторному пуску. Если используется серийный носитель и последняя составляющая затрат ($k_{\text{выв}} C_{\text{рн}}$) известна, то достаточно определить стоимость изготовления ТКА.

5.5.2. Методика параметрического анализа стоимости КА

Чтобы исследовать экономическую функцию ТКА необходимо увязать весовые и стоимостные характеристики. Для этого на этапе предварительного проектирования можно использовать удельно-стоимостной метод, по которому стоимость любого элемента аппарата выражается линейной зависимостью (см. табл. 5.4.4):

$$C_i = \xi_i G_i, \quad (5.5.5)$$

где C_i , G_i — стоимость и вес i -го элемента конструкции или бортовой системы ТКА;

ξ_i — удельные стоимости соответствующих i -ых элементов ТКА.

Тогда, в общем случае полная стоимость изготовления ТКА равна:

$$(C_{\text{тка}})_{\text{изг}} = (1 + K_{\text{сб}}) \sum_i C_i = (1 + K_{\text{сб}}) \sum_i \xi_i G_i, \quad (5.5.6)$$

где $K_{\text{сб}}$ — коэффициент, учитывающий затраты на проведение монтажно-сборочных работ и отработку ТКА.

По аналогии с методикой определения полного веса ТКА, изложенной в параграфе 5.3, представим величину стоимости ТКА в зависимости от веса его полезной нагрузки:

$$\begin{aligned} C_{\text{тка}} = C_{\text{const}} + C_{\text{var}} = & [\xi_I (G_{\text{const}})_I + \xi_{II} (G_{\text{const}})_{II} + \xi_{III} (G_{\text{const}})_{III}] + \\ & + \xi_{\text{сوجد}} G_{\text{сوجد}} + [\xi_K (k_K - 1) k_{\text{рв}} k_M + \xi_{\text{рв}} (k_{\text{рв}} - 1) k_M + \xi_M^H (k_M - 1)] \times \\ & \times \{ (G_{\text{const}})_I + (1 - \alpha) G_{\text{гд}} + k_T [(G_{\text{const}})_{II} + k_B (\alpha G_{\text{гд}} + G_{\text{экип}} + (G_{\text{const}})_{III} + G_{\text{сوجد}})] \} + \\ & + \xi_T^H (k_T - 1) \{ (G_{\text{const}})_I + k_B (\alpha G_{\text{гд}} + G_{\text{экип}} + (G_{\text{const}})_{III} + G_{\text{сوجد}}) \} + \\ & + \xi_B (k_B - 1) (\alpha G_{\text{гд}} + G_{\text{экип}} + (G_{\text{const}})_{III} + G_{\text{сوجد}}). \end{aligned} \quad (5.5.7)$$

Здесь введены обозначения: C_{const} и C_{var} — стоимости постоянной и переменной составляющих веса;

ξ_I , ξ_{II} , ξ_{III} , $\xi_{\text{сوجد}}$ — удельные стоимости соответствующих (по

отсекам) постоянных составляющих и СОЖД;

$\xi_k, \xi_{рв}, \xi_v$ — удельные стоимости соответствующих переменных составляющих;

ξ_M^H, ξ_T^H — нормализованные коэффициенты удельных стоимостей маневра и торможения с учетом того, что удельная стоимость топлива на два порядка меньше, чем у конструкции.

Выражение (5.5.7) можно упростить, введя обобщающие стоимостные коэффициенты E_j :

$$C_{тка} = \sum_i \xi_i (G_{const})_i + \xi_{сожд} G_{сожд} + E_I [(G_{const})_I + (1-\alpha)G_{гд}] + E_{II} [(G_{const})_{II} + E_{III} [\alpha G_{гд} + G_{экип} + (G_{const})_{III} + G_{сожд}]], \quad (5.5.7a)$$

$$\begin{aligned} E_0 &= [\xi_k (k_k - 1) k_{рв} + \xi_{рв} (k_{рв} - 1)]; \\ E_I &= [E_0 k_M + \xi_M^H (k_M - 1)]; \quad (5.5.8) \\ E_{II} &= [E_I k_T + \xi_T^H (k_T - 1)]; \\ E_{III} &= [E_{II} k_v + \xi_v (k_v - 1)]. \end{aligned}$$

Таблица 5.5.1
Основные стоимостные характеристики обеспечивающих КА

№	Характеристика	Тип обеспечивающего КА					
		ГП	ГАН	ГВ	ГНК	МКБ	АС
1	Стоимостные коэффициенты, уде/кг:						
	ξ_I	2,11	2,32	2,20	4,00	2,66	2,11
	ξ_{II}	2,30	-	2,20	-	2,30	2,30
	ξ_{III}	2,55	-	0,84	-	-	2,55
	$\xi_{сожд}$	1,80	-	-	-	-	1,80
	ξ_k	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	$\xi_{рв}$	1,75	1,75	1,75	1,25	1,75	1,75
	ξ_v	2,10	2,20	2,30	-	1,80	2,10
	ξ_T	2,06	-	2,30	-	-	2,06
	ξ_M^H	0,66	0,78	0,63	-	0,54	0,51
	ξ_T^H	1,06	-	0,90	-	-	1,06
	ξ_v	1,90	-	1,70	-	-	2,00
	E_0	0,35	0,35	0,60	0,22	0,84	0,50
E_I	0,48	0,51	0,47	0,22	1,37	0,75	
E_{II}	0,62	0,51	0,60	0,22	1,37	0,94	
E_{III}	3,30	0,51	0,99	0,22	1,37	5,02	
2	Полная стоимость, тысяч уде ($C_{тка}$) _j	7,71	4,87	5,25	1,59	5,41	7,75
3	Удельная стоимость, уде/кг ($\xi_{тка}$) _j	1,44	1,39	1,14	1,23	1,05	1,21
4	Коэффициент экономической отдачи, кг/уде [($\eta_{пн-тка}$) _j]	0,06	0,18	0,11	0,19	-	-

Следовательно, полную стоимость, также как и вес по формулам (5.3.3) и (5.3.10), можно разделить на постоянную и переменную составляющие: $C_{\text{тка}} = C_{\text{const}} + C_{\text{var}}$

Здесь, конечно, не включается стоимость доставляемой ПН. Затраты, определяемые постоянными составляющими, не зависят от веса ТКА и веса ПН. Они для каждого типа транспортного КА на данном уровне развития техники будут постоянными и рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{const}} = (\xi_I + E_I)(G_{\text{const}})_I + (\xi_{II} + E_{II}) \times (G_{\text{const}})_{II} + (\xi_{III} + E_{III})(G_{\text{const}})_{III}. \quad (5.5.76)$$

Переменная составляющая ТКА зависит от количества членов экипажа и от веса доставляемых и возвращаемых грузов:

$$C_{\text{var}} = [(\xi_{\text{сoжд}} + E_{III})G_{\text{сoжд}} + E_{III} \times G_{\text{экип}}] + [E_I + \alpha(E_{III} - E_I)G_{\text{гд}}]. \quad (5.5.76)$$

Если принять количество членов экипажа ТКА ($G_{\text{экип}} = N_{\text{экип}} G_{\text{косм}}$) заданным и изменять лишь веса грузов, то при их нулевых ($G_{\text{гд}} = 0$, $G_{\text{гв}} = 0$) значениях можно зафиксировать некоторую минимальную стоимость ТКА:

$$(C_{\text{тка}})_{\text{min}} = C_{\text{const}} + (\xi_{\text{сoжд}} + E_{III}) \times G_{\text{сoжд}} + E_{III} G_{\text{экип}}. \quad (5.5.76)$$

Пример расчетов по данной методике представлен в табл.5.5.1.

5.6. МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РАЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ КТР

5.6.1. Методология построения моделей рационального резервирования бортовых систем ТКА

При формировании КТР важнейшей задачей является отыскание разумных значений его основных характеристик, одной из которых будет закладываемая при разработке надежность. Допустим она характеризуется безотказностью работы. В принципе можно безотказность повышать до любого значения, добившись для некоторого агрегата увеличения ее, например, с 0,9 до 0,99. Но можно получить и 0,9999. С этой целью придется увеличивать толщину конструкционных элементов, применять более прочные материалы, резервировать и т.п. Все эти меры приведут к увеличению массы агрегата и его стоимости. Поэтому и возникает необходимость разработки и использования моделей рационального резервирования бортовых систем ТКА. Допустим, имеется набор нескольких КТР, предназначенных для решения одной и той же функциональной задачи на заданном уровне целевого критерия. В нетривиальных случаях в этом наборе пересекающихся по показателям веса, надежности и стоимости будут находиться КТР, среди множества которых можно выделить несколько вариантов для сравнения [3]:

$$1) G_i < G_{i+1}; p_i > p_{i+1}; C_i > C_{i+1};$$

$$2) G_i < G_{i+1}; p_i < p_{i+1}; C_i < C_{i+1};$$

$$3) G_i > G_{i+1}; p_i > p_{i+1}; C_i < C_{i+1}.$$

Очевидно, что в варианте

$$4) G_i < G_{i+1}; p_i > p_{i+1}; C_i < C_{i+1}$$

вывод ясен и никакой теории не требуется.

Предлагается выбор таких КТР, которые описываются вариантами 1, 2 и 3, осуществлять путем оптимизации критериальных диаграмм «коэффициент полезной нагрузки-надежность» и диаграмм «коэффициент экономической отдачи-надежность».

При построении моделей, основанных на расчете весовых и надежности характеристик, будем учитывать ряд факторов и ограничений, среди которых важнейшими будут следующие.

Первым блоком ограничений являются решаемые ТКА задачи и условия его применения. Этим определяется номенклатура бортовых систем и элементов, потребности в топливе, время функционирования, вид и характеристики полезной нагрузки.

Вторым ограничивающим условием будет способность РН вывести ТКА на орбиту с заданными параметрами. Каждый носитель может вывести КА массой не более некоторого значения G_0 . Эта величина выступает естественным ограничением при решении задачи повышения надежности ТКА, так как определяют весовые границы по резервированию.

Третьим ограничивающим условием будут существующие воз-

можности промышленности по изготовлению бортовых систем, оборудования и элементов конструкции. Очевидно, что каждая бортовая система при наложении требований по предельному значению веса G_{bc} будет обладать даже при самом оптимальном ее построении некоторой предельной величиной показателя надежности p_{bc} . Попытка превзойти это значение приведет к увеличению G_{bc} . Таким образом для каждого типа бортовой аппаратуры и конструкции можно построить функции вида $p_{bc}(G_{bc})$ или $p_k(G_k)$, отражающие уровень совершенствования и состояния промышленности в конкретный исторический момент времени в конкретной стране, даже в конкретном КБ и на конкретном заводе.

Четвертым фактором, влияющим на выбор модели, оказываются наличие исходных данных, необходимых для проведения расчетов.

Методологию решения задачи рационального резервирования проиллюстрируем на примере транспортного КА типа автоматического грузового невозвращаемого контейнера (ГНК), у которого имеется только одна постоянная (аппаратура бортовых систем весом G_{const}) и одна переменная (конструкция весом G_{var}) составляющие. Алгоритм модели базируется на построении оптимальной диаграммы «коэффициент полезной нагрузки-надежность» (5.2.2).

Вес ГНК определяется зависимостью:

$$G_0 = (G_{гд} + G_{вар} + G_{const}) = (G_{гд} + G_I + G_{II}) = k(G_{гд} + G_{const}), \quad (5.6.1)$$

а надежность формулой:

$$P_{тка} = P_I \times P_{II}, \quad (5.6.2)$$

где $P_I = P_{вар}$ и $P_{II} = P_{const}$ — вероятность безотказной работы переменной и постоянной составляющих ТКА.

Для простоты демонстрации предлагаемого метода оптимизации диаграммы примем последовательную структурную схему надежности, соответствующую формуле (5.6.2). Имея исходные характеристики элементов конструкции и бортовых систем, можно расчетным путем получить зависимости $p_k(G_k) = p_k(k, w_k)$ и $p_{бс}(G_{бс}) = p_{бс}(w_{бс})$, учитывающие степень резервирования w_k и $w_{бс}$.

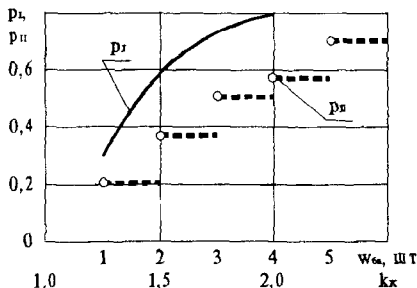


Рис.5.6.1. Зависимость безотказности от уровня резервирования при $p_{бл}=0,2$ и $p_k=0,3$

Анализ статистической информации позволил получить систему соответствующих уравнений:

$$k = \frac{1}{L_1 - w_k L_2}; \quad (5.6.3)$$

$$p_I = 1 - (1 - p_k)^{w_k}; \quad (5.6.4)$$

$$G_{const} = w_{const} \times G_{бл}; \quad (5.6.5)$$

$$p_{II} = 1 - (1 - p_{бл})^{w_{бл}}. \quad (5.6.6)$$

Здесь $w_k = w_I$ и $w_{const} = w_{II} = w_{бл}$ — степени резервирования (при отсутствии резерва $w_i=1$);

L_1 и L_2 — статистические коэффициенты по конструкции;

$G_{бл}$, $p_{бл}$ и $w_{бл} = w_{const}$ — вес (масса) одного минимального (без резерва) блока постоянной составляющей, его надежность и количество таких блоков с учетом резервных.

Графический пример зависимостей (5.6.3)-(5.6.6) представлен на рис.5.6.1. Решая совместно попарно

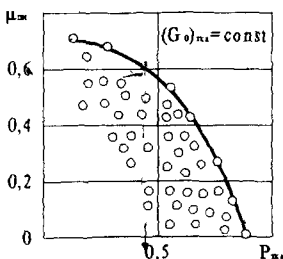


Рис.5.6.2. Предельная диаграмма $\{(P_{II})_{тка} - (P_{тка})\}$

эти уравнения, получим аналитические зависимости для функций вида $P_I = P_I(k, p_K)$ и $P_{II} = P_{II}(G_{бл}, p_{бл})$, что позволяет определить надежность ТКА в целом:

$$P_{тка} = [1 - (1 - p_K)^{(L_1/L_2 - 1)/(kL_2)}] \times [1 - (1 - p_{бл})^{(G_{const}/G_{бл})}] \quad (5.6.7)$$

Повышение надежности $P_{тка}$ может идти одновременным или раздельным увеличением кратности резервирования переменной и постоянной составляющих, то есть увеличением коэффициента k или массы G_{const} отводимой под блоки аппаратуры. Но так как предельное значение G_0 ограничено возможностями РН, то это вызовет уменьшение $G_{гд}$, т.е. повлечет снижение коэффициента полезной нагрузки (и экономичес-

кой отдачи). Подобные тенденции иллюстрируются рис. 5.6.2, где точки соответствуют конкретным вариантам резервирования. Некоторая предельная надежность ТКА $\max P_{тка}(W)$ достигается в точке $G_{гд} = 0$. Другой крайней точкой на графике представлен случай, когда не резервируется ни один бортовой элемент (все $w_i = 1$), что позволяет получить $\max G_{гд}$ но при минимальной надежности $\min P_{тка}$. Переходя от веса полезной нагрузки к коэффициенту $\mu_{гд}$ и варьируя значениями кратности резервирования w_i бортовых систем и элементов конструкции, можно получить большое количество промежуточных точек между двумя крайними. Каждой точке соответствует вариант ТКА, определяемый вектором $W = (w_K, w_{бл})$. Главная задача, решаемая с помощью моделей, на множестве точек

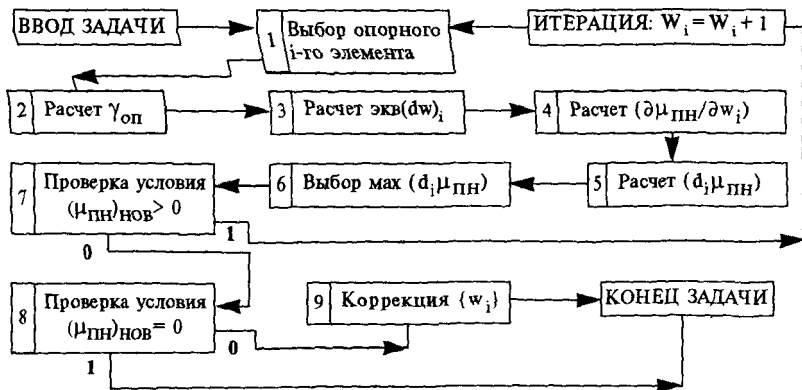


Рис. 5.6.3. Блок-схема алгоритма модели оптимизации диаграммы $\{(\mu_{ПН})_{ТКА} - (P_{ТКА})\}$

$\{(\mu_{\text{пн}})_{\text{ТКА}} - (P_{\text{ТКА}})\}$ построить функцию предельной огибающей, которая и будет являться диаграммой оптимальных значений.

Алгоритм оптимизации построен следующим образом (рис.5.6.3):

1. На начальном шаге ($j=1$) выбирается в качестве опорного элемента какая-либо i -ая дискретная составляющая $(w_{\text{const}})_i$ и для нее принимается начальная степень резервирования $(dw_{\text{const}})_{\text{оп}}=1$.

2. Рассчитывается изменившаяся возросшая надежность

$$(P_{\text{II}})_{\text{оп}} = P_{\text{II}}\{(w_{\text{const}})_i + (dw_{\text{const}})_i\} \quad (5.6.8)$$

и соответствующий дифференциал (с отрицательным знаком) коэффициента полезной нагрузки:

$$(d\mu_{\text{пн}})_{\text{оп}} = d\mu_{\text{пн}}(dw_i), \quad (5.6.9)$$

приводящий к новому уменьшенному значению коэффициента, соответствующему случаю применения этого резервирования:

$$\begin{aligned} (\mu_{\text{пн}})_{\text{нов}}\{(w_{\text{const}})_i + (dw_{\text{const}})_i\} = \\ = (\mu_{\text{пн}})_{\text{стар}} + (d\mu_{\text{пн}})_{\text{оп}} \end{aligned} \quad (5.6.10)$$

3. Если после такого изменения коэффициент полезной нагрузки остается положительным, т.е. $(\mu_{\text{пн}})_{\text{нов}} > 0$, то проводится оценка того, во сколько раз увеличилась надежность относительно исходной, рассчитываемая по формуле:

$$\gamma_{\text{оп}} = \frac{P_{\text{II}}\left[\left(w_{\text{const}}\right)_i + d\left(w_{\text{const}}\right)_i\right]}{P_{\text{II}}\left(w_{\text{const}}\right)_i} \quad (5.6.11)$$

4. Проводятся расчеты степени потребного приращения резерва экв w_i для всех конкурирующих i -ых элементов, если резервирование начинать с них. Должно соблюдаться условие равнонадежности, т.е. обеспечивается эквивалентность резервирования: $\gamma_i = \gamma_{\text{оп}}$. Для всех i -ых элементов определяются $d\mu_{\text{пн}} = d\mu_{\text{пн}}(dw_i)$, которые ранжируются по величине.

5. Выбирается в качестве конкурирующего самый лучший (i)_{луч} (или первый по рангу) элемент из условия: $\max_i d\mu_{\text{пн}}(dw_{\text{оп}i})$.

6. Сравниваются значения «уменьшений» (ведь все дифференциалы с отрицательным знаком) коэффициента полезной нагрузки «опорного» и «лучшего» элементов:

а) если $d\mu_{\text{пн}}(dw_{\text{оп}}) \geq d\mu_{\text{пн}}(dw_{\text{луч}})$, то резервируется «опорный»;

б) если $d\mu_{\text{пн}}(dw_{\text{оп}}) < d\mu_{\text{пн}}(dw_{\text{луч}})$, то резервируется «лучший» и он для следующего шага становится «опорным».

7. Операции по пунктам 2-6 повторяются до тех пор, пока не исчерпается резерв веса, т.е. до появления условия $(\mu_{\text{пн}})_{\text{нов}} \leq 0$. На этом расчет диаграммы прекращается.

В случае выбора более сложных по компоновке и составу бортовых систем ТКА, нежели ГНК, algo-

ритм остается таким же, так как он позволяет в каждом конкретном случае легко менять состав и количество элементов в формуле (5.6.7) и усложнять ее в соответствии со структурной схемой надежности ТКА. При этом возрастает количество конкурирующих элементов. Появляется также возможность в зависимости от статистических или физических соображений применять иные формулы для оценки вероятности вместо (5.6.3) и (5.6.4), а также вместо (5.6.5) и (5.6.6) для оценки влияния степени резервирования. Такая общность алгоритма позволяет реализовать (выделяя необходимое количество элементов) любую степень детализации КТР на различных иерархических уровнях, а также проводить частную оценку эффективности конкретного КТР или сравнивать между собой несколько похожих. Однако при этом резко возрастает объем счета для ЭВМ. Поэтому целесообразно использовать градиентный метод наискорейшего подъема (спуска), специфика применения которого в нашем случае требует особого рассмотрения.

$$\mu_{\text{пн}} = \frac{G_{\text{пн}}}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha(k_4 k_5 - 1)} \left[\frac{1}{k_1 k_2 k_3} - \frac{G_{\text{const}}(W)}{G_0} \right] = \frac{1}{A} \left[B - \frac{B}{G_0} \right] \quad (5.6.12a)$$

Значение «заменителей»: А, В, В очевидно, это упростит алгоритм. Для постоянных составляющих бортовых систем принята схема (5.6.5):

5.6.2. Модель оптимизации диаграммы «коэффициент полезной нагрузки-надежность»

Назначением модели М1, реализующей рассмотренный алгоритм градиентным методом, является построение оптимальной диаграммы «коэффициент полезной нагрузки-надежность»

$$(\mu_{\text{пн}})_{\text{тка}} = \mu_{\text{пн}}(p_{\text{тка}}; G_0; W), \quad (5.6.12)$$

где $W = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7)$ – вектор управляющих оптимизацией параметров, которыми являются степени резервирования элементов ТКА. Здесь компонентами вектора являются:

w_1, w_2, w_3 – соответствуют постоянным весовым составляющим $(G_{\text{const}})_I, (G_{\text{const}})_{II}, (G_{\text{const}})_{III}$;

w_4, w_5, w_6, w_7 – соответствуют переменным весовым составляющим $k_k = k_1; k_m = k_3; k_r = k_4; k_b = k_5$; неизменяющимся принят коэффициент $k_{\text{рв}} = k_2 = \text{const}$.

Тогда, например, для возвращаемого ТКА преобразуем формулу (3.2.12а), введя степени резервирования w_i :

$$\begin{aligned} (G_{\text{const}})_I &= w_1 G_1; \\ (G_{\text{const}})_{II} &= w_2 G_2; \\ (G_{\text{const}})_{III} &= w_3 G_3, \end{aligned} \quad (5.6.14)$$

поэтому

$$G_{\text{сопн}}(W) = w_1 G_1 + w_2 G_2 k_4 + w_3 G_3 k_4 k_5. \quad (5.6.15)$$

Коэффициенты переменных составляющих по аналогии с (5.6.3) равны:

$$k_1(w_4) = \frac{1}{L_1 - w_4 L_2}; \quad (5.6.16)$$

$$k_3(w_5) = \frac{1}{L_3 - w_5 L_4}; \quad (5.6.17)$$

$$k_4(w_6) = \frac{1}{L_5 - w_6 L_6}; \quad (5.6.18)$$

$$k_5(w_7) = \frac{1}{L_7 - w_7 L_8}; \quad (5.6.19)$$

Везде при отсутствии резервирования $w_i=1$. Структурную схему оценки надежности ТКА можно представить с помощью классических формул, описывающих последовательную цепь с параллельным поэлементным резервированием:

$$P_{\text{ТКА}} = \prod_i [1 - (1 - p_i)^{w_i}]. \quad (5.6.20)$$

Это всегда достигается подбором соответствующей технической декомпозиции объекта на независимые бортовые подсистемы и агрегаты, как это требуется согласно принципам декомпозиции и оптимальности БТС.

Для оптимизации критериальной диаграммы «коэффициент по-

лезной нагрузки-надежность» $\{(\mu_{\text{пн}})_{\text{ТКА}} - (P_{\text{ТКА}})\}$ целесообразно, как уже говорилось, использовать градиентный метод наискорейшего подъема (спуска), на каждом шаге обеспечивая условие

$$\max_i \{ \text{эква} dw_i (\partial \mu_{\text{пн}} / \partial w_i) \}, \quad (5.6.21)$$

где $(\partial \mu_{\text{пн}} / \partial w_i)$ — частная производная по степени резервирования i -го элемента, для нашего простейшего случая ($i = 1, \dots, 7$);

$\text{эква} \mu_i$ — значение эквивалентного ее приращения.

Начальное (оно же минимальное) значение надежности ТКА будет соответствовать отсутствию резерва, когда для всех элементов $w_i=1$. Для выявления в цепи надежности рационального звена, которое целесообразно резервировать в первую очередь, реализуем в модели следующую вычислительную процедуру:

1. Для выбранного в качестве опорного дискретного i -го элемента рассчитываем коэффициент увеличения надежности относительно исходной:

$$\gamma_{\text{оп}} = \frac{1 - (1 - P_{\text{оп}})^{(w_{\text{оп}}) + (dw_{\text{оп}})}}{1 - (1 - P_{\text{оп}})^{(w_{\text{оп}})}}. \quad (5.6.22)$$

Так как $(w_{\text{оп}})_i=1$, то принимая приращение степени резервирования $(dw_{\text{оп}})=1$, получим

$$\gamma_{\text{оп}} = 2 - P_{\text{оп}}. \quad (5.6.22a)$$

2. Находим (из условия $\gamma_i = \gamma_{оп}$) эквивалентные значения приращений для всех остальных элементов:

$$\varepsilon_{квд} w_i = \frac{Ln(1 - 2p_i + p_i p_{оп})}{Ln(1 - p_i)} - 1. \quad (5.6.23)$$

Эта формула (Ln — логарифм натуральный) в общем случае (для последующих итераций), когда $(dw)_{оп} > 1$, будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_{квд} w_i = \frac{Ln(1 - \gamma_{оп}) \left[1 - (1 - p_i)^{\gamma_{оп}} \right]}{Ln(1 - p_i)} - w_i. \quad (5.6.23a)$$

3. Из формулы (5.6.12a), используя зависимости (5.6.14)-(5.6.19), находим частные производные:

$$\frac{\partial \mu_{пн}}{\partial w_1} = -\frac{G_1}{AG_0}; \quad (5.6.24)$$

$$\frac{\partial \mu_{пн}}{\partial w_2} = -\frac{G_2 k_3}{AG_0}; \quad (5.6.25)$$

$$\frac{\partial \mu_{пн}}{\partial w_3} = -\frac{G_3 k_3 k_4}{AG_0}; \quad (5.6.26)$$

$$\frac{\partial \mu_{пн}}{\partial w_4} = -\frac{L_2}{Ak_2}; \quad (5.6.27)$$

$$\frac{\partial \mu_{пн}}{\partial w_5} = -\frac{L_4}{Ak_1}; \quad (5.6.28)$$

$$\frac{\partial \mu_{пн}}{\partial w_6} = -\frac{k_3^2 k_4 L_6}{A^2 G_0} \left[\alpha (B G_0 - B) + A \left(w_3 G_3 + \frac{w_2 G_2}{k_4} \right) \right]; \quad (5.6.29)$$

$$\frac{\partial \mu_{пн}}{\partial w_7} = -\frac{k_4^2 k_3 L_8}{A^2 G_0} \left[\alpha (B G_0 - B) + A (w_3 G_3) \right]; \quad (5.6.30)$$

4. Определяем частные дифференциалы (изменения коэффициента полезной нагрузки) из выражения:

$$(\partial_i \mu_{пн}) = \varepsilon_{квд} w_i (\partial_i \mu_{пн} / \partial w_i). \quad (5.6.31)$$

5. Выбирая максимальное значение $\max(\partial_i \mu_{пн})$ среди всех $i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$, определим рациональное звено на данном шаге итерации, для которого при переходе к следующему шагу принимается $dw_i = dw_i + \varepsilon_{квд} w_i$, а для остальных

звеньев оставляем прежние значения: $dw_i = dw_i + 0$.

6. Предложенная вычислительная процедура может быть существенно упрощена (в смысле сокращения количества операций при расчете на ЭВМ) путем учета подобия коэффициентов в формулах (5.6.24)-(5.6.30) для частных производных. с этой целью используется следующая формальная логика:

а) при сравнении элементов $i=1$, $i=2$ и $i=3$ по формулам (5.6.24)-(5.6.26) резервируются:

$$i = 1, \text{ если } \frac{\partial_{КВ} d w_1}{\partial_{КВ} d w_2} < k_3 \frac{G_2}{G_1} \text{ и } \frac{\partial_{КВ} d w_1}{\partial_{КВ} d w_2} < k_3 k_4 \frac{G_3}{G_1}; \quad (5.6.32)$$

$$i = 2, \text{ если } \frac{\partial_{КВ} d w_1}{\partial_{КВ} d w_2} > k_3 \frac{G_2}{G_1} \text{ и } \frac{\partial_{КВ} d w_2}{\partial_{КВ} d w_3} < k_4 \frac{G_3}{G_2}; \quad (5.6.33)$$

$$i = 3, \text{ если } \frac{\partial_{КВ} d w_1}{\partial_{КВ} d w_3} > k_3 k_4 \frac{G_3}{G_1} \text{ и } \frac{\partial_{КВ} d w_2}{\partial_{КВ} d w_3} > k_4 \frac{G_3}{G_2}; \quad (5.6.34)$$

б) при сравнении по формулам (5.6.27) и (5.6.28) вариантов резервирования элементов $i=4$ и $i=5$ принимается рациональным звеном для резервирования $i=4$, если выполняется условие:

$$\left[\frac{L_3}{L_4} - \frac{L_1}{L_2} \frac{\partial_{КВ} d w_5}{\partial_{КВ} d w_4} \right] < \left[w_5 - w_4 \frac{\partial_{КВ} d w_5}{\partial_{КВ} d w_4} \right]. \quad (5.6.35)$$

при невыполнении этого условия резервируется $i=5$.

в) при сравнении элементов $i=6$ и $i=7$ по формулам (5.6.29) и (5.6.30) если выполняется условие:

$$\left[\frac{L_3 k_4}{L_6 k_3} \left[\frac{\partial_{КВ} d w_7}{\partial_{КВ} d w_6} \right] \right] > \left[1 + \frac{w_2 G_2}{k_4 [\alpha (B G_0 - B) + A (w_3 G_3)]} \right], \quad (5.6.36)$$

то резервируется $i=6$, в противном случае $i=7$.

Включение этой вычислительной процедуры в алгоритм осуществляется простой заменой пунктов (1)-(б) на новые.

5.6.3. Модель оптимизации

диаграммы «коэффициент
экономической отдачи-надежность»

$$\eta_{\text{пн}}(W) = \mu_{\text{пн}}(W) G_0 / C_{\text{ТКА}}(W). \quad (5.6.38)$$

Модель M2 построена на тех же принципах, что и рассмотренная M1. При этом предпочтительное звено выбирается из условия максимума дифференциала:

$$\max \{ \partial_{КВ} w_i (\partial \eta_{\text{пн}} / \partial w_i) \}, \quad (5.6.37)$$

следует учитывать, что в коэффициенте экономической отдачи и числитель, и знаменатель содержат переменные w_i , поэтому:

Поэтому частные производные будут определяться из выражения:

$$\begin{aligned} \partial \eta_{\text{пн}} / \partial w_i &= \\ &= \eta_{\text{пн}} \left[(1/\mu_{\text{пн}}) (\partial_i \mu_{\text{пн}} / \partial w_i) - \right. \\ &\quad \left. - (1/C_{\text{ТКА}}) (\partial C_{\text{ТКА}} / \partial w_i) \right]. \end{aligned} \quad (5.6.39)$$

Поскольку частные производные $(\partial_i \mu_{\text{пн}} / \partial w_i)$ коэффициента весовой отдачи получены при разработке модели M1, поэтому

формулы (5.6.24)-(5.6.30) находятся в памяти ЭВМ и автоматически используются в модели М2. Для получения частных производных $(\partial C_{ТКА}/\partial w_i)$ представим стоимость ТКА в виде функции от вектора резервирования (W):

$$C_{ТКА}(W) = \sum_{R=I}^{III} w_R (G_R)_{const} + E_I [w_I (G_I)_{const} + (1-\alpha) G_{гдI}] + E_{II} w_{II} (G_{II})_{const} + E_{III} [w_{III} (G_{III})_{const} + \alpha G_{гд} + G_{экип} + G_{сoжд}]. \quad (5.6.40)$$

Здесь при (R=I, II, III) удельно-стоимостные коэффициенты $E_R(W)$ зависят от степени резервирования переменных весовых составляющих:

$$E_I(w_4, w_5) = E_0(w_4)k_3(w_5) + \xi_3[k_3(w_5)-1]; \quad (5.6.41)$$

$$E_{II}(w_4, w_5, w_6) = E_I(w_4, w_5)k_4(w_6) + \xi_4[k_4(w_6)-1]; \quad (5.6.42)$$

$$E_{III}(w_4, w_5, w_6, w_7) = E_{II}(w_4, w_5, w_6)k_5(w_7) + \xi_5[k_5(w_7)-1]. \quad (5.6.43)$$

В полученных выражениях принято:

$$E_0(w_4) = \xi_2[k_2-1]k_1(w_4) + \xi_1[k_1(w_4)-1]. \quad (5.6.44)$$

С помощью формул (5.6.16)-(5.6.19) и (5.6.41)-(5.6.44) можно рассчитать частные производные функции стоимости ТКА по всем переменным в виде следующих зависимостей:

1. Для оценки целесообразности резервирования КТР конструкции при использовании для расчета $k_1(w_4)$ формулы (5.6.16) получим:

$$\left(\frac{\partial C_{тм}}{\partial w_4} \right) = \sum_{R=I}^{III} w_R (G_R)_{const} \left(\frac{\partial E_R}{\partial w_4} \right) + (1-\alpha) G_{гд} \left(\frac{\partial E_I}{\partial w_4} \right) + \left[w_{III} (G_{III})_{const} + \alpha G_{гд} + G_{экип} + G_{сoжд} \right] \left(\frac{\partial E_{III}}{\partial w_4} \right). \quad (5.6.45)$$

2. Для оценки предпочтительности резервирования КТР в бортовых системах маневрирования формула аналогична предыдущему выражению с заменой (∂w_4) на (∂w_5) .

3. Для оценки КТР в системах торможения ТКА:

$$\left(\frac{\partial C_{тм}}{\partial w_5} \right) = w_{III} (G_{III})_{const} \left(\frac{\partial E_R}{\partial w_5} \right) + \left[w_{III} (G_{III})_{const} + \alpha G_{гд} + G_{экип} + G_{сoжд} \right] \left(\frac{\partial E_{III}}{\partial w_5} \right). \quad (5.6.46)$$

4. Для оценки КТР бортовых систем возвращения:

$$\left(\frac{\partial C_{\text{м}}}{\partial w_7}\right) = [w_{\text{III}}(G_{\text{III}})_{\text{конст}} + \alpha G_c \delta + G_{\text{эм}} + G_{c \text{ о.эб}}] \left(\frac{\partial E_{\text{III}}}{\partial w_7}\right). \quad (5.6.47)$$

5. Для оценки КТР бортовых систем постоянных весовых составляющих всех трех отсеков ($R = \text{I, II, III}$) получим:

$$\left(\frac{\partial C_{\text{м}}}{\partial w_R}\right) = [\xi_R + E_R(W)](G_R)_{\text{конст}}. \quad (5.6.48)$$

6. В формулах (5.6.45)-(5.6.47) используются выражения для частных производных удельно-стоимостных коэффициентов $E_R(W)$ по степени резервирования переменных весовых составляющих:

$$\left(\frac{\partial E_I}{\partial w_4}\right) = [\xi_2(k_2 - 1) + \xi_1]L_2k_1^2(w_4)k_3(w_5); \quad (5.6.49)$$

$$\left(\frac{\partial E_{\text{II}}}{\partial w_4}\right) = \left(\frac{\partial E_I}{\partial w_4}\right)k_4(w_6); \quad (5.6.50)$$

$$\left(\frac{\partial E_{\text{III}}}{\partial w_4}\right) = \left(\frac{\partial E_{\text{II}}}{\partial w_4}\right)k_5(w_7); \quad (5.6.51)$$

$$\left(\frac{\partial E_I}{\partial w_5}\right) = (E_0 + \xi_3)L_4k_3^2(w_5); \quad (5.6.52)$$

$$\left(\frac{\partial E_{\text{II}}}{\partial w_5}\right) = \left(\frac{\partial E_I}{\partial w_5}\right)k_4(w_6); \quad (5.6.53)$$

$$\left(\frac{\partial E_{\text{III}}}{\partial w_5}\right) = \left(\frac{\partial E_{\text{II}}}{\partial w_5}\right)k_5(w_7); \quad (5.6.54)$$

$$\left(\frac{\partial E_{\text{II}}}{\partial w_6}\right) = (E_I + \xi_4)L_6k_4^2(w_6); \quad (5.6.55)$$

$$\left(\frac{\partial E_{\text{III}}}{\partial w_6}\right) = \left(\frac{\partial E_{\text{II}}}{\partial w_6}\right)k_5(w_7); \quad (5.6.56)$$

$$\left(\frac{\partial E_{\text{III}}}{\partial w_7}\right) = (E_{\text{II}} + \xi_5)L_8k_5^2(w_7). \quad (5.6.57)$$

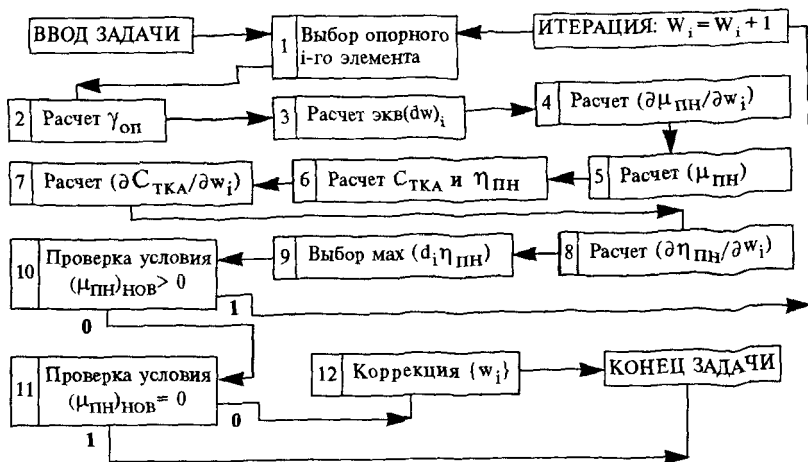


Рис. 5.6.4. Блок-схема алгоритма модели оптимизации диаграммы $\{(\eta_{ПН})_{ТКА} - (P_{ТКА})\}$

7. С помощью модели **M2** (рис. 5.6.4), математическую основу которой составляют формулы (5.6.37)-(5.6.57) и взятые из модели **M1** выражения (5.6.24)-(5.6.30) можно, применяя логику алгоритма модели **M1**, построить оптимальные диаграммы для всего имеющегося набора альтернативных КТР. Применяя эти диаграммы в качестве критериальных, можно сравнивать различные варианты ТКА. Кроме того, эти диаграммы служат в качестве исходных данных для оптимизации на более высоком уровне иерархии ТКС.

5.6.4. Модель оптимизации диаграммы «эффективность транспортной подсистемы – надежность».

В качестве примера рассмотрим алгоритм оценки эффективности транспортной подсистемы доставки грузов на долговременную орбитальную станцию (ДОС). Для заданной годовой программы грузоперевозок $Q_{ГД}$ в качестве критерия надежности принимается вероятность выполнения ее не ниже требуемой $(P_{ГД})_{тр}$.

Для решения задачи только доставки грузов можно использовать ТКА типа «грузовой автоматический (беспилотный) невозвращаемый (ГАН)», который при весе G_0

имеет диаграмму «коэффициент полезной нагрузки – надежность» $\{(\mu_{пн})_{тка} - (p_{тка})\}$, получаемую по методике параграфа 5.6.2. Если на диаграмме выбрать конкретную точку(*), то ГАН ТКА будет (при фиксированном носителе) характеризоваться параметрами $(\mu_{пн})_{тка}^*$ и $(p_{тка})^*$. Приступая к оценке количества ТКА, прежде всего необходимо рассчитать потребное штатное (при идеальной надежности транспортной операции $p_{оп}=1,0$) их число:

$$N_{шт} = \text{Entier} \{Q / [(\mu_{пн})_{тка} G_0]\} + D, \quad (5.6.57)$$

где $D=0$ при $\text{Entier}(x)=x$
и $D=1$ при $\text{Entier}(x)<x$.

Затем определяется вероятность успешного выполнения одной транспортной операции:

$$P_{оп} = P_{тка}(\mu_{пн})_{рпн} P_{ис} P_{вз}, \quad (5.6.58)$$

где dN_{max} – максимальное число дополнительно выделяемых резервных ТКА, которыми располагает подсистема грузовых перевозок;

dN – фактически используемое число резервных ТКА из выделяемых.

$\binom{N_{шт} + dN - 1}{dN}$ – число сочетаний

из $(N_{шт} + dN - 1)$ по (dN) .

Решая обратную задачу при заданной надежности подсистемы,

где $p_{рпн}$ – вероятность вывода ТКА на орбиту («надежность РН»);

$p_{ис}$ – надежность функционирования наземных средств обеспечения старта (СК) и полета (КИК), отказ которых ведет к срыву операции;

$P_{вз}$ – вероятность успешного взаимодействия ТКА с ДОС при стыковке.

В этом случае вероятность успешного функционирования подсистемы:

$$(P_{ис})^* = P_{оп}^{N_{шт}}. \quad (5.6.59)$$

Если эта вероятность ниже требуемой, то понадобится еще дополнительное число резервных ТКА, запускаемых взамен отказавших, в обеспечение заданной надежности. Тогда вероятность успешного функционирования зарезервированной подсистемы определяется по формуле:

$$P_{пц}(N_{шт}, P_{оп}, dN_{max}) = (P_{пц})^* \sum_{dN=0}^{dN_{max}} (1 - P_{оп})^{dN} \binom{N_{шт} + dN - 1}{dN}. \quad (5.6.60)$$

известной надежности операции и штатном количестве ТКА, из уравнения:

$$(P_{гд})_{тр} = p_{ис}(N_{шт}, P_{оп}, dN_{max}) \quad (5.6.61)$$

можно найти максимальное число дополнительных ТКА:

$$dN_{max} = dN_{max} \{(P_{гд})_{тр}, N_{шт}, P_{оп}\}. \quad (5.6.62)$$

Это позволяет определить общее суммарное число ТКА в подсистеме:

$$N_{\text{сум}} = N_{\text{шт}} + dN_{\text{max}} \quad (5.6.63)$$

Однако, ввиду случайного характера отказов при большом числе полетов возможны такие реализации годовой программы, когда не расходуется весь запас резервных ТКА. Тогда они используются переходящим резервом в следующем году (или для других целей). Назовем такой

способ планирования операций с использованием запасных ТКА **гибким скользящим резервированием**, который в отличие от обычного скользящего резервирования позволяет «гибко» учесть экономию от использования остатка запасных ТКА. Для оценки суммарных затрат на подсистему представляет интерес не только предельная численность, оцениваемая по формуле (5.6.57), но и математическое ожидание (M_1) числа всех расходуемых ТКА:

$$M_1(N_{\text{шт}} + dN) = N_{\text{шт}}(P_{гд})_{\text{тр}}^* \left[1 - \sum_{dN=1}^{dN_{\text{max}}} (1 - p_{он})^{dN} \left(\frac{N_{\text{шт}} + dN - 1}{dN} \right) \right] \quad (5.6.64)$$

В данной формуле принято $(P_{гд})_{\text{тр}}^* = (P_{пс})^*$. Она применима для времени активного функционирования ДОС $T_{\text{аф}} = 1$ год и ограниченного значения dN_{max} . С целью учета динамики применения транспортных средств при dN_{max} ,

стремящемся к бесконечности, дополняя численность резервных ТКА, получим полную группу событий. В результате чего с использованием формул (5.6.59)-(5.6.64) уточним математическое ожидание:

$$M_2(N_{\text{шт}} + dN) = \frac{M_1(N_{\text{шт}} + dN)}{P_{пс}(N_{\text{шт}}, P_{он}, dN_{\text{max}})} \quad (5.6.65)$$

Для длительного времени $T_{\text{аф}}$ активного функционирования ДОС (с учетом гибкого скользя-

щего резервирования) можно определить среднегодовые потребности в ТКА по формуле:

$$M_3 \left\{ N_{\text{шт}}, (P_{гд})_{\text{тр}}, P_{он}, T_{\text{аф}} \right\} = M_2(N_{\text{шт}} + dN) + \frac{(N_{\text{шт}} + dN) - M_1(N_{\text{шт}} + dN)}{T_{\text{аф}}} \quad (5.6.66)$$

Поскольку дискретно-рекурсивный характер полученных выражений (5.6.57), (5.6.60), (5.6.64)-(5.6.66) из-за наличия формул комбинаторики не позволяет вывести аналитические

зависимости, то для оптимизации транспортной подсистемы пришлось разработать специальную математическую модель, использующую численные итерационные методы.

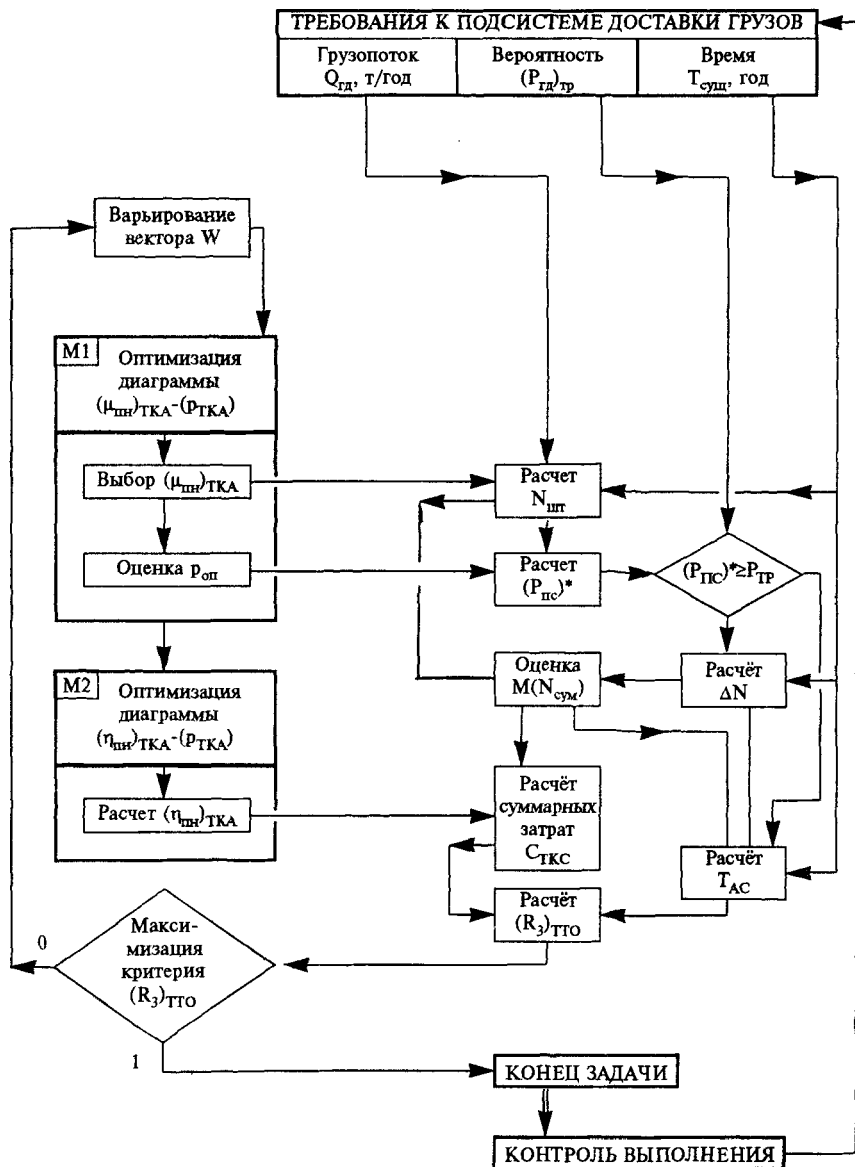


Рис. 5.6.5. Блок-схема алгоритма динамической модели грузовой подсистемы ТКС

Использование модели МЗ вместе с моделями М1 и М2 позволяет находить с помощью диаграммных критериев фиксированные оптимальные значения коэффициента полезной нагрузки и надежности ТКА. Логически процедуру такого поиска легко представить следующими рассуждениями. При фиксированной ракете-носителе ограничен предельный вес ТКА. Поэтому повышать его надежность можно лишь за счет уменьшения веса полезной нагрузки, который «отбирается» на резервную аппаратуру. В совокупности это приводит к такому результату, когда повышение надежности уменьшает потребность в запасных ТКА. Но уменьшение полезной нагрузки увеличивает штатное число ТКА. Или наоборот, если растет вес ПН и уменьшается число штатных ТКА, то из-за снижения надежности увеличивается резервный запас аппаратов. Для разрешения этих противоречий используем модель М4, алгоритмическая схема которой представлена на рис.5.6.5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апполонов И.В., Северцев Н.А. Надежность невосстанавливаемых систем однократного применения. — М, Машиностроение, 1972, 212.
2. Лебедев В.В., Крутов В.А. Техническая эффективность пилотируемых космических аппаратов. — М., Машиностроение, 1985.
3. Полтавец Г.А. К вопросу выбора критериев эффективности конструкторско-технологических решений. — В сб.: «Труды XX-XXII чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э Циолковского/ Секция «К.Э Циолковский и научное прогнозирование»// Модели и методы анализа развития техники// ИИЕТ АН СССР, — М., 1989.
4. Полтавец Г.А. К вопросу планирования транспортно-космических систем будущего. — В сб.: «Научные чтения по авиации и космонавтике. 1978». — М., Наука, 1980, 272.
5. Полтавец Г.А. Разработка идеи К.Э Циолковского о многоуровневой оптимизации транспортно-космической системы. Там же.
6. Полтавец Г.А. Особенности выбора критериев эффективности транспортно-космической системы. — В сб.: «Гагаринские чтения по космонавтике и авиации. 1982». — М., Наука, 1984.
7. Саркисян С.А., Старик Д.Э. Экономика авиационной промышленности. — М., Высшая школа, 1980, 368.

«Летун отпущен на свободу,
 Качнув две лопасти свои,
 Как чудище морское в воду,
 Скользнул в воздушные струи.

Уж поздно: на траве равнины
 Крыла измятая дуга . . .
 В сплетеньи проволок машины
 Рука мертвее рычага . . .

Зачем ты в небе был, отважный,
 В свой первый и последний раз?
 Чтоб львице светской и продажной
 Поднять к тебе фиалки глаз?

Иль отравил твой мозг несчастный
 Грядущих войн ужасный вид:
 Ночной летун, во мгле ненастной
 Земле несущий динамит?

А. Блок «Авиатор» (1910 – январь 1912)

ГЛАВА 6

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

6.1. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ВОПРОСОВ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ПРИ СОЗДАНИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

6.1.1. Становление системного подхода в решении проблем надёжности

На начальном этапе развития авиации при конструировании самолетов метод «проб и ошибок» был основным (рис.6.1.1) при учете требований, выдвигаемых техническим заданием (ТЗ) и официальными документами [1,2,8] по надежности и безопасности (Н и Б). По всем недостаткам конст-

рукции, которые выявлялись в процессе испытаний и эксплуатации авиационной техники (АТ) и могли повлиять на безопасность полетов, проводились необходимые доработки. При создании новых самолетов ставилась задача не повторять тех ошибок, которые были выявлены в процессе испытаний и эксплуатации ранее созданных самолетов.

Накопленный опыт создания и эксплуатации отечественных самолетов, изучение зарубежного опыта привели к необходимости системного подхода в решении этих проблем и позволили сформулировать ряд требований к **«Системе обеспечения надежности**

и безопасности полетов». Она должна обеспечивать:

– определение на этапе проектирования всех потенциально возможных отказных ситуаций;

– установление возможных последствий при их возникновении на всех режимах полета и во всех ожидаемых условиях эксплуатации;



Рис. 6.1.1. Обеспечение надежности и безопасности полетов по методу «проб и ошибок»



Рис. 6.1.2. Обеспечение надежности и безопасности полетов с использованием единой модели отказобезопасности

— классификацию по степени опасности (или ущербности) этих отказов;

— разработку норм по допустимым вероятностям возникновения отказов в зависимости от степени опасности (или ущербности);

— на основе полученных знаний и исходя из степени опасности отказов закладывать в конструкцию при проектировании ее безаварийность (т.е. конструкция бортовых систем выполняется такой, чтобы отказы, обычно приводящие к тяжелым последствиям, были бы практически невероятными);

— накапливать полученные знания при проектировании, постройке и эксплуатации конкретного самолета, и использовать их при создании новейших конструкций самолетов.

«Система...» должна обладать высокой гибкостью, способностью к расширению перечня решаемых задач и позволять проводить работы по обеспечению ответственности любым конкретным требованиям по надежности и безопасности полета самолетов различных типов.

Уже на этапе проектирования «Системой...» должно быть предусмотрено создание модели самолета, отражающей свойства надежности и безопасности полета. При разработке **надежно-безопасной модели (НБМ)** самолета в основу была положена концепция изменения информационных потоков, что позволило существенно изменить техноло-

гию процесса проектирования самолета (рис.6.1.2). Эта модель с точки зрения получения информации о всех возможных функциональных отказах (ФО) бортовых систем самолета должна была заменить длительный процесс эксплуатации самолета, во время которой выявляются непредвиденные отказы, влияющие на безопасность полета.

Новая наукоемкая технология обеспечения требований надежности и безопасности полетов с применением НБМ позволяет уже на этапе проектирования предвидеть все потенциально возможные отказы функциональных бортовых систем (ФБС), определить их последствия, оценить степень опасности и вероятность появления. Удастся заранее для критических ФО принять все меры по исключению возможности их возникновения. Выше приведенные условия явились основой для разработки требований к моделированию. НБМ самолета должна отражать имеющуюся информацию и обеспечивать:

1) полный перечень потенциально возможных ФО по всем ФБС самолета;

2) определение последствий ФО;

3) классификацию ФО по степени опасности в соответствии с требованиями «Норм летной годности» (НЛГ) [8];

4) оценку влияния ФО на продолжение и завершение полета;

5) зависимость возникновения ФО ФБС от видов отказов агрегатов;

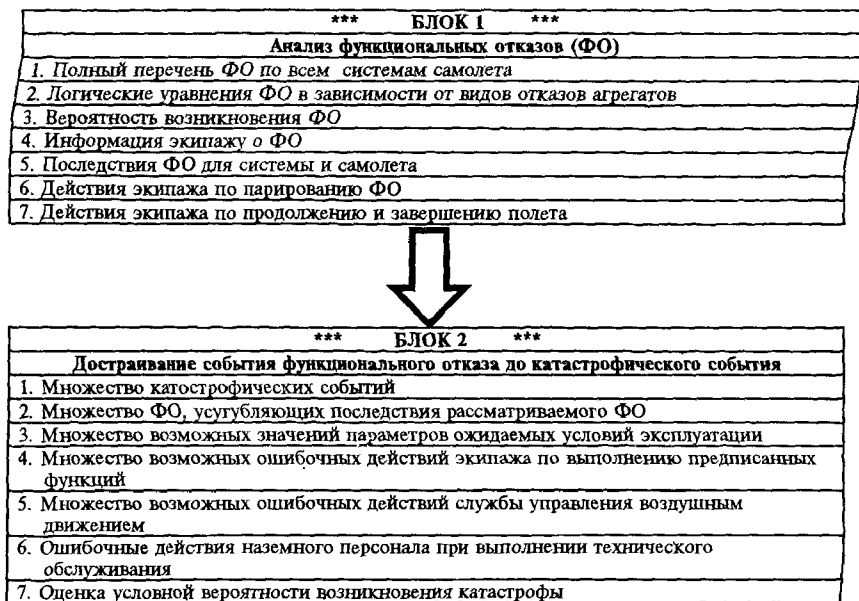


Рис. 6.1.3. Состав надежно-безопасностной модели

6) связь с другими звеньями авиационно-транспортной системы;

7) возможность коррекции по результатам испытаний, эксплуатации или получения новых воздействующих факторов.

На основании этих требований была разработана НБМ самолета, состоящую из двух блоков (их состав представлен на рис.6.1.3). Применяется модель для анализа ФО с использованием специально сформированной базы исходных данных и знаний. Структура этой базы приведена на схеме модели (рис.6.1.4). Рассматриваемая модель должна использоваться (см. рис.6.1.2) на этапах серийного

производства и эксплуатации как эталон потенциально достижимого уровня надежности и безопасности полета и учитывать все возможные изменения в конструкции систем, чтобы доработки не могли бы провоцировать непредвиденные ситуации на самолете. Все эти требования к системному решению вопросов учтены в «Системе обеспечения надежности и безопасности полетов самолетов Ил», созданной в Авиационном комплексе имени С.В. Ильюшина [9,10].

«Система...» предусматривает определенную технологию проектных работ, начиная с ранних этапов проектирования и кончая сер-

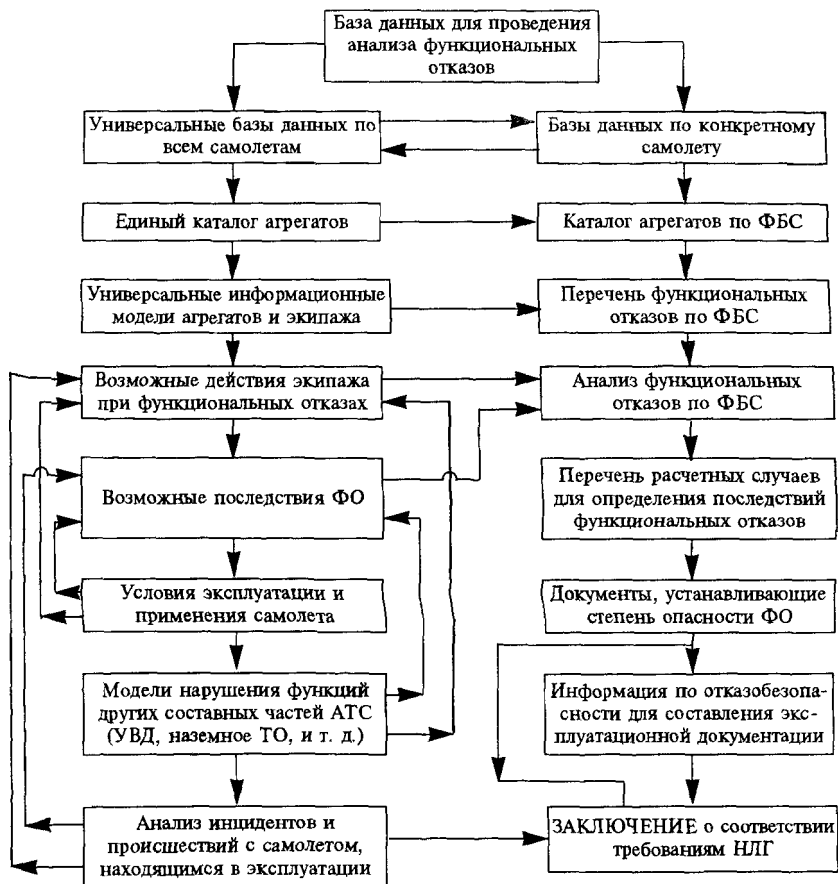
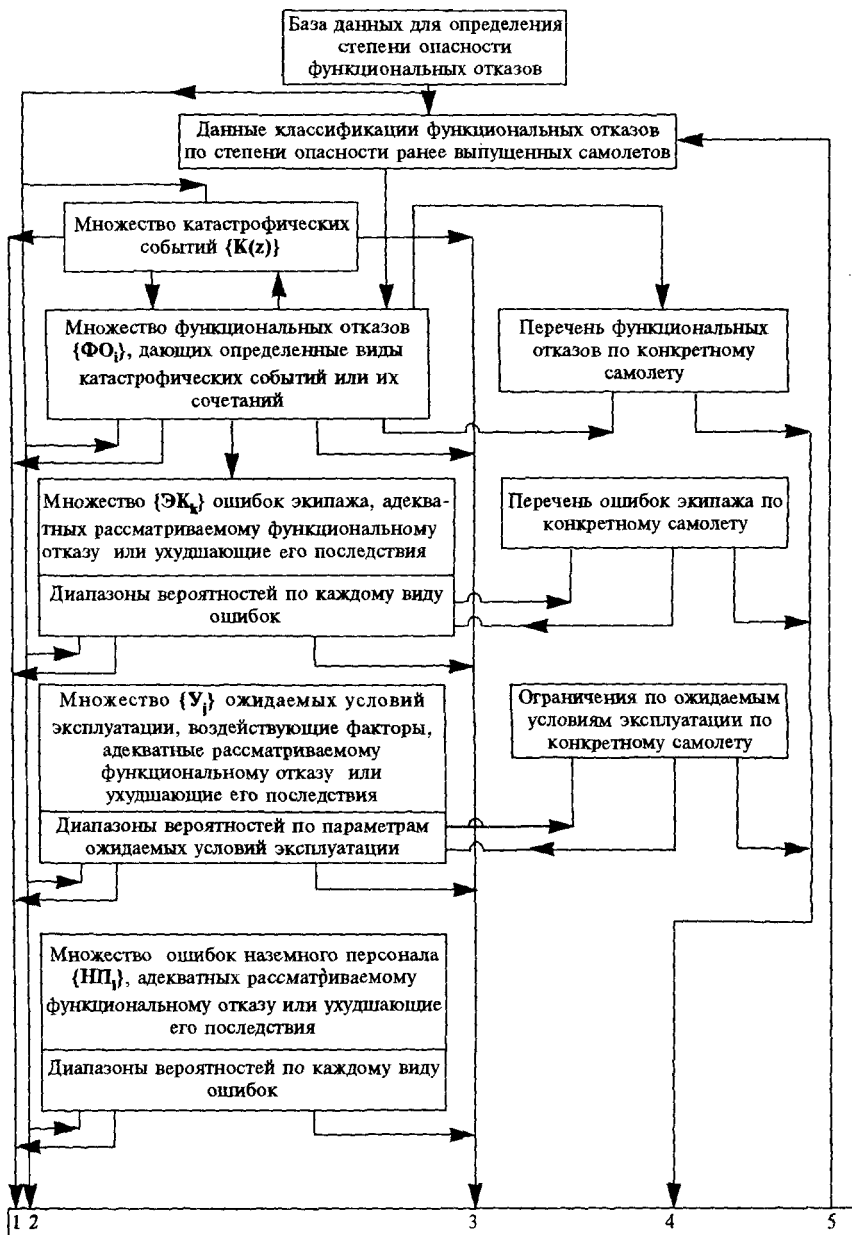


Рис. 6.1.4. Схема модели информационного обеспечения анализа отказобезопасности

тификацией самолета. Выполнение всех этих работ в строгом соответствии с разработанными методиками и имеющимся информационным обеспечением гарантирует достижение требуемых характеристик надежности и безопасности полета самолета. Для выполнения ряда работ созданы новые

методики. Было разработано машинное информационное обеспечение для проведения **автоматизированного анализа отказобезопасности** (рис.6.1.4) и для классификации функциональных отказов по степени опасности (рис.6.1.5). Последствия всех отказов проверялись и подтверждались



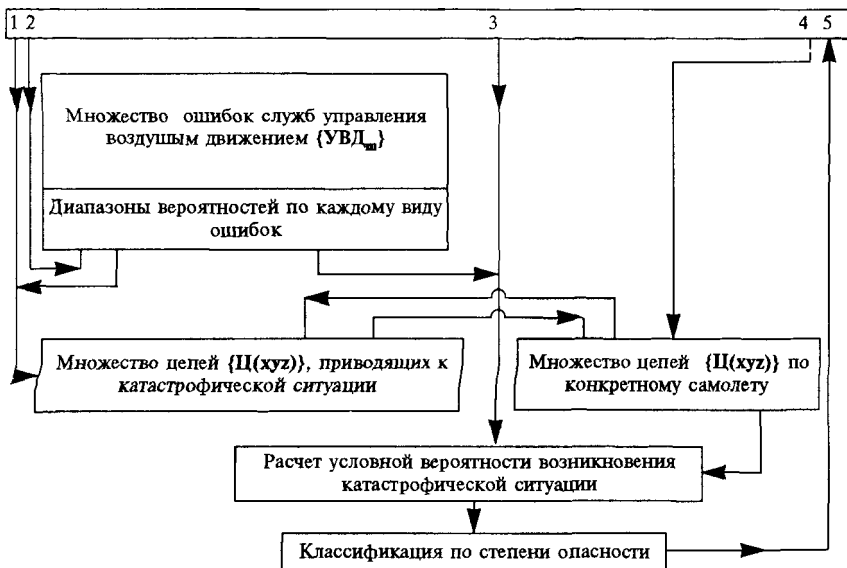


Рис. 6.1.5. Блок-схема модели информационного обеспечения классификации функциональных отказов по степени опасности

анализом, моделированием, стендовыми и летными испытаниями, опытной эксплуатацией. Для каждого практически возможного отказа определялись необходимые парирующие действия экипажа, которые гарантируют благополучное завершение полета. Впервые рассматриваемая здесь методология, модели, методики, алгоритмы и компьютерные программы были разработаны и применены при создании самолета Ил-86.

В настоящее время такую апробированную на практике «Систему...» можно рекомендовать в качестве типовой при создании сложной авиационной техники, а также использовать как базовую для распространения опыта при

создании ракетно-космической техники. Ниже дано ее описание как типовой системы, учитываются те особенности, которые были выявлены при отработке **концепции повышения надежности путем учета функциональных отказов бортовых систем самолета**. В основу этой концепции положены **техническая декомпозиция самолета** (см. рис.3.2.2) на **функциональные бортовые системы** и понятие **функционального отказа**. В соответствии с принципами системного подхода разработаны критерии эффективности, надежности и безопасности полетов. При этом для того, чтобы выделить бортовые системы по функциональному признаку тщательно разрабатыва-

ется *целевая декомпозиция авиационно-транспортной системы* (см. рис.3.2.1) и в том числе ее базового элемента (самолета).

Каждая бортовая система самолета выполняет одну или несколько функций, отвечающих сформулированным для АТС задачам. Независимо от принципа действия в каждую такую систему входят агрегаты и элементы их связей (агрегаты управления системой, исполнительные органы и т.п.). Сюда входят также агрегаты, обеспечивающие контроль параметров и работоспособности систем и их индикацию. В результате, любой самолет можно представить как некоторую совокупность функциональных бортовых систем, объединенных по функциональному признаку. Декомпозиция самолета на ФБС производится в соответствии с [3]. Подобная декомпозиция позволяет проводить независимый анализ надежности каждой бортовой системы самолета. Для этого используется понятие функционального отказа, позволяющее определять и рассматривать полный перечень отказов, которые потенциально могут возникнуть. Это понятие определено в «Нормах летной годности» [8] следующим образом: **функциональный отказ** – вид неработоспособного состояния системы в целом, характеризующийся определенным нарушением ее функций независимо от причин, вызывающих это состояние. Конкретный ФО системы может являться следствием как отка-

зов отдельных элементов, так и комбинации этих отказов, если результирующее влияние таких отказов на работоспособность системы в целом оказывается одинаковым в каждом случае.

В документах [1,2] под **функциональным отказом** понимается неработоспособное состояние системы в целом, характеризующее конкретным нарушением ее функций независимо от причин, вызывающих это состояние. ФО системы определяется на уровне каждой системы через последствия, оказываемые на функционирование этой системы. Он характеризует влияние на другие системы и самолет в целом.

Приведенные выше определения не обеспечивают однозначности понимания функции системы и ее функциональных отказов. Поэтому на их основе было разработано алгоритмизированное определение:

функциональным отказом бортовой системы самолета называется вид нарушения одного из параметров выходного сигнала или комбинация видов нарушений нескольких сигналов.

Любая система может быть представлена в виде «чёрного ящика» с указанием входных и выходных сигналов. В этом случае функциями системы являются выходные сигналы, а функциональным отказом – вид утраты одного (или нескольких) из параметров выходного сигнала системы. В табл.6.1.1 в качестве примера приведен состав ФБС самолета Ил-86 и основные ФО.

Таблица 6.1.1

Виды функциональных отказов бортовых систем

Функции, выполняемые бортовой системой	Вид отказа
Система кондиционирования	
Поддержание заданного давления воздуха в гермокабине	Увеличение давления сверх заданного
Поддержание заданной температуры воздуха в пассажирском салоне и кабине экипажа	Уменьшение температуры ниже заданной Увеличение температуры выше заданной
Вентиляция кабины	Уменьшение расхода воздуха, подаваемого в кабину Появление вредных примесей в воздухе
Регулирование влажности воздуха в кабине	Отклонение влажности воздуха от заданной
Охлаждение спецаппаратуры и поддержание заданного давления воздуха в ее отсеках	Отсутствие охлаждения и уменьшение подачи воздуха
Система автоматического управления самолетом	
Стабилизация положения самолета по крену, тангажу, рысканию, высоте	Отсутствие стабилизации Выдача ложных управляющих сигналов
Демпфирование колебаний по тангажу, крену, рысканию	Отсутствие демпфирования колебаний Увеличение амплитуды колебаний
Управление движением самолета в пространстве по высоте и направлению	Отсутствие управляющих сигналов изменения высоты и направления Выдача ложных сигналов по любому параметру
Управление скоростью полета	Отсутствие управления скоростью полета Несоответствие скоростных режимов заданным
Управление тягой двигателей	Отсутствие автоматического управления тягой двигателей
Обеспечение балансировки самолета	Нарушение балансировки
Радиосвязное оборудование	
Связь внутри самолета	Отсутствие связи внутри самолета
Связь между самолетами и наземными радиостанциями	Отсутствие связи с самолетами и наземными станциями
Развлечение пассажиров	Отказ системы развлечения пассажиров
Закрытая связь (шифросвязь)	Отказ закрытой связи
Источники электроэнергии постоянного тока	
Выработка электроэнергии постоянного тока с заданными параметрами	Уменьшение располагаемых мощностей Отсутствие регулирования напряжения Пожар на самолете вследствие загорания источника электроэнергии

Продолжение таблицы 6.1.1.

Функции, выполняемые бортовой системой	Вид отказа
Источники электроэнергии переменного тока	
Выработка электроэнергии переменного тока с заданными параметрами	Уменьшение располагаемых мощностей Отсутствие стабилизации частоты Отсутствие регулирования напряжения Автоколебания в системе регулирования напряжения и частоты Пожар на самолете вследствие загорания источника электроэнергии
Противопожарное оборудование и система нейтрального газа	
Сигнализация о пожаре или появлении дыма	Отсутствие сигнализации о пожаре и появлении дыма Ложная сигнализация
Тушение пожара	Несрабатывание системы пожаротушения (полное или частичное) Ложное срабатывание
Предотвращение взрывов в топливных баках	Отсутствие подачи нейтрального газа в топливные баки Ложное срабатывание системы нейтрального газа
Система управления элеронами	
Обеспечение необходимой эффективности поперечного управления	Уменьшение или увеличение эффективности управления по крену Самопроизвольное движение рулевых поверхностей Изменение управляющих усилий Отсутствие демпфирования колебаний Возникновение колебаний в канале крена
Система управления рулем направления	
Обеспечение необходимой эффективности путевого управления	Уменьшение или увеличение эффективности управления в канале курса Самопроизвольное перемещение рулевых поверхностей руля направления Изменение (увеличение или уменьшение) управляющих сил Отсутствие демпфирования колебаний самолета по курсу Возникновение колебаний в канале курса

Продолжение таблицы 6.1.1.

Функции, выполняемые бортовой системой	Вид отказа
Система управления стабилизатором	
Обеспечение продольной балансировки самолета	Изменение скорости перемещения стабилизатора Отсутствие перемещения стабилизатора (заклинивание) Самопроизвольное перемещение стабилизатора
Система управления закрылками	
Увеличение C_y на режимах взлета и посадки	Невыпуск закрылков Самопроизвольный выпуск Самопроизвольная уборка Неуборка Несинхронный выпуск Несинхронная уборка
Система управления интерцепторами и гасителями подъемной силы	
Повышение эффективности поперечного управления	Уменьшение эффективности поперечного управления
Уменьшение C_y на посадке при пробеге или при резком снижении	Самопроизвольный выпуск Невыпуск в тормозном режиме Несимметричный выпуск в тормозном режиме
Система управления предкрылками	
Увеличение подъемной силы на режимах взлета и посадки	Невыпуск перед посадкой Самопроизвольный выпуск Самопроизвольная уборка Неуборка после взлета Несинхронный выпуск Несинхронная уборка
Топливная система	
Подача топлива в двигатель	Отсутствие подачи топлива к двигателю
Хранение необходимого запаса топлива	Нарушение герметичности топливных баков
Перекачка топлива в предрасходные и расходные отсеки, междубаковая перекачка	Нарушение порядка выработки топлива из баков
Система слива топлива	
Слив топлива в полете	Отсутствие слива
Слив топлива на земле	Самопроизвольный слив

Продолжение таблицы 6.1.1.

Функции, выполняемые бортовой системой	Вид отказа
Система заправки топливом	
Заправка необходимого количества топлива	Несоответствие количества заправленного топлива требуемому из-за отсутствия контроля
Гидравлическая система	
Подача необходимого количества жидкости под заданным давлением различным потребителям гидроэнергии	Уменьшение располагаемой мощности из-за уменьшения производительности насосов Уменьшение располагаемой мощности из-за уменьшения давления, создаваемого насосами Разгерметизация системы
Противообледенительная система	
Предотвращение образования и удаление льда с различных частей самолета	Невключение системы Снижение эффективности системы из-за уменьшения располагаемых мощностей Невыключение системы
Опоры самолета	
Обеспечение передвижения самолета по земле	Разрушение пневматиков
Амортизации ударных нагрузок при посадке и рулении	Отсутствие или ухудшение амортизации ударных нагрузок
Система уборки и выпуска шасси	
Выпуск и уборка шасси	Неуборка одной или нескольких опор Невыпуск одной или нескольких опор Самопроизвольная уборка на земле Самопроизвольный выпуск
Открытие и закрытие створок шасси	Незакрытие створок при уборке Самопроизвольное открытие створок
Система торможения колес	
Торможение колес при пробеге и рулении	Уменьшение располагаемого тормозного момента
Раздельное торможение колес при разворотах на земле	Несинхронность торможения
Торможение вращающихся колес перед уборкой шасси	Самопроизвольное затормаживание Отказ автомата торможения Перегрев деталей тормозов

Окончание таблицы 6.1.1.

Функции, выполняемые бортовой системой	Вид отказа
Рулежное устройство	
Управление самолетом при движении по земле	Отказ устройства Самопроизвольное отклонение передней опоры от нейтрального положения Заклинивание передней опоры в отклоненном положении

6.1.2. Технология проведения работ по обеспечению заданных требований по надёжности и безопасности полётов

Технологией обеспечения требований по надёжности и безопасности полетов предусмотрен следующий порядок работ:

1. При согласовании требований Заказчика и Исполнителя:

- анализ требований по надёжности и безопасности полетов, предъявляемых к самолету и его системам в ТЗ;

- разработка контрольных уровней по характеристикам надёжности агрегатов и систем самолета, гарантирующих выполнение требований по самолету в целом;

- согласование порядка и механизма подтверждения степени выполнения заданных требований.

2. На стадии технических предложений (аванпроекта):

- определяются основные характеристики, облик и перечень ФБС;

- для каждой ФБС устанавливается перечень выполняемых функций;

- исходя из этого перечня определяются все возможные ФО систем;

- для каждого ФО системы определяются (логическим анализом, расчетами или моделированием) возможные последствия для самолета;

- классифицируется в соответствии с «Нормами летной годности» каждое последствие, вызываемое ФО, устанавливается степень его опасности;

- в зависимости от степени опасности отказа назначаются допустимые вероятности его появления, а конструктору задаются требования по обеспечению надлежащей безотказности ФБС введением резервирования или защитных устройств, уменьшающих степень опасности ФО.

На основе перечня функций, выполняемых каждой ФБС, степени опасности ФО, требований по резервированию и установке защитных устройств конструктор создает принципиальную схему ФБС, которая должна давать полное представление о составе ее агрегатов, принципе их действия, вопросах управления и передачи экипажу

информации о работоспособности или техническом состоянии ФБС.

3. *На этапе эскизного проекта* после создания принципиальной схемы ФБС проводится анализ надежности системы и влияния ее отказов на создание особых ситуаций и регулярность полетов самолета; в задачу анализа входит уточнение перечня ФО с учетом всех возможных отказов агрегатов, установление логической связи между ними и видами отказов агрегатов, определение вероятности возникновения ФО через вероятности отказов агрегатов ФБС. Одновременно устанавливается объем необходимой информации экипажу об отказе и определяется порядок действий экипажа, парирующих влияние отказа на продолжение полета.

На основании анализа надежности системы осуществляется контроль выполнения требований по вероятностям возникновения особых ситуаций и регулярности полета (определяется соответствие контрольным уровнем безотказности ФБС), в случае их невыполнения проводятся соответствующие изменения принципиальной схемы ФБС. На основе анализа надежности отдельных ФБС проводится анализ надежности самолета в целом, в котором отражается взаимодействие систем друг с другом и влияние ФО одних систем на работоспособность других.

Определяется вероятность возникновения особых случаев из-за отказов нескольких ФБС и проводится окончательный контроль

выполнения требований по обеспечению требований безопасности и регулярности полета самолета.

4. *На стадии рабочего проектирования* анализ надежности корректируется с учетом всех изменений в схемах ФБС, в конструкциях агрегатов с обязательным учетом особенностей компоновки их на самолете. Последствия ФО уточняются на основании расчетов, моделирования, стендовых и летных испытаний с учетом допустимого диапазона ожидаемых условий эксплуатации.

На основании анализа ФО разрабатываются следующие документы:

- перечень расчетных случаев для проверки при летных испытаниях или на стендах;
- доказательная документация при подготовке к сертификации самолета;
- перечень особых случаев полета для внесения в руководство по летной эксплуатации, перечень отказов для имитации на тренажерах при подготовке летного состава;
- основные принципы и методы технического обслуживания самолета.

6.1.3. Задание контрольных уровней по надежности функциональных бортовых систем самолета

Необходимым и очень важным этапом в обеспечении требований по надежности и безопасности полета самолета является разработка контрольных уровней надежности

по отдельным ФБС и их агрегатам, выполнение которых гарантировало бы достижение заданных требований по надежности и безопасности самолета.

Контрольные уровни необходимо применять:

- для установления в техническом задании требований по надежности для вновь проектируемых ФБС и агрегатов;

- при разработке конструктивных схем и для выбора наилучших вариантов построения ФБС на ранних этапах проектирования;

- для проведения расчетов, контролирующей выполнение заданных требований по надежности и безопасности полета на всех этапах создания самолета.

Кроме того, контрольные уровни используются при определении стратегии и методов технического обслуживания и ремонта. Контрольные уровни по отдельным агрегатам являются исходными данными для определения потребности в запасных частях с последующей их коррекцией по результатам эксплуатации.

На этапе эксплуатации самолета контрольные уровни необходимо использовать для принятия решения о необходимости проведения доработок конструкций ФБС, для совершенствования методов технического обслуживания и обоснования возможности продления или ограничения ресурса агрегатов. При разработке контрольных уровней должны быть учтены следующие факторы:

- каждая новая конструкция ФБС и агрегатов создается на базе предшествующих, причем в конструкцию изделия новой разработки переносятся хорошо зарекомендовавшие себя при испытаниях и эксплуатации части конструкции (элементы, узлы, агрегаты) и принципы построения ФБС;

- создание новых изделий на базе предыдущих автоматически учитывает экономические, организационные и научно-технические возможности промышленности;

- функциональные бортовые системы различных самолетов представляют собой вполне установившуюся совокупность, что облегчает задачу поиска прототипа ФБС для проектируемого изделия;

- ограниченные сроки создания изделий, высокая стоимость отработки, невозможность учета и моделирования всех воздействующих факторов полета допускают запуск в эксплуатацию изделия с худшими характеристиками надежности по сравнению с заданными, если это не связано с обеспечением безопасности полета;

- допускается и экономически оправдано повышение надежности в процессе эксплуатации изделий путем проведения доработок, направленных на устранение выявленных недостатков;

- требования по безопасности полета самолета абсолютны, и в ущерб безопасности полетов не должны проводиться мероприятия по улучшению каких-либо характеристик изделия.

6.1.4. Определение контрольных уровней по безотказности функциональных бортовых систем для обеспечения требований по безопасности полетов

Исходными данными для определения контрольных уровней допустимых вероятностей возникновения особых ситуаций из-за отказов ФБС самолета являются определяемые при разработке технических предложений:

- 1) облик самолета и его основные характеристики;
- 2) перечень ФБС и выполняемых ими функций.

Исходя из функций, выполняемых ФБС, составляется перечень ФО. Для каждого ФО устанавливаются его последствия для самолета путем логического анализа, расчетами (прочностными, аэродинамическими и т.д.), моделированием или основываясь на опыте эксплуатации самолетов предыдущих поколений. Для каждого возможного последствия ФО устанавливается степень его опасности согласно определениям особых ситуаций в соответствии с Нормами летной годности. В результате проведенных работ должно быть получено общее число возможных ФО по самолету в целом с распределением их по степени опасности:

$$N_{\text{Сам}} = N_{\text{КС}} + N_{\text{АС}} + N_{\text{СС}} + N_{\text{УУП}} + N_0, \quad (6.1.1)$$

где $N_{\text{Сам}}$ — общее число ФО по самолету в целом;

$N_{\text{КС}}$, $N_{\text{АС}}$ и $N_{\text{СС}}$ — число ФО, вызывающих катастрофическую, аварийную и сложную ситуацию;

$N_{\text{УУП}}$ — число ФО, приводящих к усложнению условий полета;

N_0 — число ФО, не создающих особой ситуации.

Для каждого ФО, приводящего к катастрофической ситуации, рекомендуется допустимая вероятность его появления (в расчете на один осредненный час полета) меньше, чем $(Q_{\text{ФО}})_{\text{КС}} = 10^{-9}$. При этом максимально возможный расчетный *контрольный уровень* по допустимой вероятности возникновения *катастрофической ситуации* из-за появления одного *функционального отказа* может быть установлен по следующей формуле:

$$\left[(Q_{\text{ФО}})_{\text{КС}} \right]_{\text{КОНТР}} = \frac{(Q_{\text{Сам}})_{\text{КС}}}{K_{\text{КС}} N_{\text{КС}}}, \quad (6.1.2)$$

где $K_{\text{КС}}$ — коэффициент запаса по числу ФО, вызывающих катастрофическую ситуацию. Необходимость введения этого коэффициента (обычно принимается $K_{\text{КС}} = 2$) объясняется тем, что на ранних этапах проектирования точно классифицировать степень опасности ФО не представляется возможным. Значение числителя $(Q_{\text{Сам}})_{\text{КС}} = 10^{-7}$ назначается [8] исходя из требуемого уровня появления катастрофической ситуации по самолету в целом (в расчете на один осредненный час полета).

Аналогичные формулы, получаемые простой заменой индексов (КС на АС и СС), использу-

ются для расчета максимально допустимых вероятностей (контрольный уровень) возникновения одного ФО, приводящего к другим ситуациям:

$$[(Q_{\text{фо}})_{AC}]_{\text{контр}} = \frac{(Q_{\text{см}})_{AC}}{K_{AC}N_{AC}}, \quad (6.1.3)$$

$$[(Q_{\text{фо}})_{CC}]_{\text{контр}} = \frac{(Q_{\text{см}})_{CC}}{K_{CC}N_{CC}}, \quad (6.1.4)$$

Здесь принимаются коэффициенты: $K_{AC}=1,5 \div 1,7$; $K_{CC}=1,2 \div 1,3$.

Для каждого ФО, вызывающего *усложнение условий полета*, устанавливается следующая максимально допустимая вероятность:

$$[(Q_{\text{фо}})_{\text{ууп}}]_{\text{контр}} = 10^{-3} \div 10^{-4}.$$

6.1.5. Определение контрольных уровней по безотказности функциональных бортовых систем для обеспечения требований по регулярности полетов

При предварительной оценке степени опасности каждого ФО прорабатывается вопрос парирования отказа и разработки действий экипажа (изменение плановой траектории полета, прекращение взлета, перенос посадки на другой аэродром) по предотвращению перерастания возникших ситуаций в ситуации с более тяжелыми последствиями.

Все перечисленные действия экипажа, предотвращая перерас-

тание в более тяжелые ситуации, тем не менее нарушают регулярность полета. Поэтому для части ФО должны быть определены контрольные уровни по допустимым вероятностям их возникновения, исходя из обеспечения требований по регулярности полета самолета. Исходными данными для определения допустимой вероятности возникновения ФО, нарушающего регулярность полета, являются предварительный анализ ФО бортовых систем и требования по регулярности полета для самолета.

Максимально допустимая вероятность возникновения одного ФО, приводящего к нарушению регулярности полета, определяется по формуле:

$$[(Q_{\text{фо}})_{RP}]_{\text{контр}} = \frac{N_{1000}}{1000K_{RP}N_{RP}}, \quad (6.1.5)$$

где N_{1000} — среднее число прерванных взлетов и вынужденных посадок, обусловленных ФО, приходящимися на 1000 взлетов. Для гражданских самолетов различного класса в настоящее время принимается $N_{1000}=0,05 \div 0,5$;

N_{RP} и K_{RP} — число ФО, нарушающих регулярность полета, и коэффициент запаса по их числу.

Сравнивая полученные для каждого ФО значения допустимых вероятностей $[(Q_{\text{фо}})_{CC}]_{\text{контр}}$ и $[(Q_{\text{фо}})_{RP}]_{\text{контр}}$, в качестве контрольного уровня принимают меньшее значение вероятности.

6.1.6. Получение полного перечня функциональных отказов

На основе определения ФО был разработан экспертный метод получения полного перечня ФО, который в кратком изложении сводится к следующей технологии. На основании имеющейся в распоряжении технической документации эксперт должен определить перечень функций рассматриваемой ФБС. Для каждой функции он устанавливает виды возможных ее нарушений, которые образуют перечень исходных ФО. После выявления причин исходных ФО определяется возможность совместного возникновения двух или более исходных отказов из-за одних и тех же причин. После этого формируется результирующий перечень ФО, для чего причины ФО желательно записывать в форме логического уравнения, т.е. на языке булевой алгебры.

Описанный процесс является достаточно трудоемким и требует высокой квалификации эксперта. Полнота перечня ФО определяется полнотой перечня функций и видов их возможных нарушений и полностью зависит от квалификации эксперта. Практика применения экспертного метода показала необходимость разработки новой методики определения полного перечня ФО, позволяющего исключить зависимость результата от квалификации и вкусов экспертов. Ниже сформулированы требования к такому методу, ко-

торый стал альтернативным экспертному:

- независимость результата от исполнителя, в частности от его квалификации, то есть одним и тем же исходным данным должен соответствовать один и тот же перечень ФО;

- исходные данные должны представлять собой конструктивные параметры ФБС и не требовать дополнительного преобразования к специальному виду;

- метод не должен ограничиваться сложностью анализируемой ФБС.

Под сложностью здесь понимается как количество составляющих ФБС агрегатов и их соединений, так и разнотипность агрегатов с точки зрения принципа действия (агрегаты могут быть механические, электрические, гидравлические, электромеханические, гидроэлектромеханические и любые другие). Из сказанного следует, что исходными данными должна служить информация, получаемая без специального преобразования с чертежей, схем, спецификаций ФБС и ее агрегатов, а также характеристики надежности агрегатов. Таким требованиям отвечает метод приведения [5].

В основе этого метода лежат те же понятия «функции» и «функционального отказа», что и в основе экспертного метода. Предлагаемый метод базируется на алгоритме приведения функций и их нарушений для системы через функции и нарушения составляю-

щих ее агрегатов. Главным отличием и достоинством метода приведения по сравнению с экспертным является то, что перечни функций и ФО системы однозначно определяются конструкцией ФБС, являясь ее объективным свойством. Конструкцию ФБС здесь определяют перечень агрегатов и их соединения в соответствии со схемами, чертежами и спецификациями.

Определим некоторые исходные понятия, используемые в методе приведения:

1) «*Функциональная бортовая система*» – совокупность агрегатов и их соединений, рассматриваемых в данной задаче как единая ФБС. Уровень выделения агрегатов произволен.

2) «*Агрегат*» – составная часть ФБС. Агрегат задается элементами связи, входными и выходными сигналами, видами отказов и их частотой.

3) «*Элементы связи агрегата*» – конкретные конструктивные элементы агрегата, с помощью которых агрегат получает сигналы и передает их. В зависимости от физического типа сигнала этими элементами являются клеммы, штуцера, механические связи, чувствительные элементы для приема и передачи электромагнитных, магнитных, фото и других сигналов. Конкретные физические сигналы, которые агрегат в соответствии со своей технической документацией получает и передает через элементы связи, называются входными и

выходными сигналами соответственно.

4) «*Выходной агрегат системы*» – агрегат, хотя бы один выходной сигнал которого не передается агрегатам, входящим в ФБС.

5) «*Нормальный выходной (входной) сигнал*» – выходной (входной) сигнал, у которого все его параметры могут принимать все значения, предусмотренные технической документацией.

6) «*Нарушение выходного (входного) сигнала*» происходит, если хотя бы один параметр сигнала не может принимать все значения, предусмотренные технической документацией, не зависимо от вызвавшей это состояние причины.

7) «*Вид отказа агрегата*» – конкретное нарушение работоспособности агрегата в целом или его элементов. Источником информации о видах отказов служат испытания и опыт эксплуатации агрегата и его аналогов. Возникновение отказа агрегата должно обязательно приводить к нарушению хотя бы одного выходного сигнала агрегата, в противном случае речь идет о «виде неисправности агрегата».

8) «*Состояние нормального функционирования агрегата*» – состояние агрегата, у которого все выходные сигналы являются «нормальными».

9) «*Состояние нарушенного функционирования агрегата*» – состояние, в котором имеется нарушение хотя бы одного выходного сигнала.

На основании понятий нормального и нарушенного выходных сигналов определяется **МОДЕЛЬ СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТА**, которая описывает нормальное и нарушенное функционирование агрегата *только через его выходные сигналы*. Входные сигналы учитываются косвенно, через определяемые ими параметры выходных сигналов. При этом «Состояние нарушенного функционирования агрегата» и соответствующая ему модель состояния агрегата принципиально отличаются от широко используемых понятий («отказ агрегата», «неработоспособное состояние агрегата», «вид отказа агрегата» и т.п.) тем, что в этом состоянии может находиться полностью исправный агрегат. Такой системный подход базируется на следующем:

1. **Постулат универсальности модели состояния** формулируется так: «Модель состояния агрегата (как нормального, так и нарушенного функционирования) является универсальной и не зависит от ФБС, в которой агрегат установлен».

2. **Постулат приведения системный:** «Любой ФО рассматриваемой функциональной бортовой системы (ФБС) *однозначно приводится к какому-либо нарушению выходного сигнала системы* или их сочетанию, если ФБС рассматривать как один агрегат и наоборот, любое нарушение выходного сигнала ФБС, рассматриваемой как один агрегат, или сочетание этих нарушений однозначно соответ-

ствует какому-либо функциональному отказу ФБС». *Выходные сигналы* ФБС, если ее рассматривать как один агрегат, образуют перечень функций системы. ФО системы, которые получены приведением к одному возможному нарушению выходного сигнала ее агрегата назовем исходными функциональными отказами системы.

3. **Постулат приведения агрегатный:** «Любой функциональный отказ рассматриваемой ФБС *однозначно приводится к какому-либо нарушению выходного сигнала одного из ее агрегатов* или их сочетанию». Отметим, что обратное неверно, т.е. не каждое нарушение выходных сигналов агрегатов ФБС соответствует ее функциональному отказу.

Сформулированные постулаты позволяют сделать принципиальные выводы:

1. Перечень исходных ФО системы однозначно определяется моделями состояний агрегатов ФБС, т.е. определяется перечнем ее агрегатов, при этом перечень ФО не зависит от уровня выделения агрегатов в ФБС.

2. Соединение агрегатов в ФБС не влияет на перечень исходных ФО системы, а определяет причины возникновения исходных ФО и, следовательно, определяет наличие общих причин возникновения двух и более исходных ФО. Кроме того, от соединения агрегатов зависят последствия ФО для ФБС и самолета в целом.

Теперь для определения перечня ФО системы необходимо указать способ выделения среди нарушенных выходных сигналов агрегатов ФБС (моделей состояний нарушенного функционирования) таких, которые соответствуют нарушениям выходных сигналов ФБС, если ее рассматривать как один агрегат. Часть необходимых нарушений выходных сигналов соответствует сигналам выходных агрегатов. Но кроме этих сигналов существуют «скрытые» выходные сигналы ФБС. Задача выявления таких «скрытых» сигналов требует отдельного подробного рассмотрения. Здесь укажем общий подход для понимания метода. Все выходные сигналы моделей агрегатов необходимо отнести к одному из двух типов:

- 1) сигнал типа «включен/выключен»,
- 2) сигнал типа «закон управления».

К 1-му типу относятся сигналы, для которых с позиции функционирования агрегата имеет значение только их наличие или отсутствие. К примеру, это выходные сигналы коммутирующих и переключающих агрегатов (электрических, механических, гидравлических и др.).

Ко 2-му типу относятся сигналы, определяемые набором параметров. Это выходные сигналы приводов, вычислителей, усилителей, т.е. преобразователей сигналов, в которых происходит перекодирование информации. Подчеркнем,

что отнесение сигналов к тому или иному типу осуществляется на уровне модели агрегата и не зависит от ФБС. Всем возможным нарушениям выходных сигналов 2-го типа соответствуют исходные функциональные отказы ФБС.

Заметим также, что в зависимости от потребной глубины анализа один и тот же выходной сигнал агрегата может быть отнесен к 1-му или ко 2-му типу, т.е. у агрегата может быть более одной модели состояния.

Объединяя нарушения выходных сигналов выходных агрегатов и нарушения выходных сигналов 2-го типа («скрытых» выходных сигналов ФБС), получаем полный перечень исходных ФО системы. Далее необходимо определить причины этих ФО отказов, выявить общие причины и получить результирующей перечень ФО системы. С точки зрения приведенной выше методики полный перечень ФО системы формируется в три этапа.

На первом этапе формируется **полный перечень исходных ФО**. Исходным функциональным отказом ФБС называется нарушение определенного типа *одного параметра одного выходного сигнала одного исходного агрегата*. Эти нарушения определяются на основании моделей состояний агрегата. Затем для каждого исходного ФО записывается его логическое уравнение:

$$A = \bigvee_{i=1}^n [\bigwedge_{j=1}^m B_{ij}], \quad (6.1.6)$$

где A — событие рассматриваемого ФО,

V_{ij} — виды i -х отказов j -х агрегатов ФБС.

Выражение в квадратных скобках будем называть причиной ФО. Логическое уравнение записывается на том уровне, который позволяют исходные данные (структурные или принципиальные схемы, рабочие чертежи). Принципиальным является то, что при составлении логического уравнения каждый исходный ФО рассматривается независимо от других отказов.

На втором этапе производится анализ логических уравнений исходных ФО для выявления общих причин. Выявленные общие причины исключаются из соответствующих исходных ФО и образуют новые отказы, заключающиеся в совместном возникновении исходных ФО, имеющих общие причины. Таким образом, после второго этапа перечень ФО системы содержит исходные ФО, не имеющие общих причин (назовем их простыми), и сочетания исходных ФО, возникающих из-за наличия общих причин. Первый и второй этапы на основании исходных материалов (схем и чертежей) могут выполняться автоматически по соответствующему алгоритму.

На третьем этапе при необходимости формируются ФО, представляющие собой комбинации отказов, полученных на втором этапе. Присоединяя комбинации ФО к отказам, полученным на втором этапе, получаем окончательный

полный перечень ФО системы. Полнота полученного перечня ограничивается только рассмотренными комбинациями ФО. Хотя число всех возможных комбинаций конечно, но все же достаточно велико, то обычно вводят какие-либо ограничения (например, по вероятности возникновения ФО), позволяющие свести рассматриваемое число комбинаций к разумной величине. В любом случае точно известно, какие и по каким критериям те или иные комбинации ФО исключены из рассмотрения. С учетом этого замечания перечень ФО, полученный на третьем этапе, является полным и однозначным и не зависит от опыта и квалификации специалиста, выполняющего анализ ФО системы. Однозначность перечня ФО означает, что он однозначно определяется конструкцией ФБС, т. е. является ее однозначной функцией.

6.1.7. Анализ функциональных отказов бортовых систем

При анализе ФО бортовых систем вероятность их появления определяется на основании выявленных причин возникновения отказов. В качестве причин рассматриваются отказы деталей, агрегатов и подсистем, принадлежащих анализируемой ФБС. В состав каждой ФБС входят компоненты, которые необходимы для выполнения предписанных функций,

начиная от агрегатов включения (управления) до исполнительных органов, а также агрегаты, обеспечивающие контроль параметров ФБС и их отображение экипажу. В анализируемой ФБС могут возникать ФО, которые обусловлены отказами и неисправностями в других ФБС. Однако при анализе отдельных ФБС эти отказы в качестве причин рассматриваемого ФО не учитываются. Подобные

отказы должны быть рассмотрены при анализе взаимовлияния ФБС. В качестве исходных данных для анализа ФО используются количественные характеристики надежности агрегатов. Эти данные получают по материалам организаций-поставщиков, а также по результатам обработки статистики об отказах, полученной в результате эксплуатации таких агрегатов или их аналогов.

Таблица 6.1.2
Диапазоны уровней надежности агрегатов функциональных систем по видам их отказов

Наименование агрегата	Виды отказов агрегата	Допустимый уровень надежности					
		10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰
Тяга	Заклинивание						
	Рассоединение						
Кронштейн	Разрушение						
Механизм винтовой	Заклинивание						
	Разрушение						
Пневматик	Разрушение						
Реле ТКЕ2	Залипание контакта						
	Незамыкание контакта						
	Обрыв обмотки						
	Переменный контакт						
Транзистор	Пробой						
Клапан подпорный РД46	Несрабатывание						
	Внешняя негерметичность						
Трубопровод топливный	Разгерметизация						
	Капельная течь						
Гидроцилиндр	Заклинивание штока						
	Разрушение штока						
	Разгерметизация						
Датчик ДПР-45	Ложный сигнал						
	Отсутствие сигнала						
	Обрыв выходного вала						
Фильтр ВД2	Засорение						
	Разгерметизация						

При этом для обеспечения высокой доверительной вероятности на ранних этапах проектирования используются наихудшие (известные из статистики) количественные значения показателей надежности агрегатов. Пример оценки некоторых из них дан в табл. 6.1.2. Использование наихудшего уровня характеристик при создании доказательной документации по подтверждению выполнения требований к надежности позволяет получить используемые в расчетах коэффициенты запаса. Они могут быть определены из опыта эксплуатации и в дальнейшем реализованы для совершенствования технического обслуживания и ремонта самолетов.

Расчет вероятности возникновения ФО ведется одним из методов, рекомендованных отраслевыми стандартами, в предположении, что все агрегаты перед вылетом исправны. Для ФБС, в которых возможно накопление отказов, расчет ведется за время между проверками, после которых накопление отказов может быть устранено. Учитывая высокую надежность авиационной техники, допускается следующий подход. Если ФО возможен из-за единичных, двойных, тройных отказов, то можно рассматривать только единичные, не учитывая двойные, тройные, ибо вероятность таких совпадений значительно меньше, чем появление одиночных отказов. Если какой-либо ФО возможен из-за двойных,

тройных и т.д. отказов, то в качестве причин ФО достаточно учитывать только двойные отказы (тройные не рассматриваются) и т.д. Таким образом, принимается модель простейшего потока событий Пуассона. Для агрегатов и подсистем непрерывного действия вероятность отказа определяется за 1 час полета. Для агрегатов и подсистем циклического действия она определяется за один цикл, приведенный к 1 часу полета.

В общем случае можно рассчитать вероятность перехода ФБС за время t из состояния безотказной работы в любое наперед заданное состояние. Состояния ФБС, в которые она может перейти за рассматриваемый отрезок времени, зависят от состояний комплектующих ее элементов. Классифицировать состояния следует таким образом, чтобы вся их совокупность составляла полную группу несовместимых событий. Из них всегда можно выделить «нормальные» и «отказные». Анализ взаимосвязи состояний и ФО удобно проводить с помощью **матричного метода расчета надежности ФБС** с использованием ЭВМ [7]. Метод позволяет:

- 1) стандартизировать и значительно ускорить расчеты;
- 2) определять в зависимости от логических условий вероятности безотказной работы ФБС на выполнение полетного задания, обеспечения безопасности;
- 3) определять возможные и практически невозможные со-

стояния ФБС в зависимости от состояний составляющих ее элементов;

4) оценивать влияние надежности каждого элемента на надежность любой ФБС и самолета в целом.

Один из вариантов формы представления результатов анализа надежности по каждому ФО, унифи-

цированных с учетом машинной обработки данных, показан в табл.6.1.3.

Исходные данные для расчета вероятностей возникновения ФО бортовой системы уборки-выпуска шасси самолета Ил-96Т с использованием логического уравнения приведены в табл.6.1.4.

Таблица 6.1.3
Унифицированная форма представления результатов анализа надежности

*** Ил-96Т *** Анализ функциональных отказов *** Ил-96Т ***	
03230. Система уборки-выпуска шасси и управления створками	
1	Код функционального отказа 0230-ША 00
2	Функциональный отказ Невозможность перемещения одной из опор шасси от переключателя уборки-выпуска
3	Этап полета Заход на посадку
4	Режим управления самолетом Штурвальный и автоматический
5	Режим управления системой
6	Информация, отображаемая экипажу: 6.1. Зеленая лампа * приборная доска пилотов - горит; 6.2. "Шасси не выпущено" * КСЭИС - горит; 6.3. "Шасси" * приборная доска пилотов - горит; 6.4. "Положение одной из опор" * кадр системы - убранное положение; 6.5.
7	Средства привлечения внимания
8	Другие признаки
9	Проявление ФО на уровне системы Невыпуск одной из опор шасси
10	Последствия для самолета: 10.1. Невыпуск одной из опор; 10.2. Незначительное увеличение психофизиологической нагрузки на экипаж 10.3.
11	Действия экипажа Выпустить шасси резервной ручкой управления
12	Действия экипажа по продолжению полета: 12.1. На действия экипажа по продолжению полета и завершению полета не влияет 12.2.
13	Степень опасности ФО УУП
14	Вероятность возникновения ФО 2,73·Е-07
15	Логическое уравнение $S=(i+1, \dots, 5)(A1+A3+A4+A5 \cdot A8) \cup$

Таблица 6.1.4

Вероятности событий ФО для системы
 “Уборка - выпуск шасси” (код 03230)

Ил-96Т *** Перечень событий по функциональной системе *** Ил-96Т					
Собы- тие	Агрегат			Отказ	
	Тип	Назначение	N, шт.	Вид	Вероят- ность
A1.1	Рукоятка	Уборка-выпуск шасси	1	Заклинивание	1.00 E-10
A1.2	Рукоятка	Уборка-выпуск шасси	1	Разрушение	1.00 E-10
A2.1	Гидроцилиндр	Уборка-выпуск НО	1	Закл. штока	1.00 E-09
A2.1	Гидроцилиндр	Уборка-выпуск НО	1	Разр. штока	1.00 E-09
A3.1	Гидроцилиндр	Уборка-выпуск ГО	6	Закл. штока	1.00 E-09
A3.1	Гидроцилиндр	Уборка-выпуск ГО	6	Разр. штока	1.00 E-09
A4.1	Выключатель концевой AM800	Обжатое положение опор	10	Несрабатыва- ние	1.07 E-07
A5.1	Автомат защиты АЗК1М-1	Цепь уборки опор	2	Размыкание	2.15 E-07
A6.1	Автомат АЗК1М-1	Цепь выпуска опор	2	Размыкание	2.15 E-07
НО - носовая опора шасси			ГО - главная опора шасси		

6.1.8. Определение последствий для самолета от возникновения функциональных отказов бортовых систем

Исходными данными для проведения расчетов или моделирования полета при тех или иных отказах являются основные характеристики самолета и бортовых систем, ФО которых будем рассматривать как возмущающие внешние воздействия на самолет на различных этапах полета. Внешние условия для каждого конкрет-

ного случая выбираются с учетом ожидаемых условий эксплуатации. В некоторых случаях предполагается, что экипаж совершает парирующие действия с определенным запаздыванием, обусловленным необходимостью затраты времени на восприятие информации об отказе и на принятие нужного решения. При определении вероятности ФО следует иметь в виду, что практически любой ФО в зависимости от участка траектории (этапа полета), на котором он произошел, может дать разные последст-

вия. В связи с этим вероятность такого ФО рассматривается по участкам с одинаковыми последствиями с учетом времени пребывания самолета на каждом участке.

Дадим краткие характеристики этих этапов:

I — разбег, для которого характерной является скорость отрыва, а также скорость, после достижения которой можно производить взлет, если даже откажет один двигатель (продолжительность: $t=15\div 18$ с).

II — взлет характеризуется достижением высоты выхода на режим установившегося набора высоты (продолжительность около $t=150$ с.).

III — набор высоты происходит до достижения высоты заданного эшелона (продолжительность около $t=30$ мин).

IV — маршрутный полет на заданном эшелоне по заданному маршруту (продолжительность определяется дальностью и скоростью полета).

V — снижение характеризуется изменением траектории движения самолета от высоты маршрутного полета до высоты круга для захода на посадку (продолжительность снижения около $t=15$ мин, но может изменяться указанием наземных служб). Возможно применение гасителей подъемной силы для обеспечения крутой траектории снижения.

VI — полет по кругу, в процессе которого выпускаются шасси, посадочная механизация, проводит-

ся подготовка к планированию по посадочной глиссаде (продолжительность около $t=5$ мин, которая может увеличиваться по указаниям наземных служб).

VII — полет по глиссаде продолжительностью около $t=2$ мин.

VIII — выравнивание самолета и касание ВПП около $t=10$ с.

IX — пробег продолжительностью около $t=20$ с.

X — руление к месту разгрузки или на стоянку.

Для каждого этапа полета рассматриваются все изменения параметров, вызываемые отказами, которые при соответствующих внешних условиях в полете могут привести к особым случаям. Все изменения параметров самолета определяются соответствующими расчетами, моделированием, а также при проведении наземных (стендовых) и летных испытаний.

Для того, чтобы банк данных имел достаточный и регулярно обновляющийся объем информации, постоянно идет оценка результатов эксплуатации имеющегося парка самолетов. Пример информационного модуля для усилителя регулятора температуры воздуха в системе кондиционирования самолета Ил-76 дан в табл. 6.1.5.

В настоящее время классификация по степени опасности ситуаций, вызванных ФО, происходит с учетом опыта эксплуатации предшествующего парка самолетов и результатов экспертной оценки. При сертификации самолета группа специалистов различного про-

Таблица 6.1.5

Распределение отказов и неисправностей агрегатов бортовых функциональных систем по видам и последствиям отказа самолета ИЛ-76 за 1975-1991 годы

Функциональная система: 021 - кондиционирование воздуха					
Наименование агрегата: ЭП-309Т - усилитель регулятора температуры воздуха РТА-32					
Код агрегата: 0216102					
Вид отказа	Последствие				Итого
	ХХ*	БП	ВП	ВД	
Обрыв обмотки реле	-	1	-	-	1
Подгорел контакт	-	31	-	-	31
Потеря работоспособности (отказ)	-	91	2	-	93
Самопроизвольная разрегулировка	-	8	-	-	8
Уход параметра	-	2	-	-	2
Пробой в полупроводнике	-	2	-	-	2
Обрыв сопротивления	-	1	-	-	1
Трещина корпуса	-	1	-	-	1
Обрыв провода	-	1	-	-	1
Обрыв в мотоочном изделии	-	9	-	-	9
Замыкание в мотоочном изделии	-	1	-	-	1
Окислен контакт	-	1	-	-	1
Залипание контакта с переносом металла	-	16	-	-	16
Перегорание сопротивления	-	2	-	-	2
Разрушен контакт	-	1	-	-	1
Обрыв в полупроводнике	-	1	-	-	1
Заедание	-	1	-	-	1
Прочие	-	8	-	-	8
Итого	-	178	2	-	180
ХХ* (семь столбцов условно удалены, в них везде прочерки)					
ЛП* - летное происшествие (ЛП)	ОТ* - отстранение от рейса				
ПП* - предпосылка к ЛП	ПР* - простой				
НЗ* - невыполнение задания	БП - без последствий				
ЗР* - задержка рейса	ВП - вынужденная посадка				
ЧП* - чрезвычайное происшествие	ВД - полет с выключенным двигателем				

фия рассматривает все материалы, относящиеся к оцениваемому ФО, и после всестороннего анализа и обсуждения возможных последствий этого отказа выносит свое определение степени опасности ситуации. В группу экспертов обычно входят высококвалифицированные специалисты по надеж-

ности, аэродинамике, динамике полета, прочности, пилоты и конструкторы ФБС.

Материалы, рассматриваемые группой экспертов, в общем случае включают расчеты (динамика движения самолета на земле и в воздухе, прочность отдельных агрегатов и узлов, аэродинамичес-

кие характеристики, показатели надежности,...), результаты моделирования, стендовых и летных испытаний, а также оценку летчиками последствий имитируемых отказов с точки зрения своевременного их обнаружения и возможности парирования или локализации. При этом учитывается опыт расследования инцидентов и летных происшествий как с отечественной, так и с зарубежной авиатехникой.

В зависимости от вида ФО при анализе материалов учитываются многие факторы: параметры возмущенного движения самолета, характеристики устойчивости и управляемости, величины и скорости изменения температур, давление в гермокабине и т.п., а также наличие и характер информации об отказе (стрелочные указатели, световые табло, средства электронной индикации, речевая и звуковая информация и т.д.), наличие и характер средств парирования отказа и располагаемое для этого время.

Для ФБС, не имеющих непосредственного «выхода на самолет», например, систем электропитания и гидравлики, сначала определяются потребители энергии, вышедшие из строя при данном функциональном отказе этих систем, а затем устанавливается влияние на самолет.

Конкретный состав специалистов в группе экспертов определяется видом ФО системы и его возможными последствиями, а кон-

кретный характер и объем рассматриваемых материалов зависят от этапа создания самолета.

Приведенная практика определения степени опасности ситуаций, вызываемых ФО, обладает рядом недостатков.

Прежде всего для этого необходима высокая квалификация экспертов, часто руководствующихся в своих оценках прошлым опытом эксплуатации подобных ФБС. Поэтому все новинки и мероприятия по защите от неблагоприятного развития ФО и его локализации учитываются редко. Некоторые новые функции ФБС, отсутствовавшие на находящихся в эксплуатации самолетах, требуют дополнительных знаний от экспертов. Классификация по степени опасности до сих пор в своей основе большей частью носит субъективный эвристический характер.

Накопленный опыт по классификации ФО как для вновь разработанных самолетов, так и при исследовании причин и классификации инцидентов с самолетами, находящимися в эксплуатации, позволил предложить новый метод для оценки степени опасности ФО и на его основе разработать алгоритм проведения работ по классификации степени опасности ФО, свободный от выше приведенных недостатков. Учитывается в ожидаемых условиях эксплуатации (ОУЭ) возможность перерастания ФО в событие, при котором произойдет катастрофа. На основе данного подхода к определению

степени опасности ФО можно применить **метод достраивания события до катастрофы** [7], который заключается в том, что рассматриваются все возможные пути перехода от рассматриваемого ФО до состояния, признаваемого катастрофическим. Процесс достраивания заключается в том, что к исходному событию рассматриваемого ФО добавляются определенная совокупность (цепь) последующих событий до возникновения катастрофической ситуации. Дополнительные события выбираются из следующих множеств:

$\{FO_i\}$ – множество функциональных отказов бортовых систем самолета (без рассматриваемого ФО);

$\{Y_j\}$ – множество возможных значений параметров ОУЭ;

$\{Эк_k\}$ – множество возможных ошибочных действий экипажа по выполнению предписанных функций.

Могут быть рассмотрены и другие множества событий, влияющих на возникновение особых ситуаций, например, ошибочные

действия службы управления воздушным движением $\{УВД_m\}$, ошибочные действия наземного персонала $\{НП_l\}$ при выполнении технического обслуживания (ТО). Метод достраивания событий базируется на следующих основных положениях:

1) степень опасности ФО определяется возможностью того, что развитие ситуации приведет к катастрофе;

2) катастрофа определяется возникновением определенных «катастрофических событий», связанных с состоянием самолета и его ФБС. Множество этих событий является ограниченным и может быть определено заранее, независимо от типа самолета;

3) множество ФО бортовых систем самолета, возможных ошибочных действий экипажа, службы УВД, наземного персонала, множество возможных значений параметров ОУЭ являются конечными и могут быть определены полные перечни этих событий. Процесс «достраивания» можно выразить в виде логического выражения:

$$\text{Соб}(x) \wedge Ц(xy z) = \text{Соб}(x) \wedge \{FO_i(xy z) \wedge Y_j(xy z) \wedge Эк_k(xy z)\} = K(z), \quad (6.1.7)$$

где Соб(x) – x-ое событие, к которому привел рассматриваемый ФО, K(z) – катастрофическое z-ое событие,

$$Ц(xy z) = FO_i(xy z) \wedge Y_j(xy z) \wedge Эк_k(xy z) \quad (6.1.8)$$

цепь событий (сочетание дополнительных событий из выше упо-

мянутых трех множеств), «достраивающая» событие Соб(x) до события K(z).

Для полноты охвата всех возможных вариантов введем во множество $\{Ц(xy z)\}$ фиктивные события 0 и 1. Если событие K(z) непосредственно получается из Соб(x) без добавления событий из мно-

жеств $\{\Phi O_i\}$, $\{Y_j\}$, $\{\text{Эк}_k\}$, то $\Pi(xyz)=1$. Если к получению события $K(z)$ из $\text{Соб}(x)$ не приводит ни одно из событий этих мно-

жеств, то $\Pi(xyz) = 0$.

Степень опасности ΦO определяется значением вероятности «цепного» события:

$$P\{\Pi(xyz)\} = \begin{cases} 0 \\ \Pi(xyz) \\ 1 \end{cases} P\{\Phi O_i(xyz)\}P\{\text{Эк}_k(XYZ)\} \quad \text{при} \quad \begin{cases} \Pi(xyz) = 0 \\ 0 < \Pi(xyz) < 1 \\ \Pi(xyz) = 1 \end{cases} \quad (6.1.9)$$

«Нормами летной годности» установлены следующие допустимые вероятности возникновения ΦO , приводящие к особым ситуациям:

$Q_{KC} = 10^{-9}$; $Q_{AC} = 10^{-7} \div 10^{-9}$; $Q_{CC} = 10^{-5} \div 10^{-7}$; $Q_{YУП} = 10^{-3}$. Отсюда следуют рекомендации по нормированию вероятностей «цепей»:

$$\begin{aligned} P\{\Pi(xyz)_{KC}\} &= 1; \\ 10^{-2} &\leq P\{\Pi(xyz)_{AC}\} < 1; \\ 10^{-4} &\leq P\{\Pi(xyz)_{CC}\} < 10^{-2}; \\ 10^{-6} &\leq P\{\Pi(xyz)_{YУП}\} < 10^{-4}. \end{aligned}$$

Вероятность $P\{\Pi(xyz)_{BC}\} = 10^{-6}$ соответствует событию «без ситуации» (БС). Таким образом, разработан порядок определения степени опасности функционального отказа, приводящего к $\text{Соб}(x)$:

1. Определяются все возможные цепи событий $\Pi(xyz)$, т.е. определяются все возможные у-вые пути из $\text{Соб}(x)$ во все возможные $K(z)$ через события $\Phi O_i(xyz)$, $Y_j(xyz)$, $\text{Эк}_k(xyz)$. Этот анализ может проводиться с учетом границы рассмотрения величины $P = P\{\{\text{Соб}(x) \wedge \{\Pi(xyz)\}\}$, что позволит не включать в анализ часть цепей, и тем самым сократить объем работы.

2. Определяется цепь $\Pi(xyz)$, имеющая максимальное значение величины $\max P\{\Pi(xyz)\}$.

3. По нормативным значениям $P\{\Pi(xyz)\}$ определяется степень опасности исследуемого функционального отказа.

Пример классификации ΦO типа «отказ одного из 4-х двигателей самолета Ил-96-300» по степени опасности с использованием базы исходных данных и знаний, представленной на рис.6.1.5, дан в табл.6.1.6.

6.1.9. Система обеспечения надежности, безопасности полетов и эксплуатационной технологичности пассажирских самолетов

Для сокращения сроков и повышения эффективности проектирования используется предлагаемая «Система...», определяющая организационное и информационное обеспечение всех работ.

«Система...» позволяет решать следующие задачи:

1) обеспечить требуемый уровень летной годности при создании самолета, доказать и подтвердить его при сертификации и поддерживать в течение всего периода эксплуатации;

2) решать большинство проблем обеспечения надежности не на

Таблица 6.1.6

Пример классификации функциональных отказов по степени опасности
(отказ одного из четырех двигателей самолета Ил-96-300)

Но- мер цепи	Ц (xyz)			К (z)	Р (Ц)	Степень опас- ности
	$\Phi O_i(xyz)$ Р(ΦO_i)	$y_i(xyz)$ Р(y_i)	$\Xi K_k(xyz)$ Р(ΞK_k)			
1	Отказ руля направления 10·E-07	$Wz=10$ м/с 10·E-02	-	Невоз- можность баланси- ровки по боковому каналу	10·E-09	БС
2	Отказ второго двигателя на одной стороне 10·E-04	-	Ошибка на глис- саде 10·E-02	Невоз- можность баланси- ровки по боковому каналу	10·E-06	УУП
3	-	$Wz=15$ м/с <10·E-02	-	Невоз- можность баланси- ровки по боковому каналу	10·E-04	УУП
4	Отказ 3-х оставшихся двигателей 10·E-12	-	-	Полная потеря тяги	10·E-12	БС

Wz - скорость бокового ветра

уровне самолета в целом, а при отработке его бортовых функциональных систем;

3) сократить сроки доводки изделий и уменьшить объем испытаний;

4) уменьшить возможность повторения конструктивных и производственных недостатков, снизивших уровень надежности на предыдущих изделиях;

5) уменьшить количество и стоимость доработок самолета;

6) обеспечить контроль облика каждого самолета при серийном производстве и контроль технического состояния в процессе эксплуатации;

7) обеспечить возможность применения прогрессивных методов техобслуживания и совершенствования их в процессе эксплуатации;

8) накапливать эксплуатационную информацию по отказам и трудозатратам (создавать инфор-

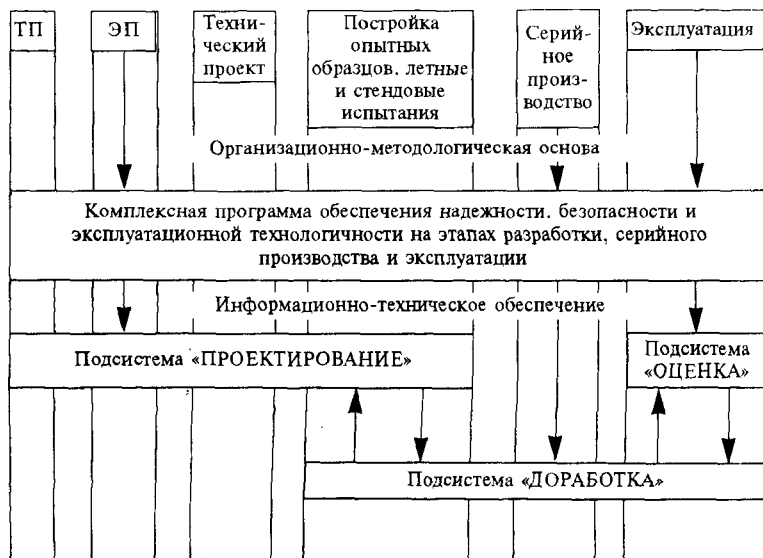


Рис. 6.1.6. Структурная схема системы обеспечения надежности и безопасности полетов самолетов «Ил» на этапах проектирования, производства и эксплуатации

мационный банк данных) для практического использования при разработке новых самолетов.

«Система...» ориентирована на применение персональных ЭВМ с использованием для хранения и накопления базы знаний и исходных данных на больших ЭВМ. «Система...» включает в себя три основных компонента (рис.6.1.6):

- организационно-методологическую основу,
- материально-техническую базу,
- информационно-техническое обеспечение.

Организационно-методологическую основу «Системы...» составляет **Комплексная программа** обес-

печения надежности, безопасности и эксплуатационной технологичности на этапах разработки, серийного производства и эксплуатации, которая устанавливает:

1) руководящие принципы разработки самолета как, например, принцип «безопасного разрушения конструкции и безопасного отказа агрегатов», принцип «обслуживания по состоянию», принцип «учета человеческих возможностей» и др.;

2) единообразные количественные критерии оценки заданных характеристик, в частности: вероятности отказов, приводящих к сложной, аварийной, катастрофической ситуации; наработка на отказ,

приводящий к невыполнению полетного задания; коэффициент задержки вылета; трудоемкость технического обслуживания и т.д.;

3) ответственность, объем и распределение работ, обеспечивающих планирование для наиболее эффективного достижения всех поставленных целей.

Общее руководство и контроль исполнения Программы осуществляется техническим советом под руководством Генерального конструктора. Контроль выполнения работ ведется по генеральному плану-графику, являющемуся частью Комплексной программы. План определяет исполнителей и сроки выполнения каждой конкретной работы с указанием существа выходных материалов. Оценка степени достижения заданных показателей обеспечивается расчетами, математическим, полунатурным и натурным моделированием, стендовыми испытаниями, наземными испытаниями на объекте и летными испытаниями.

Информационно-техническое обеспечение «Системы...» включает в себя взаимосвязанные подсистемы: «Проектирование», «Доработка» и «Оценка».

Подсистема «Проектирование» предназначена для обеспечения требований по надежности, безопасности и эксплуатационной технологичности отдельных ФБС самолета, выполнение которых гарантирует достижение заданных в техническом задании характеристик по самолету в целом. Кроме

того, подсистема «Проектирование» предназначена для контроля выполнения заданных требований на каждом этапе создания самолета и подготовки доказательной документации по сертификации самолета. Эта подсистема охватывает все этапы создания самолета, от технического предложения до летных испытаний, и включает следующие основные работы:

1. На этапе разработки технических предложений:

- прогнозирование ожидаемого уровня надежности, безопасности и эксплуатационной технологичности;

- разработка для отдельных ФБС контрольных уровней по надежности, безопасности и эксплуатационной технологичности.

2. На этапе эскизного проектирования:

- оценка структурных схем ФБС самолета с точки зрения надежности и безопасности полета;

- разработка перечня ФО;

- расчет вероятности возникновения конкретных ФО;

- оценка степени опасности отказов;

- оценка взаимосвязи и взаимовлияния ФО одних ФБС на другие, т.е. поиск так называемых «общих точек»;

- выбор принципов эксплуатации, принципов построения системы технического обслуживания самолета;

- предварительная оценка и расчет показателей эксплуатационной технологичности конструкции;

– задание требований по надежности, безопасности и эксплуатационной технологичности в техническое задание на бортовые системы и агрегаты, разрабатываемые организациями-смежниками.

3. На этапе разработки технического проекта:

– уточненный анализ вероятности возникновения ФО;

– уточненная оценка взаимовлияния отказов ФБС с учетом компоновки, информационных и энергетических связей;

– составление программ для оценки степени опасности отказов путем расчетов, моделирования, стендовых и летных испытаний;

– контроль выполнения требований по надежности, безопасности и эксплуатационной технологичности организациями-смежниками;

– уточнение допустимых вариантов состава и периодичности работ по техническому обслуживанию;

– уточненный расчет показателей эксплуатационной технологичности с учетом вариантов условий эксплуатации;

– разработка рекомендаций эксплуатирующим организациям по эффективному использованию самолета в зависимости от организационных и материальных ресурсов на этапе постройки опытных образцов, стендовых и летных испытаний;

– обеспечение качества постройки опытных образцов;

– оценка последствий отказов на стендах и в летных испытаниях;

– пересчет результатов летных проверок последствий отказов на весь диапазон ожидаемых условий эксплуатации;

– оценка степени опасности отказов систем;

– оценка уровня безопасности полета;

– оценка в испытаниях уровня эксплуатационной технологичности;

– устранение недостатков, выявленных в испытаниях;

– разработка доказательной документации по отказобезопасности для сертификации самолета;

– получение сертификата летной годности.

Таким образом, в рамках рассматриваемой «Системы...» подсистема «Проектирование» позволяет решать следующие задачи:

а) обеспечение заданных характеристик надежности, безопасности и эксплуатационной технологичности на этапе создания самолета и доказательство достижения этих характеристик при сертификации;

б) сокращение объема летных испытаний;

в) повышение качества технической эксплуатационной документации;

г) обоснованное получение сертификата летной годности;

д) разработка рекомендаций эксплуатанту по эффективному применению самолета.

Информационная подсистема «Доработка» предназначена для сбора, обработки, хранения и вы-

дачи информации о недостатках конструкции самолета, мероприятиях по устранению этих недостатков и совершенствованию конструкции. Подсистема состоит из пяти частей, выполняющих информационное обеспечение на различных этапах, начиная со стендовых и летных испытаний и заканчивая эксплуатацией серийных самолетов. Она обеспечивает

возможность оперативно получать информацию об облике каждого серийного самолета и сравнивать любые серийные самолеты между собой или с самолетом-эталонном. Подсистема «Доработка» выдает следующую периодическую и справочную информацию:

– о недостатках конструкции, выявленных в процессе испытаний и эксплуатации, и состоянии

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «ДОРАБОТКА»

МОДУЛЬ «НЕДОСТАТКИ КОНСТРУКЦИИ, ВЫЯВЛЕННЫЕ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ОПЫТНОГО САМОЛЕТА, И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ»



Рис. 6.1.7

работ или разработанных мероприятий по устранению этих недостатков (рис.6.1.7);

– о внедрении конструктивных изменений в серийном производстве (рис.6.1.8);

– о выполнении доработок по техническим бюллетеням в эксплуатации (рис.6.1.9);

– о конструктивных отклонениях и доработках, выполненных при серийном производстве.

И наконец, последним элементом «Системы...» является предназначенная для **оценки достигнутого уровня надежности подсистема «Оценка»**. Она обеспечивает решение следующих задач:

– накопление, систематизация и обработка статистического материала по отказам и неисправностям авиатехники;

– регулярная информация подразделений предприятия о текущем уровне надежности агрегатов, систем и самолета в целом и о соответствии этого уровня требуемому;

– выпуск отчетов о достигнутом уровне надежности;

– выдача справочной информации по запросам;

– пополнение и корректировка справочных материалов по показателям надежности.

Материалы подсистемы «Оценка» используются в других под-

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «ДОРАБОТКА»

МОДУЛЬ «ВНЕДРЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ»



Рис. 6.1.8

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «ДОРАБОТКА»

МОДУЛЬ «УЧЕТ ВЫПОЛНЕНИЯ ДОРАБОТОК ПО ТЕХНИЧЕСКИМ БЮЛЛЕТЕНЯМ В ЭКСПЛУАТАЦИИ»

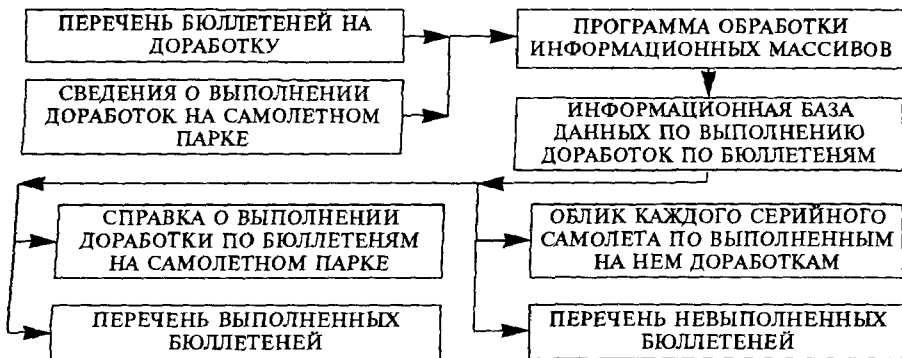


Рис. 6.1.9

ПОДСИСТЕМА «ОЦЕНКА»

ИНФОРМАЦИОННЫЙ МОДУЛЬ «ИНЦИДЕНТЫ»

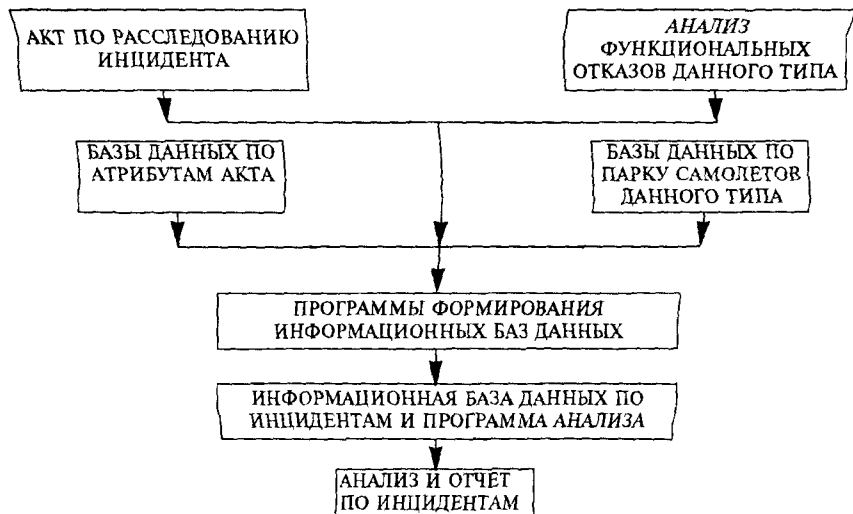


Рис. 6.1.10

системах данной «Системы...» для проведения анализов и расчетов по надежности и безопасности, разработки норм надежности для вновь проектируемых бортовых систем, исключения или уменьшения частоты повторения недостатков конструкции, подтверждения заданных характеристик надежности, обоснования возможности продления ресурса и совершенствования техобслуживания и т.д. Одной из составляющих подсистемы «Оценка» является информационный модуль «Инциденты» (рис.6.1.10). Он позволяет создавать и пополнять базу данных и знаний по исследованию всех причин инцидентов, возникающих на эксплуатируемых типах самолетов, готовить необходимую информацию, используемую при совершенствовании «Норм летной годности», при разработке ТЗ на самолет и его комплектующие, при передаче накопленного опыта проектировщикам и эксплуатантам.

6.1.10. Эффективность применения системного подхода к повышению надежности самолетов «Ил»

Впервые, как уже говорилось, рассматриваемая здесь «Система...» была в полном объеме применена при создании самолета Ил-86. Высокая эффективность новой технологии обеспечения отказобезопасности подтверждена более чем 15-летним опытом экс-

плуатации с наработкой более 1,5 миллионов часов налета парка самолетов Ил-86. Эффективность улучшения технологии проектирования с помощью разработанной «Системы...» подтверждается практикой и в другом направлении. Так, важным показателем качества работы КБ является количество доработок по совершенствованию конструкции, которое выполнено на самолете Ил-86. За сопоставимые периоды эксплуатации их было в 3÷4 раза меньше, чем на пассажирских самолетах Ил-62 и Ил-62М, что свидетельствует о более прогрессивном технологическом процессе заблаговременного обеспечения надежности самолета Ил-86 на этапе проектирования. Здесь применение системного подхода позволило существенно снизить затраты на доработки ФБС уже эксплуатируемых машин, уменьшить время их простоя в ожидании этих доработок, повысить коэффициент готовности.

Эта «Система...» была значительно усовершенствована и использовалась при создании Ил-96-300, Ил-103, Ил-76МФ, Ил-114, Ил-96Т/М и других самолетов [9, 10]. Для демонстрации некоторых особенностей «Системы...» в табл.6.1.7 представлены результаты анализа функциональных отказов самолета Ил-96-300, подтверждающие выполнение «Норм летной годности». Ее использование позволило повысить обоснованность и качество проводимых

Продолжение таблицы 6.1.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
12	Управление акрониями (27.10)	20	2	1,46-E-3	9	7,52-E-5	1	1,4E-9	-	-	-	-	8	1,96-E-9	-	-
13	Управление вешивки акрониями (27.11)	13	7	2,18-E-3	3	7,27-E-5	-	-	-	-	-	-	3	6,0-E-10	-	-
14	Управление ружей напаралели (27.20)	22	3	1,5-E-3	11	4,83-E-7	1	4,3-E-9	2	1,65-E-8	-	-	5	1,84-E-9	1	1,0-E-8
15	Управление ружей высоты (27.30)	21	2	1,96-E-3	7	2,7-E-6	4	7,56-E-8	-	-	-	-	8	3,92-E-9	-	-
16	Управление стабилизатором (27.40)	14	3	3,0-E-6	3	3,9-E-7	-	-	-	-	-	-	8	7,1-E-10	-	-
17	Управление акрысками (27.50)	16	2	7,63-E-8	4	6,1-E-6	2	3,3-E-9	-	-	-	-	8	1,1-E-9	7	1,3-E-9
18	Управление тормозными шпиками (27.60)	13	4	6,9-E-6	2	4,2-E-7	-	-	-	-	-	-	7	4,6-E-11	-	-
19	Управление индетрорами в тормозном резине (27.61)	7	2	1,03-E-4	1	6,28-E-9	2	2,8-E-9	-	-	-	-	2	1,0-E-10	2	1,5-E-9
20	Управление преакрылками (27.80)	10	-	-	2	1,4-E-6	2	2,52-E-9	-	-	-	-	6	1,6-E-9	3	1,7-E-9
21	Топливная система (28.00)	31	9	4,47-E-4	8	3,42-E-4	-	-	-	-	-	-	14	1,7-E-9	-	-
22	Система источников давления гидросистек (29.00)	9	-	-	4	5,36-E-5	1	3,2-E-9	1	3,2-E-9	-	-	3	3,7-E-13	1	3,6-E-5
23	Электровакуумная противообледенительная система (30.10)	2	1	2,0E-4	1	4,0-E-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	Воздушно-тепловая ЦОС двигателя (30.20)	5	-	-	2	1,2-E-4	1	2,75-E-7	-	-	-	-	2	9,0-E-11	2	2,8-E-7
25	Система оборота воздушнойборавка ВСУ (30.21)	1	1	2,58-E-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	Противообледенительная система стекла кабины экипажа (30.40)	9	3	2,1-E-4	4	2,1-E-4	1	1,5-E-7	-	-	-	-	1	6,0-E-11	-	-

Оконтание таблицы 6.1.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
42	Система запуска ВСУ (49.40)	8	8	1,9-Е-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	Система управления входными и аварийными дверями	3	1	2,1-Е-7	-	-	-	-	-	-	-	-	2	6,0-Е-12	-	-
44	Система управления джерью кули (52.11)	8	5	3,15-Е-6	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4,6-Е-10	-	-
45	Система управления грузовыми дверями (52.30)	5	4	4,2-Е-5	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,3-Е-32	-	-
46	Словная установка (71.00)	8	-	-	3	1,2-Е-4	1	2,5-Е-8	-	-	-	-	4	2,0-Е-9	3	2,4-Е-7
47	Система управления двигателями (76.00)	9	2	1,2-Е-8	6	3,08-Е-5	-	-	-	-	-	-	1	3,0-Е-10	3	2,6-Е-5
48	Система управления реверсом типа двигателя (78.30)	5	-	-	4	7,56-Е-7	-	-	-	-	-	-	1	1,0-Е-9	-	-
49	Система запуска двигателя (80.00)	8	4	1,2-Е-5	-	-	-	-	-	-	-	-	4	8,8-Е-11	-	-
	Итого по оконтанию	563	166	2,7Е-2	12	3,39Е-3	24	6,64Е-7	3	1,95Е-8	-	-	242	3,62Е-8	30	6,28Е-5

*) - шифры систем, указанные в скобках колонки 2, соответствуют [3]

Пр. Невер. **) - практически несорбитное событие

Р30 - радиоэлектронное оборудование,

ВСУ - вспомогательная силовая установка,

ПОС - противобомбейная система.

в ОКБ работ, ориентировать его подразделения на новые принципы проектирования, при этом получены ощутимые практические результаты в следующих направлениях.

1. Сертификация самолета:

– доказательство соответствия разделам документов [1,2,8];

– доказательство по пунктам «Норм летной годности», связанным с требованиями к бортовым функциональным системам при отказах;

– перечень особо ответственных агрегатов.

2. Разделы по отказобезопасности в рекомендациях по эксплуатации:

– особые случаи в полете;

– неисправности в полете;

– перечень минимального оборудования;

– допустимые методы технического обслуживания самолета.

3. Исходные данные для составления программы технического обслуживания и ремонта.

4. Рекомендации по эффективному использованию самолета с учетом возможностей эксплуатанта.

5. Обучение экипажа и технического состава эксплуатанта.

6. Отслеживание и корректировка анализа по результатам эксплуатации:

– оценка достигнутого уровня надежности по агрегатам, ФБС и самолету в целом;

– пополнение базы исходных данных и знаний.

7. Анализ инцидентов в соответствии с анализом ФО.

8. Совершенствование регламента технического обслуживания.

9. Обоснование возможности продления ресурсов и сроков службы агрегатов, ФБС и самолета в целом.

10. Требования к эксплуатанту.

Выполнение вышеуказанных работ практически исключает из эксплуатации непредвиденные ситуации и позволяет сделать важный шаг на пути создания «абсолютно безопасного пассажирского самолета». Предложенная с позиций системного подхода **новая наукоемкая технология обеспечения требований надежности и безопасности полетов самолета** предусматривает создание нового направления раздела проектирования, позволяющего прогнозировать эти свойства. Это направление предусматривает выполнение определенных работ по разработанной методологии с необходимым методическим и информационным обеспечением. Практика подтвердила, что выполнение их на ранних стадиях создания самолета гарантирует достижение требуемых свойств надежности и безопасности полетов с первых экземпляров самолета.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Авиационные правила.** Часть 23. Нормы летной годности гражданских легких самолетов. Межгосударственный авиационный комитет. 1993.

2. **Авиационные правила.** Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. Межгосударственный авиационный комитет. 1994.

3. **ГОСТ 18675-83.** Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия для нее. Госстандарт СССР, 1983.

4. **Неймарк М.С.** Матричный метод оценки надежности систем. В сб. Теория и практика проектирования пассажирских самолетов. М., Наука, 1972.

5. **Неймарк М.С., Цесарский Л.Г.** «Метод приведения» – метод определения полного перечня функциональных отказов технической системы. М., «Проблемы безопасности полетов», № 2, 1994.

6. **Неймарк М.С., Цесарский Л.Г.** Системный подход в решении вопросов обеспечения надежности и безопасности самолета. М., «Техника воздушного флота», № 3, 1994.

7. **Неймарк М.С., Цесарский Л.Г.** Определение степени опасности функциональных отказов по методу построения событий. М., «Проблемы безопасности полетов», № 1, 1995.

8. **Нормы летной годности гражданских самолетов СССР.** Межведомственная комиссия по нормам летной годности гражданских самолетов и вертолетов СССР. 1984.

9. **Проектирование,** испытания и производство широкофюзеляжных самолетов. Т.1, кн.1. Под ред. **Новожилова Г.В.** М., Машиностроение, 1980.

10. **Проектирование гражданских самолетов: теории и методы.** Под ред. **Новожилова Г.В.** М., Машиностроение, 1991.

6.2. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРИМЕНЕНИЮ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

6.2.1. Системность процесса создания ракетно-космической техники

С системных позиций любой ракетный комплекс или ракетно-космическая система должны рассматриваться как **большая техническая система (БТС)**, а в процессе их создания необходимо обеспечить заданный уровень эффективности, которая соотносит целевую отдачу (например, выводимая на орбиту полезная нагрузка, дальность полета и т.п.) с производственными затратами. На ракету и космический аппарат, которые являются базовыми элементами БТС, накладываются свои ограничения остальные ее составляющие. Например, во многом облик ракеты предопределяет необходимость использования уже имеющихся пусковых установок и стартовых комплексов. Наряду с этим приходится решать еще одну важнейшую задачу, а именно минимизировать время, необходимое для постановки изделия на производство [1, 12].

Сегодня конструктор настолько сильно вооружен методами проектирования и расчета, так хорошо оснащен средствами электронно-вычислительной техники, что его возможности в разработке новых

уникальнейших конструкций практически не ограничены. В качестве иллюстраций процесса усложнения технических объектов и появления технологических проблем их создания рассмотрим несколько ракетных систем из перечисленных в параграфе 3.3 [15, 17].

Среди **летательных аппаратов (ЛА)** широкое распространение получили крылатые ракеты. Они привлекают высокими летно-техническими характеристиками (ЛТХ), мобильностью, высокой живучестью, скрытностью. Основными конструктивными элементами крылатого ЛА, от качества которых существенно зависят ЛТХ, аэродинамические и эксплуатационные характеристики, являются агрегаты планера: фюзеляж, воздухозаборник, крыло и оперение. Они, как правило, имеют большие габариты, сложную конфигурацию обводов. К ним предъявляются высокие требования по гладкости поверхности и точности выходных геометрических характеристик, по герметичности, а технология производства имеет свою специфику, охватывая все технологические переделы (от получения заготовки до испытаний).

На рис. 6.2.1 приведены типовые компоновочные схемы дозвуковых (ДКР) и сверхзвуковых (СКР) крылатых ракет. Здесь не показаны изделия первого уровня сложности **{Lev-1}**. Представленное технологическое членение ракеты (рис.6.2.2) обосновывает высокую сложность и самого изде-

лия, и технологической системы для его производства. Анализ изображенных на рисунке двухступенчатых ракет, позволяет отметить нарастание их сложности. Во втором поколении **{Lev-2}** разгонная (обычно твердотопливная) ступень ДКР соединялась с основным изделием простой внешней подвеской. В третьем поколении **{Lev-3}**, стремясь к достижению сверхзвуковой скорости, конструкторы превратили разгонную ступень в стартово-разгонную разгонную (СРС), сделав ее «окаймляющей» основную. Наконец, при разработке СКР четвертого поколения **{Lev-4}** было предложено разделить СРС на две части, соединив их воедино контуром воздухозаборника. В результате образовалась общая для основного изделия и СРС внешняя поверхность. Дополнительные сложности были внесены складывающимся крылом значительной площади. В следующем поколении **{Lev-5}** разгонная ступень СКР размещена внутри маршевого двигателя основной. Из приведенного видно, усложнение конструктивно-компоновочных схем было настолько разительным, что перед производителями каждый раз при освоении нового изделия возникла масса нерешенных проблем. Это объективное нарастание требований и появления проблем при создании современных СКР вызывает потребность в новых наукоемких технологиях. Поэтому технологам приходилось прояв-

лять изобретательность не меньшую, чем конструкторам.

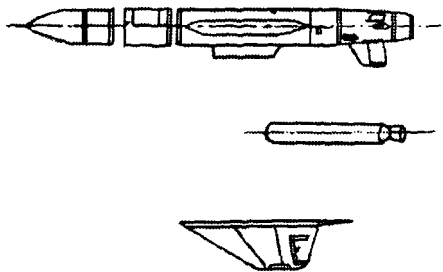
Возникла острая необходимость разрешения технической противоречивости между высокими требованиями к точности и технологическими возможностями реального производства. Для этого были разработаны методология, научные основы и инженерные методы **новой наукоемкой комплексной технологии производства ЛА**, проведена их практическая проверка и реализация в заводских условиях. Безусловно, проблема внедрения комплексной технологии требует применения системного подхода к ее решению.

В качестве объекта для исследований принята сложная трехуровневая человеко-машинная система, объединяющая на верхнем уровне конструкторское бюро и завод. На нижнем уровне рассматриваются корпусные агрегаты, а также средства производства (оборудование и технологическое оснащение) и разработанные технологические методы. Средний уровень представлен ракетой в целом, а также технологиями сборки и испытаний. При рассмотрении такого многоуровневого объекта вполне оправдано применение системного подхода. Это позволило разработать концепцию комплексной технологии, обеспечивающую широкий охват всего множества технологических процессов и операций на всех этапах жизненного цикла СКР. При этом удается учесть многочисленные

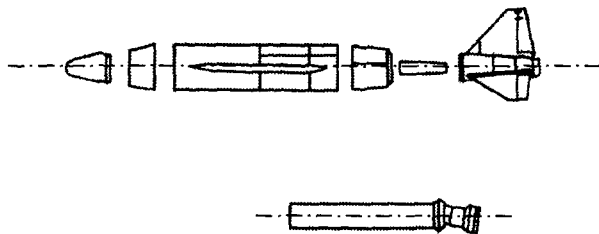
факторы, влияющие на принятие решений при проектировании, конструировании, технологической обработке, серийном изготовлении, заводских и летно-конструкторских испытаниях ракет.

В конечном итоге все задачи сводятся к формированию набора технических характеристик ЛА, выполнение которых гарантирует заданный уровень эффективности его применения. Среди этих характеристик нас прежде всего будут интересовать форма и размеры внешней поверхности, а также положение собственной системы координат ЛА в системе координат стартового комплекса. По результатам определения характеристик ЛА производится анализ влияния возмущений, оказываемых характеристиками на глобальный критерий эффективности, уточняются номинальные значения характеристик и допуски на них. На этом же этапе определяются вид и местоположение базовых площадок на изделии, обеспечивающих его базирование в пусковой установке, эти же площадки материализуют конструкторские базы ЛА. Сложные конструктивные решения требуют увязки с технологическими возможностями производства [1].

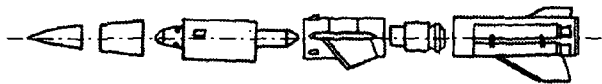
Следующие этапы системного анализа – рассмотрение ЛА как совокупности ступеней, каждой ступени – как набора агрегатов, функциональных бортовых систем, узлов и деталей, наконец, анализ детали как элементарной части изделия. На любом из этих



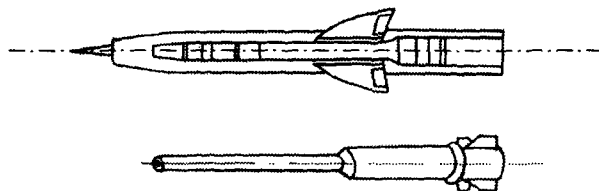
а) тип Lev-2



б) тип Lev-2



в) тип Lev-3



г) тип Lev-5

Рис.6.2.1. Типовые схемы компоновки СКР

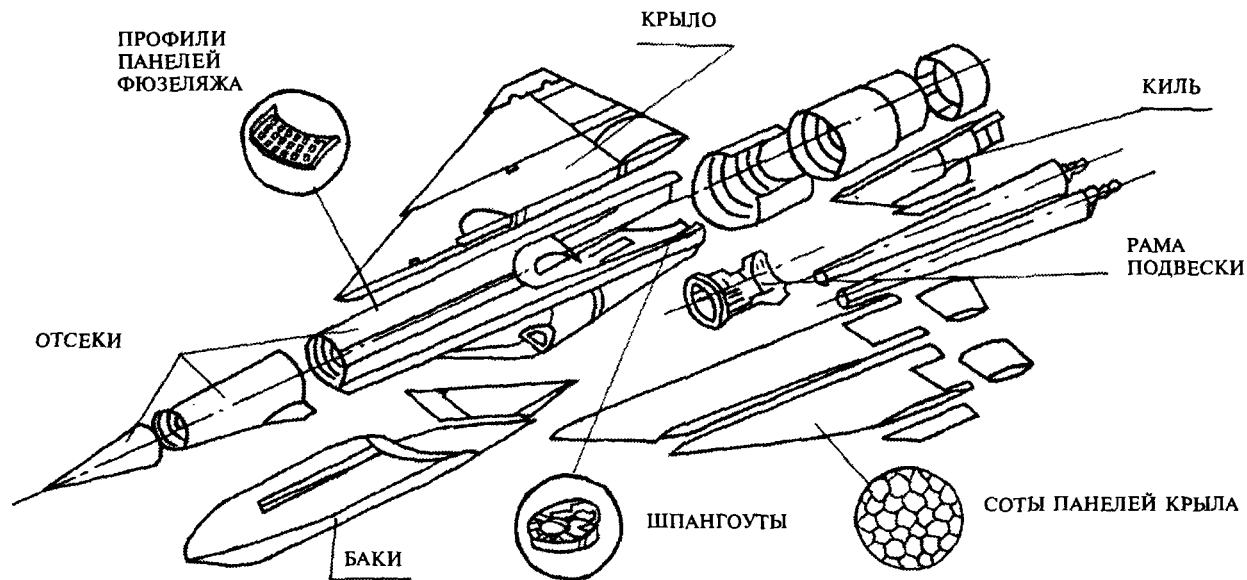


Рис.6.2.2. Схемы технологического членения СКР (тип Lev-4)

этапов производится декомпозиция характеристик, полученных на выходе предыдущего этапа, в совокупность функциональных и геометрических характеристик объекта, рассматриваемого на текущем этапе.

Фактически на всех этих этапах решается обратная задача анализа функциональных и размерных характеристик, когда по заданным значениям характеристики и ее допустимой погрешности, пришедших с предыдущего этапа ана-

лиза, определяются номинальные значения и допустимые погрешности характеристик рассматриваемого изделия.

В результате решения комплекса таких задач определяются местоположение конструкторских баз ЛА, их увязка с базами, определенными на предыдущих этапах анализа, а также положение посадочных мест для установки на корпусе ЛА различного оборудования; тем самым определяется положение оборудования в собст-

Таблица 6.2.1

Структура переделов при разработке комплексной технологии изготовления ЛА

№№ п/п	Технологические переделы	Методы изготовления и испытаний корпусных агрегатов
1	Формообразование первичное	Использование новых материалов Обработка давлением (листовая штамповка) Улучшение кристаллической структуры материала сферодинамическим деформированием Формообразование с нагревом Применение полиуретана. Термокалибровка Магнитно-импульсная калибровка
2	Формообразование вторичное	Механическая обработка резанием Послойное удаление припусков ЭХО и ЭФО сотовых и вафельных конструкций Применение специальных приспособлений Промежуточная термообработка
3	Сборка	Комбинированная обработка Сварка с прокаткой. Автоматизация сварки Фиксация кромок с помощью спецприспособлений Искусственный перелом осей агрегатов Магнитоимпульсная правка
4	Покрытие	Применение новых металлических и неметаллических материалов, обеспечивающих улучшение аэродинамических свойств, коррозионную стойкость и радиопоглощение
5	Испытания на герметичность	Повышение чувствительности измерений за счет регистрации части полного сигнала от течи Подбор оптимального количества пробных газов

венной системе координат рассматриваемого изделия. По итогам выполнения каждого из перечисленных этапов формируется конструкторский образ изделия. Обобщим характерные особенности деталей и агрегатов ЛА:

- как правило, детали и агрегаты обладают достаточно большими габаритами и малой жесткостью, а допуски на геометрические и функциональные характеристики чрезвычайно стеснены;

- детали и агрегаты изготавливаются из высокопрочных, и как следствие, труднообрабатываемых материалов, весьма чувствительных к уровню остаточных напряжений, возникающих в результате механической обработки и сборки их друг с другом. Как следствие, после выполнения технологических операций остаточные напряжения вызывают коробление и потерю точности изделия;

- процесс изготовления деталей и агрегатов включает в себя несколько переделов, часть из которых имеет металлургический характер (сварка, термическая обработка), а часть использует холодную штамповку и резание. Структура переделов представлена в табл.6.2.1;

- высокая плотность монтажа оборудования внутри отсеков и стремление минимизировать массу приводят к появлению на агрегатах множества механообрабатываемых площадок, бобышек, кронштейнов и т.д., усложняющих процессы изготовления и сборки.

В процессе производства ЛА реализуется проектная информация (функциональные и геометрические характеристики изделия). При этом из-за технологической наследственности [13] происходит искажение этой информации при переносе свойств, сформированных на предыдущих переделах, к последующим.

В принципе производство может обеспечить выполнение любого уровня точности выходных характеристик элементов и изделия в целом. Но если издержки производства будут достаточно велики, а скорость их роста будет опережать рост целевой отдачи, то эффективность БТС будет уменьшаться. Поэтому возникает задача обеспечения рациональности производственного процесса. Роль технолога в этом процессе сводится к двум моментам:

1. Снабжение конструктора набором высокоэффективных перспективных конструкторско-технологических решений (КТР), для чего используется принцип их опережающей разработки и освоения в производстве [1, 14].

2. Критический анализ принимаемых конструктором решений с точки зрения возможностей реализации их в производстве и разработка рекомендаций по пересмотру и корректировке конструкторской документации.

Возможность такого анализа кроется в том факте, что упоминавшаяся ранее обратная задача имеет не единственное решение, а

множество допустимых решений. При этом важно отметить, что предлагаемые КТР не должны «консервировать» предыдущий опыт в случае формального восприятия понятия «технологичность», но быть эффективными, т.е. обеспечивать заданный уровень целевой задачи при приемлемых расходах в производстве.

Интеграция процессов конструкторского и технологического проектирования путем формирования большой производственно-технологической системы (БПТС) позволяет обеспечить решение и другой важной задачи – сокращения сроков освоения производства изделий [12].

На основании изложенного выше можно сформулировать следующие выводы:

1. Решение задачи обеспечения технической эффективности БТС должно определять перечень иерархических взаимосвязанных характеристик ЛА и его элементов, в совокупности обеспечивающие надлежащий режим функционирования.

2. В интересах обеспечения эффективности производства ЛА технологи должны с самых ранних этапов жизненного цикла принимать участие в их создании. Они должны вооружить конструктора эффективными КТР, заранее освоенными в производстве.

3. Задача производства заключается в обеспечении устойчивого процесса материализации характеристик, определенных

конструктором. Запас такой устойчивости будет тем больше, чем меньше погрешность воспроизведения характеристик по отношению к допустимым их значениям.

6.2.2. Концепция комплексной технологии

Системный подход к производству ЛА требует создания комплексной технологии, которая логически объединяет такую совокупность КТР, которая обеспечивает, чтобы накопленная на всех технологических переделах погрешность геометрических параметров не превысила бы значений, допускаемых функциональными характеристиками ЛА. Процесс разработки комплексной технологии для производства нового наукоемкого изделия должен быть организован таким образом, чтобы он предшествовал бы (или шел параллельно) созданию конкретных ракет или КА. Комплексная технология должна, как концептуальный метод решения комплекса производственных и технологических проблем при освоении новых изделий, охватывать прорабатывать основные пути и способы достижения цели.

Продукция производства (корпусные детали и агрегаты ЛА) рассматриваются как объекты, обладающие технологической наследственностью [13]. Безусловно, наследственность может быть полезной, улучшающей характе-

ристики изделия, или вредной. Отрицательными проявлениями наследственности являются различные геометрические погрешности формы, изменения номинальных значений и погрешностей геометрических параметров, дефекты поверхностного слоя, нежелательные структурные изменения материала изделия и др. Они могут либо развиваться, либо подавляться в ходе реализации технологического процесса. Так или иначе, но результат каждой операции зависит от предыстории всего технологического процесса. Управляя технологической наследственностью в процессе изготовления изделий, можно значительно улучшить их эксплуатационные свойства.

Задача исследования и управления технологической наследственностью в производстве ЛА была выбрана в качестве ключевой при разработке концепции комплексной технологии с целью усиления влияния положительных сторон наследственности и подавления отрицательных.

Предлагаемая **концепция** построена на следующих общих принципах **управления технологической наследственностью** [11].

1. Возможны три способа управления наследственностью:

а) за счет изменения содержания технологических операций (путем введения различных «компенсаторов» и т. д.);

б) варьированием состава операций,

в) выбором последовательности включения операций в технологическом маршруте.

Установлено, что в производстве ЛА третий способ является наиболее предпочтительным, т.к. он требует наименьших изменений в технологической системе.

2. Структурное проектирование технологических процессов изготовления корпусных деталей и агрегатов ЛА должно вестись таким образом, чтобы обеспечить монотонность изменения величины показателя некоторого наследуемого отрицательного свойства изделия. Наиболее благоприятным будет такой технологический процесс, при котором отрицательное свойство либо не может возникнуть, либо его негативное влияние подавляется сразу же после возникновения.

3. Подавление отрицательного влияния наследуемых свойств изделия на начальных технологических переделах наиболее выгодно и с экономической точки зрения. Действительно, степень увеличения себестоимости агрегатов на начальных переделах гораздо ниже, чем на завершающих. Одновременно уменьшение издержек происходит за счет предотвращения появления в будущем бракованных деталей, отсеков, агрегатов.

При разработке комплексной технологии с учетом технологической наследственности использованы методы теории графов для построения математических

моделей технологических сетей, как наиболее приемлимые для рационального построения маршрута обработки. При этом любой технологический процесс можно представить в виде взаимодействия технологических операторов, которыми являются методы обработки, сборки, испытаний, а также переходы, рабочие ходы. В качестве технологических операндов могут быть: детали, совокупность обрабатываемых поверхностей, отдельные поверхности и т.д. Операторы воздействуют на операнды и изменяют их свойства и состояние. Новое состояние задается вектором показателей (точности, шероховатости и т.п.). Этот вектор представляет собой последствия (постусловия) реализации одного оператора, являющиеся входными данными (предусловиями) другого.

Адекватным описанием технологической системы, которая содержит технологические операторы с векторными пред- и постусловиями, являются ориентированные графы, описываемые парами множеств:

$$H = (S, Z),$$

где $S = \{S_i\}$ – множество вершин ($i=1, \dots, N$);

$Z = \{Z_j\}$ – множество дуг ($j=1, \dots, M$).

Каждая дуга $Z_j(\alpha_j, \beta_j)$ имеет множество вершин α , из которых исходят дуги (выходы), и множество вершин β , в которые заходят дуги (входы) [11]. Количество вершин S_i принято называть порядком, а количество дуг Z_j – размерностью

графа. Множество дуг, соответствующих технологическим операторам, пополняемое дугой $Z_{\text{вн}}$, описывающей внешнюю среду, представляет собой ориентированный граф, который является математической моделью технологической системы.

Например, необходимо обработать плоскую поверхность обечайки с конечными выходными параметрами: нулевым припуском, шероховатостью поверхности $Ra0,32$ мкм и 8-ым качеством точности. Материал легированная сталь. Заготовка – листовой прокат. На рис.6.2.3 изображен фрагмент графа, являющегося моделью технологического процесса обработки плоской поверхности. В этом графе дуги – методы и виды обработки. Входами их являются значения припуска (p), шероховатости (Rz или Ra) и качества точности (JT), которые позволяют применять данные методы обработки. Выходами служат изменения этих величин. Например, для термообработки вводится вершина S_7 , которая является выходом дуг Z_4, Z_8 и входом для дуг Z_{10} и Z_{12} , операторы которых должны выполняться после термообработки. Начальное состояние заготовки описывается вершинами S_1, S_2, S_3 , а состояние обработанной поверхности вершинами S_{19}, S_{20}, S_{21} . При проектировании технологии обработки плоской поверхности, одним из вариантов маршрутов обработки может быть следующий: $Z_1, Z_3, Z_7, Z_9, Z_{12}, Z_{14}, Z_{16}$. Применение

теории графов в производстве ЛА дает возможность выбирать рациональные маршруты комплексной технологии их изготовления. Выбранная рациональная совокупность операций и порядок их следования связывает воедино не только оборудование, но и цеха, организуя их в единую большую технологическую систему. Проведенный анализ всего технологического цикла изготовления с помощью теории графов обеспечивает разработку технологических методов повышения точностных характеристик и тем самым позволяет удовлетворять заданным ТТХ.

6.2.3. Методология формирования комплекса конструкторско-технологических решений

Проведенный системный анализ возможностей применения комплексной технологии в серийном производстве ЛА показал, что традиционная схема создания ЛА содержала три стадии и выглядела следующим образом. Вначале Заказчик разрабатывал тактико-технические требования (ТТТ), после утверждения которых Разработчик на конкурсных началах в течение 1-3 лет разрабатывал технические предложения. После их защиты перед Государственной комиссией и доработки Заказчик выдавал ТЗ на ракету и систему (комплекс) в целом. На следующей стадии еще 2-3 года уходило на разработку эс-

кизного проекта, в случае успешной защиты которого проводилась окончательная корректировка ТЗ и выбирался головной разработчик системы (или комплекса). Он же являлся головным разработчиком базового изделия, т.е. ЛА. Наконец, на третьей стадии при постоянном контроле со стороны Представителя Заказчика разрабатывались технический проект, конструкторская и другая необходимая документация. На упомянутые три стадии уходило 5 и более лет. Затем наступала очередь производителей, которые прежде всего разрабатывали директивные технологические процессы изготовления ЛА. Выяснялась потребность в средствах технологического оснащения (СТО).

В целях существенного сокращения сроков освоения производства ЛА и других сложных изделий машиностроения был применен системный подход. Суть этого подхода сводится к следующему.

1. Для реализации проекта ЛА использовалась матричная структура управления сложной организационно-производственной системой «Разработчик-Изготовитель». Основная задача – системный анализ разрабатываемого ЛА совместно с оценкой производственно-технологических возможностей завода-изготовителя и специфики ТПП изделия, начиная с этапа выдачи ТЗ и разработки технических предложений.

2. Цель применения матричной структуры управления заключает-

ся в параллельной разработке конструкторской и технологической документации в рамках человеко-машинной системы «КБ-Завод-Ракета». Параллельно с проектированием и конструированием нового изделия на заводе, где в будущем должно было изготавливаться изделие, велась разработка новых технологических процессов и соответствующего оборудования.

3. Для разработки директивных технологических материалов и СТО привлекались НИИ отрасли, выявлялись будущие «узкие места», по их устранению принимались комплексные меры. Разрабатывались новые технологии, проектировалось оборудование для изготовления сложных корпусных деталей и агрегатов, оснастка и стапеля для сборки отсеков, стенды для контроля, термо- и барокамеры для испытаний отдельных агрегатов и изделия в сборке.

4. Изготовление новых СТО осуществлялось преимущественно на заводе-изготовителе, теми же цехами и теми же специалистами, которые вскоре должны были сами использовать это оборудование для производства ЛА.

5. Для координации и увязки проектно-конструкторских и технологических работ, а также процесса ТПП целесообразно ввести должность «Главный технолог проекта изделия». Он анализировал и прорабатывал всю конструкторскую документацию с точки зрения обеспечения своевременной ТПП и совместно с Главным

конструктором подписывал чертежную документацию до передачи ее на завод-изготовитель. Решались также вопросы согласования взаимодействия отраслевых НИИ, КБ и заводов, участвующих в создании СТО, системы и ее базового изделия.

6. Разработка новых технологических операций и процессов в обеспечение непрерывности, преемственности и взаимосвязанности технологий на протяжении всего жизненного цикла изделия. Переход от отдельных технологических операций и процессов к комплексным технологическим циклам, охватывающим все переделы.

Идея перехода от последовательной к последовательно-параллельной схеме организации работ по созданию одновременно и изделия, и СТО известна и представляется вполне естественной и очевидной. Важно в конкретных условиях найти механизм управления, обеспечивающий надежное «запаралеливание работ» без разрыва процесса проектирования и производственно-технологических связей. Использование предложенного подхода, как показала практика, позволило в 2-3 раза сократить длительность цикла освоения производства новой ракеты.

Необходимо отметить и отрицательную сторону опережающего изготовления оснастки и освоения новых технологий. Если у Разработчика появляются новые идеи по существенному улучшению ЛТХ за счет кардинального изме-

нения конструктивно-компоновочной схемы ЛА или замены материалов, то это обычно требует коренного изменения технологий. Указанный риск может быть уменьшен за счет увеличения базы КТР и углубления степени их проработки.

Таким образом, потребность быстрого освоения исключительно сложных изделий нового поколения порождает ряд проблем технического, технологического и организационного плана, решение которых требует системных разработок. Предложенная методология основывается, с одной стороны, на системном подходе к разработке, изготовлению и эксплуатации БТС, а также ее базового изделия – летательного аппарата. С другой стороны, должен использоваться комплексный подход к технологии изготовления и испытания изделий, позволяющий учитывать все аспекты процессов проектирования, конструирования, технологического обеспечения и собственно производства.

Кроме того, комплексный подход позволяет учитывать и другие проблемы, свойственные всякому машиностроительному производству: экономика, экология, подготовка кадров, строительство, металлургия, конверсия, сырьевая база и другие [4, 9, 12]. Комплексность предполагает не только охват многочисленных аспектов, но и их ранжирование, взаимоувязку, согласование, опережающую оценку и освоение

путей разрешения возникающих проблем.

Предложенная методология комплексирования строится на решении задач по трем направлениям:

Во-первых, разработка директивных технологических процессов изготовления деталей и агрегатов ЛА, опирающихся на комплексный анализ и объединение всех технологических операций и процессов, принадлежащих различным переделам, в единый, заранее продуманный цикл.

Во-вторых, комплексный учет наибольшего числа проблемных вопросов и внешних факторов, влияющих на принятие решений при проектировании, конструировании, технологической отработке, изготовлении, заводских и летно-конструкторских испытаниях, серийном производстве ЛА.

В-третьих, рассматриваемое комплексирование становится достаточно эффективным лишь в случае использования комплексного подхода на всех этапах жизненного цикла ЛА и создаваемой на его базе БТС. Внедрение комплексной технологии в производство дало возможность обеспечить не только требования Заказчика по выходным характеристикам изделий, но и сократить объем обработки резанием на 30%, обеспечить до 70% экономии дорогостоящих сплавов и неметаллических материалов, снизить трудоемкость одного изделия на 460 нормочасов. В некоторых случаях, например, при точной штамповке

удалось полностью отказаться от доводочной механической обработки. Применение комплексной технологии тесно взаимосвязано с разработкой новых наукоемких КТР, некоторые из них представлены ниже.

6.2.4. База комплексной технологии: новые наукоемкие конструкторско-технологические решения

Согласно табл. 6.2.1 одним из принципиально новых технических решений, позволяющим на этапе первичного формообразова-

ния значительно снизить погрешности деталей, является **выбор подходящих материалов**. Обычно эта задача требует продолжительных экспериментальных исследований. Например, после длительных опытов для изготовления корпусных деталей и агрегатов ЛА было предложено использовать термически упрочняемый алюминиевый сплав 1201, которым были заменены традиционные сплавы АМг6 и М40, заложенные в конструкторской документации. Проведенные исследования свойств материалов показали (рис. 6.2.4; рис. 6.2.5, рис. 6.2.6), что физико-

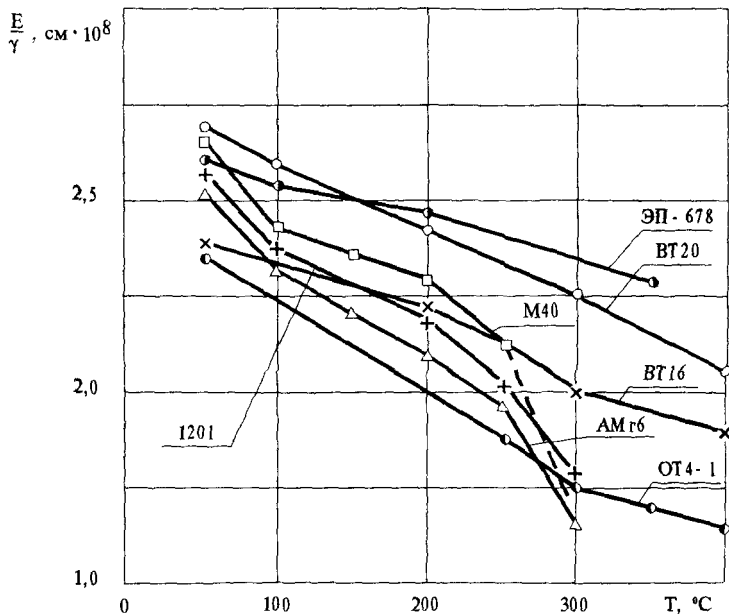


Рис. 6.2.4. Зависимость удельной жесткости от температуры для различных материалов

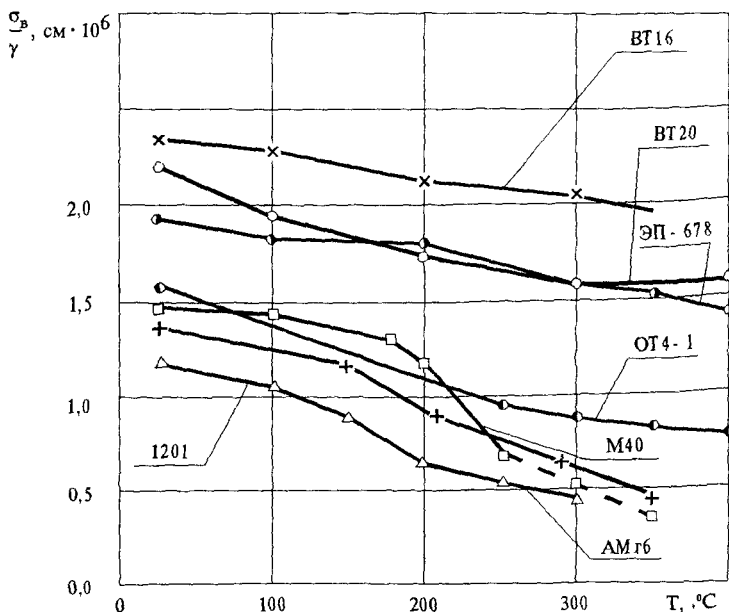


Рис.6.2.5. Зависимость удельной прочности (на растяжение) от температуры для различных материалов

механические характеристики сплава 1201 при его первичном и вторичном формообразовании и сварке предпочтительнее сплавов типа АМГ6, так как открывается возможность значительного уменьшения погрешностей деталей за счет уменьшения остаточных напряжений, возникающих в процессе обработки и сборки. Технологические сложности использования сплава 1201 компенсируются прочностными характеристиками и жаропрочностью, которые в 1,5 раза выше, чем у АМГ6. Так была доказана целесообразность предложенной замены.

Механические свойства сварных соединений из этих материалов зависят от технологии упрочнения и угла отклонения (α) волокон от заданного направления.

При проектировании ЛА рассматривались различные варианты панелей (рис.6.2.7), при разработке КТР которых используются разные материалы. Выбор пал на стальные сплавы ЭП-678 и ЭП-679 вместо СН4. При этом потребовалось потратить много времени для организации на трех металлургических заводах поэтапного про-

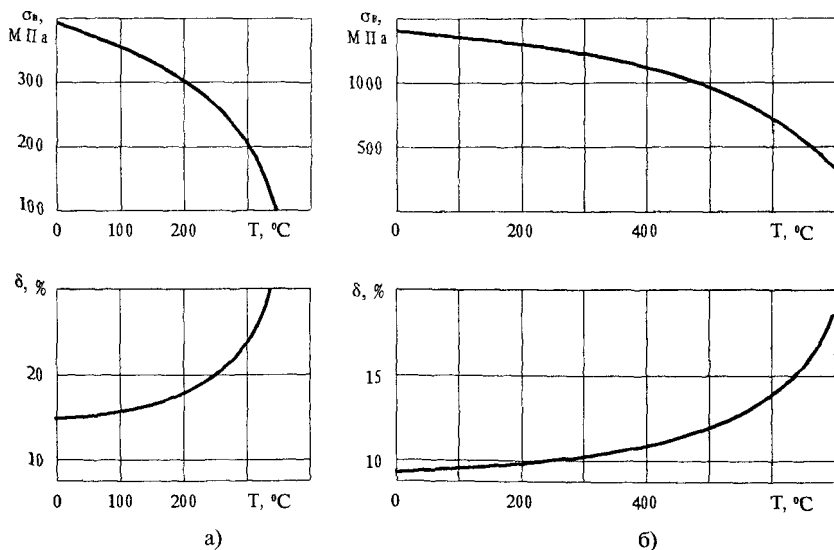


Рис.6.2.6. Свойства нетрадиционных материалов:

а) теплопрочный сплав 1201

б) стали ЭП-678 и ЭП-679

Направление волокон	σ_b , МПа	α , °
Продольное	260÷270	70÷76
Поперечное	263÷265	74
Высотное	127÷212	16÷34
	165÷168	25

Технология упрочения	σ_b , МПа
Без термообработки	880÷960
Старение при:	
400÷425 °С	1130÷1215
430÷570 °С	1275÷1390

изводства тончайшей фольги из новых сталей. Так к технологическим проблемам часто добавляются металлургические (материаловедческие). Возникли трудности обеспечения «плоскостности» листов, которую так и не смогли обеспечить металлурги. Ниже будет показано, как эту задачу удалось решить методом термокалибровки.

Насколько заметна в КТР обратная связь влияния технологии на конструкцию иллюстрирует при-

мер сравнения (по относительному весу) вариантов КТР для килья ЛА. Из пяти вариантов, представленных в табл.6.2.2, минимальный удельный вес единицы площади килья ($\gamma=19$ кг/м²) получается в случае применения алюминиоборосиликатного композита (АБК). Однако окончательно по предложению технологов был выбран стальной тонкостенный киль с сотовым наполнителем (рис.6.2.7), хотя у него $\gamma=28,8$ кг/м². Решающим аргумен-

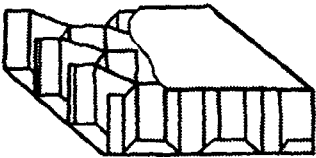
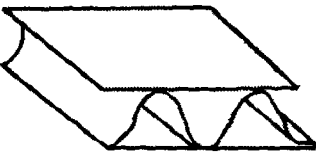
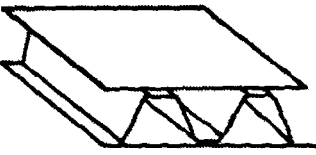
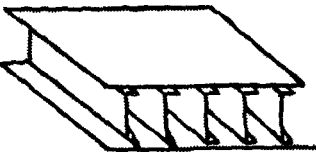
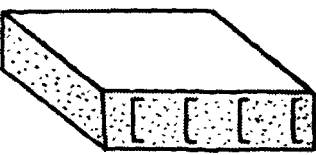
№	Схема компоновки панелей	Заполнитель
1		Соты
2		Гофры
3		Складки
4		Ребра
5		Ребра и пенопласт

Рис.6.2.7. Варианты КТР трёхслойных панелей

Таблица 6.2.2

Удельный вес единицы площади средней части кия для различных вариантов компоновки и применяемых материалов

№	Вариант КТР	Конструктивная схема	Материал	Толщина, мм	Удельный вес, кг/м ²
1	Цельнофрезерованный с разъемом по хорде	Половинки плоскости	1201	-	50,5
2	Стальной тонкостенный с сотовым наполнителем	Обшивка Соты Лонжероны	ЭП-678 ЭП-678 ЭП-678, BT20	0,3 0,03 -	28,8
3	Алюминиевый тонкостенный с сотовым наполнителем	Обшивка Соты Лонжероны	Д19 1201 Д19, BT20	0,3 0,03 -	26,2
4	Углепластиковый тонкостенный с сотовым наполнителем	Обшивка Соты Лонжероны	УП 1201 BT20	0,8 0,03 -	22,2
5	Алюобороком-позит тонкостенный с сотовым наполнителем	Обшивка Соты Лонжероны	АБК 1201 АБК	0,8 0,03 -	19,0

том здесь оказалось совпадение с директивной технологией изготовления крыла.

Для изготовления панелей крыла и оперения был экспериментально отработан и предложен к использованию медный припой вместо серебрянного, что дало экономию серебра на каждом изделии до 9 кг.

При изготовлении корпусных деталей ЛА часто используются листоштампованные заготовки из стали ЭП-679, титанового сплава BT14, алюминиевого сплава 1201 (см. рис.6.2.4; рис.6.2.5, рис.6.2.6).

Низкая пластичность применяемых материалов и высокие требования к точности изготовления обусловили необходимость появления новых КТР, использующих технологический процесс формообразования деталей с нагревом. Была разработана математическая модель процесса. При этом методика расчета режимов формообразования осесимметричных деталей с нагревом построена на использовании уравнения баланса мощности, уравнения состояния вязкопластического материала, уравнения для контактных касательных напряжений и необходимых кинематических соотношений, из

которых получена формула для усилия P формообразования (вытяжки, обжима или раздачи):

$$P = 4\pi\sigma h(r_1)^{1/2} \left[(r_2)^{1/2} - (r_1)^{1/2} \right] (1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha) \sin \alpha, \quad (6.2.1)$$

где P — усилие операции,
 h и r_1 — толщина и радиус заготовки при обжиге и раздаче (детали — при вытяжке),

r_2 — радиус свободного края,
 σ — интенсивность напряжений,
 μ — коэффициент трения,
 α — односторонний угол конуса инструмента.

Формула (6.2.1) и график (рис.6.2.8) дают возможность определить зависимость оптимального усилия от скорости штамповки для деталей из титанового сплава ВТ14. При этом финишные отклонения по сопрягаемым размерам составляют всего лишь $dL=0,3\div 0,5$ мм при габаритной длине $L=100\div 300$ мм. Разработанный (с учетом степени нагрева) процесс позволяет получать тонкостенные и толстостенные про-

фили с радиусомгиба полки менее половины толщины листа, что исключает необходимость последующей механической обработки и повышает КИМ с 0,1 до 0,7÷0,85.

Тонкостенные детали обводов корпуса толщиной $h=0,8\div 1,0$ мм из стали ЭП-679 не должны иметь «планшетность» более $d=0,1$ мм (для обеспечения беззазорной пайки с сотовым наполнителем и деталями каркаса). С целью исключения деформации от остаточных термических напряжений разработана совмещенная технология термокалибровки с термофиксацией пакета деталей в штампе. Процесс происходит в вакууме.

Установлено, что при увеличении времени выдержки («за-

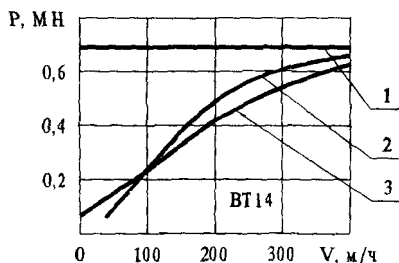


Рис.6.2.8. Зависимость усилия формообразования от скорости штамповки:

- 1 — расчет (без учета ползучести),
- 2 — расчет (с учетом ползучести),
- 3 — эксперимент.

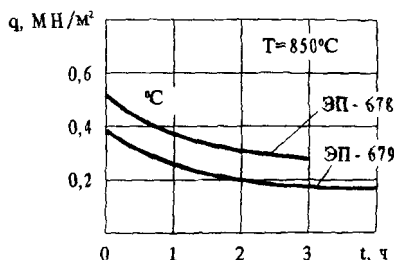


Рис.6.2.9. Зависимость удельного давления термокалибровки от времени выдержки

неволивания») деталей до $t=1,5$ ч удельное усилие термокалибровки (рис. 6.2.9) уменьшается практически в $1,5 \div 1,6$ раза при обработке высокопрочных сталей. Применение термокалибровки позволило также снизить объем механической обработки на $40 \div 50\%$, сэкономить материал на 30% и сократить сроки подготовки производства в $2,5$ раза. Погрешность сопрягаемых размеров не превышает $d=0,3 \div 0,5$ мм на длине $L=100 \div 300$ мм.

Для изготовления вафельных отсексов сложной формы из алюминиевого сплава 1201 с переменным сечением был предложен способ (**процесс термокалибровки**), обеспечивающий повышение точности деталей при первичном формообразовании штамповкой. Например, для гибки используется штамповка полиуретаном с нагревом и последующим «заневоливанием». Удельное усилие термокалибровки не превышает величину:

$$q = \frac{2A \left\{ \left(\frac{2}{t} \right) \sqrt{3 \sin 2\alpha} \right\}^m \{ 1 - B[1 - \exp(-\lambda t)] \}}{\sqrt{3 \sin 2\alpha}}, \quad (6.2.2)$$

где t — время операции,

A , m — коэффициенты пластичного упрочнения,

B , λ — коэффициенты теплового разупрочнения.

* * *

С целью обеспечения заданных эксплуатационных характеристик деталей аппаратуры (датчиков абсолютного давления), изготавливаемых из коррозионностойких сплавов типа 12Х18Н10Т, 36НХТЮ и 07Х16Н6, был разработан **метод сферодинамического формообразования**, позволяющий формировать новые наукоемкие КТР. На уровне изобретений (запатентованы в Швеции, Норвегии, Финляндии, Франции, Германии) были созданы устройства и способ [6-8, 10] для улучшения кристаллического строения материалов с дифферен-

цированными ферромагнитными свойствами. В основу положено физическое явление — локальный ферромагнетизм в парамагнитных материалах. Перестройка кристаллографической структуры обрабатываемого материала происходит за счет одновременного воздействия на заготовку активного и реактивного источников энергии деформации и реализации низкоэнергетических механизмов ротационной пластичности. В зависимости от вида сформированной структуры материал становится высокопрочным, упругим, биологически активным или пассивным, имеет повышенную вязкость, химическую стойкость, диффузионную активность.

При традиционном объемном деформировании исходные (металлургические) волокна металла за-

готовки незначительно меняют свою конфигурацию в готовой детали, претерпевая разрывы в местах интенсивного перемещения металла, что обуславливает низкую герметичность в условиях повышенных вибронагрузок и криогенных температур. При сферодинамическом же формообразовании

волокна образуют взаимозамкнутые многослойные массивы регламентированного расположения по всему объему детали, чем обеспечивается высокая герметичность в течение длительного времени.

Для расчета работы формообразования используется следующая формула:

$$A_{\phi o} = \sum_{j=1}^n \frac{\pi(r_j)^2}{3} (\tau)_j (h_j - H_j) \left[\frac{h_j - H_j}{H_j} - 2\mu \frac{r_j}{h_j} L n(h_j/H_j) \right], \quad (6.2.3)$$

где учтены контактные напряжения (τ) и определяющий параметр кристаллической решетки в деформируемой заготовке (r_j) ; геометрические параметры заготовки (h_j) и детали (H_j) для j -ой нагрузки; коэффициент трения на контакте инструмента с заготовкой (μ) .

* * *

Для уменьшения погрешностей, возникающих от деформационных искажений при изготовлении

шпангоутов из сплава 1201, разработано новое КТР, позволяющее уменьшить практически до минимума остаточные деформации, возникающие после обработки резанием. Заложена в КТР технология основана на **последнем удалении припусков на обработку**. Деформации шпангоутов в зависимости от величины снимаемого припуска при механической обработке рассчитываются по следующей формуле:

$$h_1 = (L_{um})_{in} \pm \sqrt{(L_{um})_{iv}^2 + 2S_{2x}/a_1}. \quad (6.2.4)$$

Эта формула получена из условия равенства статических моментов двух ($i=1; 2$) противоположно расположенных припусков:

$$S_{1x} = S_{2x} \quad \text{или} \quad (6.2.5)$$

$$a_1 h_1 (L_{ит})_{1c} = a_2 h_2 (L_{ит})_{2c},$$

$$(L_{ит})_{1c} = (L_{ит})_{in} + h_1/2.$$

Здесь h_i и a_i — толщина и ширина припуска,

$(L_{ит})_{in}$ — расстояние от начала припуска до центра тяжести,

$(L_{ит})_{1c}$ — расстояние от середины припуска до центра тяжести,

S_{ix} — статический момент припуска.

Полученная зависимость позволяет рассчитывать припуски, ко-

торы удаляются с каждой поверхности детали, ориентированной относительно центра тяжести, за $2 \div 3$ прохода. При первом проходе устраняется максимальное механическое напряжение в поверхностном слое металла, а при следующих съемах припусков происходит равномерное перераспределение напряжений в заготовке. Для реализации метода потребовалось внедрить оригинальную схему крепления шпангоута при механообработке.

* * *

Разработан способ повышения жесткости и точности установки деталей за счет использования дополнительных прижимов а также путем изменения последовательности креплений обрабатываемой детали. При обработке карманов сначала осуществляется закрепление наружного, а затем внутреннего контуров. При обработке наружного контура порядок закреп-

ления остается таким же, но производится установка дополнительных фиксаторов в наиболее критических точках по всему периметру. Это повышает точность обработки базовых отверстий. Изменена существовавшая схема технологического процесса: вначале производится обработка карманов, а затем внутреннего и наружного контуров с предварительным расчетом припусков по формуле (6.2.4). Одновременно уменьшены деформации за счет минимизации глубины резания (на окончательную обработку оставляется не более 1 мм) и предложены оптимальные режимы при фрезеровании шпангоутов.

* * *

Для повышения точности изготовления сотовых конструкций, применяемых в конструкции планера ЛА, разработана математическая модель, позволяющая учитывать упругие колебания

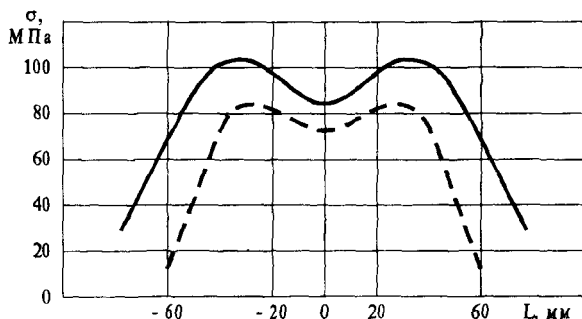


Рис. 6.2.10. Распределение остаточных напряжений по длине подварочного шва: ———— $(\sigma_x)_{ост}$; - - - - $(\sigma_y)_{ост}$

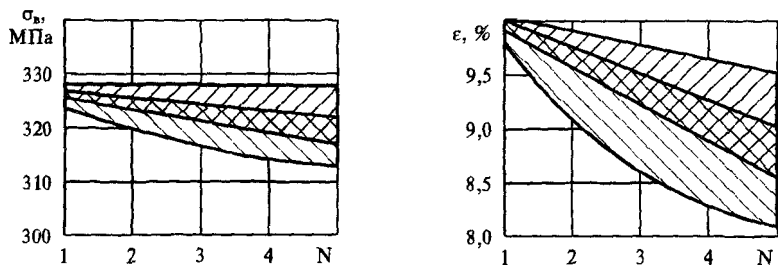


Рис.6.2.11. Механические характеристики переходной зоны шва в области подварок в зависимости от их количества (N):

////// - подварки с перекрытием, \\\\\\\ - подварки без перекрытия

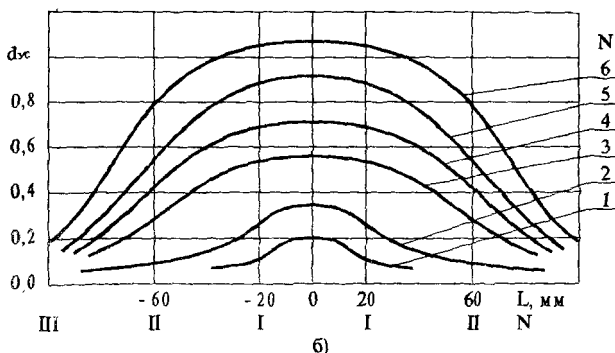
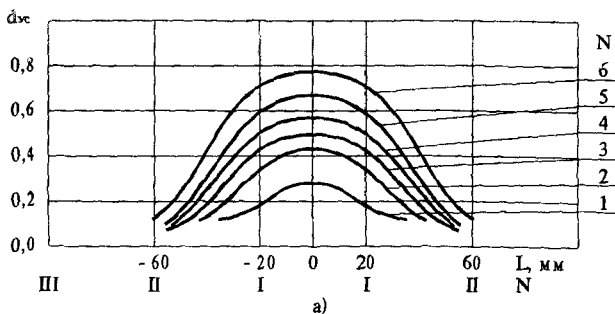


Рис.6.2.12. Распределение поперечных усадочных деформаций (d_{yc}) по длине (L) подварочного шва в условиях повторного проплавления:

а) подварки без перекрытия б) подварки с перекрытием

электрода-инструмента. Модель учитывает воздействие электрического разряда в виде сосредоточенной импульсной нагрузки с периодом, определяемым импульсом генератора. Получены расчетные соотношения для постоянного смещения проволоки и случайных колебаний электрода в направлении, перпендикулярном подаче. Полученные зависимости позволяют оценивать погрешности формы контура детали и получать оптимальные параметры обработки. При этом при изготовлении сотовых панелей длиной около 2 м получена точность $\pm 0,05$ мм.

* * *

Для повышения точности геометрических параметров при сборке-сварке корпуса ЛА была разработана совокупность новых КТР, предусматривающая:

- увеличение жесткости подкладных колец путем замены материала,
- использование наружных бандажей при сварке поперечных швов,
- применение магнитно-импульсной калибровки торцевых зон обечаек,
- приварку пилона с минимальными деформациями за счет ис-

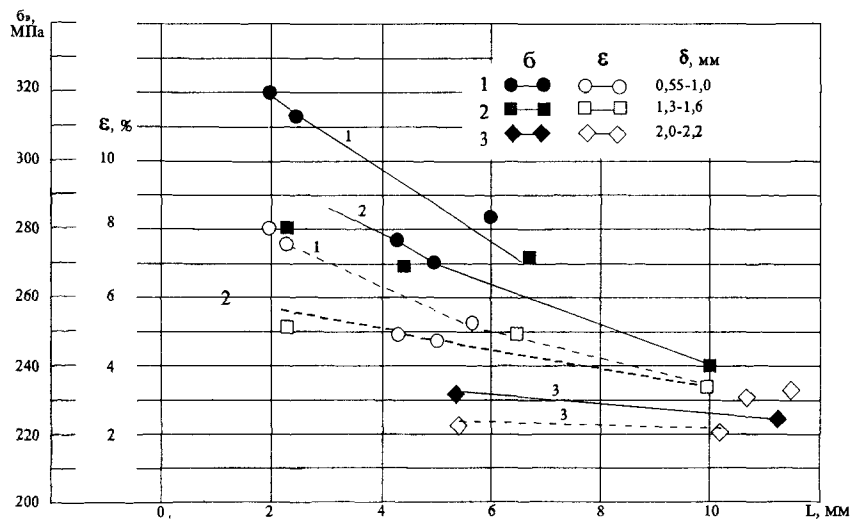


Рис. 6.2.13. Зависимость работоспособности сварного соединения от длины оксидной пленки (L) и глубины залегания оксидной пленки (δ)

кусственного «перелома оси» изделия при сварке полуагрегатов,

- изменение технологической схемы сварки поперечных швов;
- термическое деформирование шва прокаткой.

Монтажные напряжения при сварке, наличие в полках шпангоутов из сплава 1201 неблагоприятного расположения волокон, дефекты металлургического характера в ряде случаев приводят к появлению несплавлений, пор, окисных включений, микротечей, устраняемых подваркой. В связи с этим были проведены исследования, направленные на изучение влияния дефектов на прочность

сварных соединений, и отработана методика устранения дефектов методом ручной подварки.

Это позволяет существенно улучшить механические характеристики зоны шва (рис.6.2.10; рис.6.2.11; рис.6.2.12). На рисунках ось X направлена вдоль, а ось Y – поперек шва; количество подварок обозначено N.

Испытания сварных образцов с наличием дефектов в шве показали, что прочность и деформационная способность сварного соединения снижается с увеличением длины окисной пленки (L) и с увеличением глубины (δ) ее залегания (рис.6.2.13). Результаты испы-

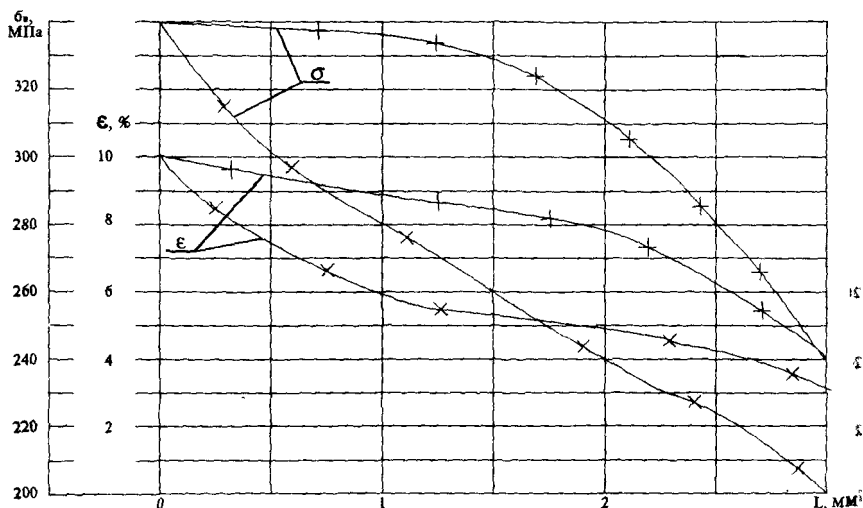


Рис. 6.2.14. Механические свойства сварных соединений при наличии пор:

- 1) $\times \times \times$ сквозные поры,
- 2) $+ + +$ несквозные поры

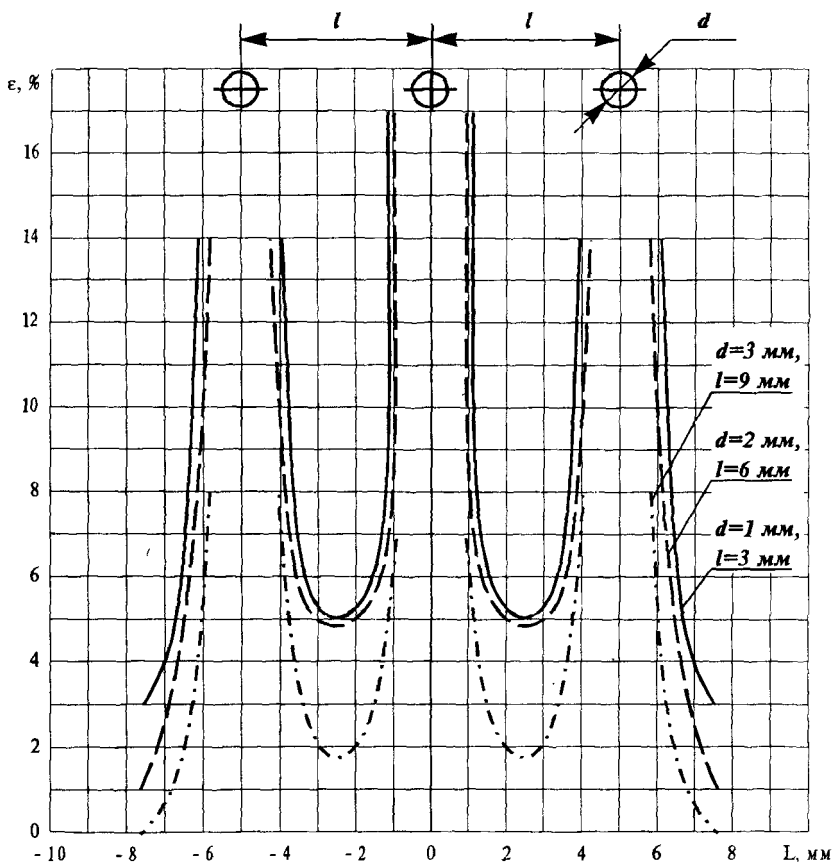


Рис.6.2.15. Эпюры распределений остаточных деформаций в зоне расположения сквозных пор

таний сварных образцов с имитацией ряда круглых пор показали, что при допустимой длине окисной пленки $L=2\div 3$ мм глубина залегания может составлять $\delta=0,8\div 1,2$ мм. С дальнейшим увеличением глубины залегания пленки работоспособность сварного соединения резко ухудшается. Прочность соединения снижается при наличии сквоз-

ных пор с увеличением их диаметра (рис.6.2.14; рис.6.2.15) в то время, как несквозные поры, диаметром до $d \approx 2$ мм, практически не влияют на прочность.

Проведенные исследования показали, что **термическое деформирование** металла шва корпусных агрегатов из сплава 1201 при прокатке с температурой $T=90^\circ\text{C}$ и

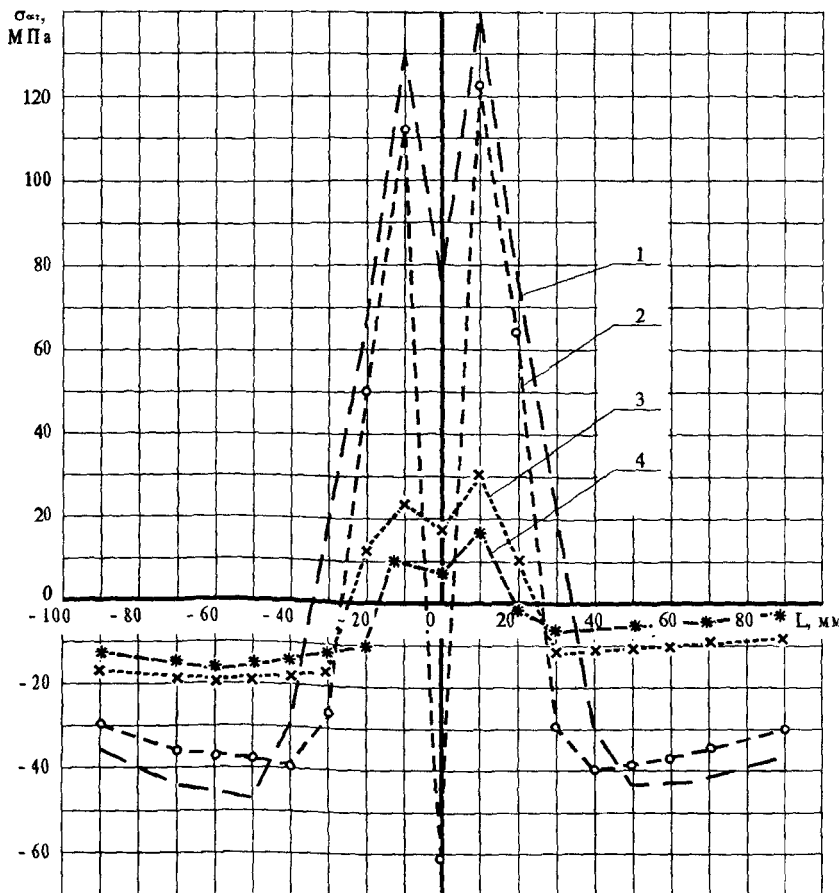


Рис.6.2.16. Влияние прокатки на изменение продольных остаточных напряжений сварных соединений деталей из сплава 1201:

- 1 — — — — — сварка без прокатки
- 2 —○—○—○— сварка с прокаткой при $T = 20^{\circ}\text{C}$,
- 3 —x—x—x—x— сварка с прокаткой при $T = 90^{\circ}\text{C}$ и $P = 14 \text{ кН}$,
- 4 —*—*—*—*— сварка с прокаткой при $T = 90^{\circ}\text{C}$ и $P = 18 \text{ кН}$

усилиях $P=14\div 18$ кН способствует практически полному устранению деформаций коробления без снижения пластических свойств соединений (рис.6.2.16). Прокатка продольных швов обечаек одновременно со сваркой позволила повысить точность их формы в 10 раз и, в частности, более чем в 10 раз уменьшить корсетность (с $5\div 8$ мм до $0,5\div 0,7$ мм).

* * *

Обеспечение высокой точности изготовления и сборки ЛА достигается мероприятиями на всех этапах жизненного цикла изделия, начиная от разработки ТП и заканчивая испытаниями. Здесь важное значение приобретает выбор **схемы размещения посадочных плоскостей и контрольных баз**. Для того, чтобы обеспечить высокую точность конечных размеров была создана специальная оснастка для сборки консолей крыла и агрегатов фюзеляжа. В целом для обеспечения высоких точностей требуется создание специального технологического оборудования, включающего комплексы эталонов агрегатов, калибров, конт-калибров, мастер-плит и контрольных стенов. Вся совокупность перечисленной оснастки создается обычно заводом-изготовителем изделия. Значительная экономия времени без снижения качества обеспечивается соответствием схемы общей сборки с возможностями конкретного производства завода-изготовителя. Важное значение

приобретает схема чязки изделия, пусковой установки (ПУ), спецпаратуры и технологической оснастки, один из вариантов такой схемы представлен на рис.6.2.17. Очевидно, совокупность представленной на схеме оснастки, обеспечивающей сборку высокоточных изделий, представляет сложную технологическую систему.

* * *

Среди множества различных заводских испытаний изделия для ЛА особенно важным являются испытания на герметичность.

Особенностью **испытаний на герметичность многополостных конструкций ЛА** является обязательная проверка герметичности их внешней оболочки знакопеременным градиентом испытательного давления в баровакуумных камерах. Они в отличие от вакуумной камеры располагают двумя схемами течеискания, позволяющими производить оценку суммарной герметичности последовательно по различным пробным газам.

Таблица 6.2.3

Оптимальное количество пробных газов при испытаниях на герметичность

$n_{\text{пол}}$, шт	$\sum_i (T_{ac})_i$	$T_{ц}$, мин	$N_{\text{пр}}$, шт
	мин		
2	До 60	До 720	1
3	До 120	До 2160	1
4	До 360	До 3600	3
5	До 480	До 4720	3
6	До 720	До 4840	3

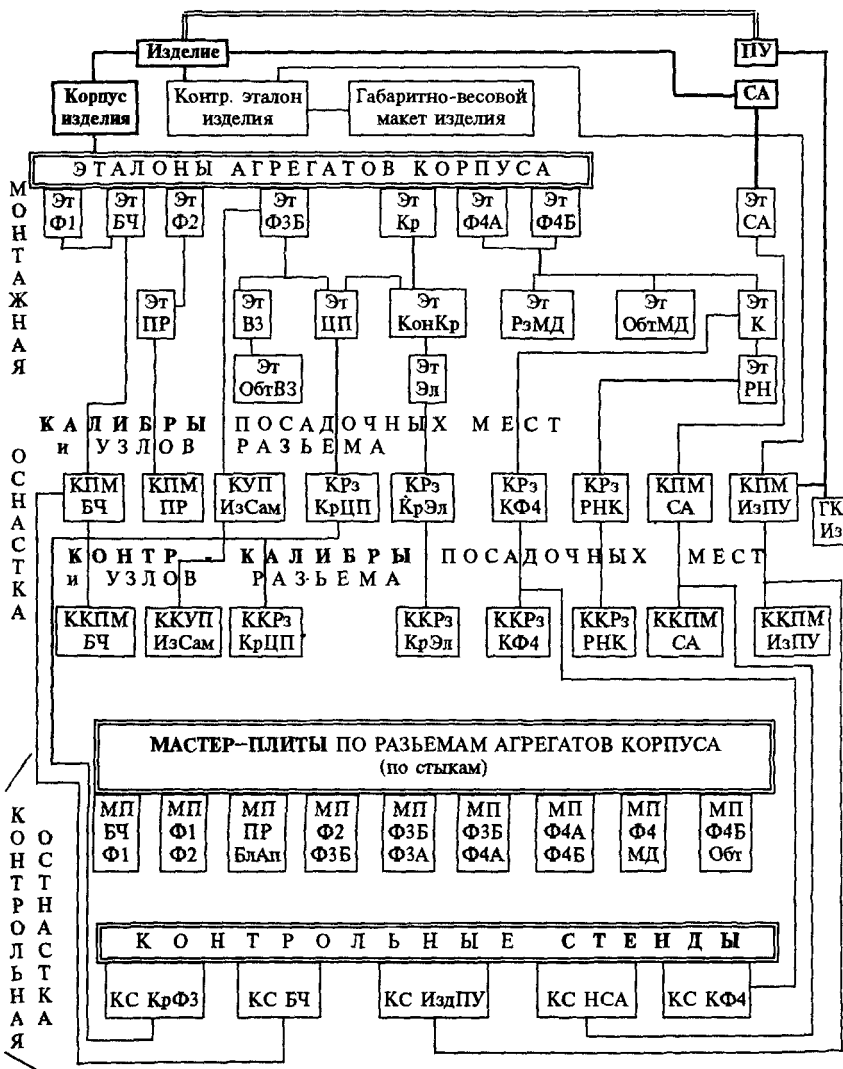


Рис. 6.2.17. Схема увязки монтажной и контрольной оснестки

Сокращения на рис. 6.2.17 обозначают
ЭЛЕМЕНТЫ МОНТАЖНОЙ ОСНАСТКИ:

1. Эталоны агрегатов корпуса изделия:

Эт Ф1 - отсека Ф1,
 Эт Ф2 - отсека Ф2,
 Эт Кр - крыла,
 Эт Ф4Б - отсека Ф4Б,
 Эт БЧ - боевой части,
 Эт Ф3Б - отсека Ф3Б,
 Эт Ф4А - отсека Ф4А.

2. Эталоны составных частей этих агрегатов и СА:

Эт ПР - приборной рамы,
 Эт ВЗ - воздухозаборника,
 Эт ОбтВЗ - обтекателя воздухозаборника,
 Эт ЦП - центроплана крыла,
 Эт КонКр - консолей крыла,
 Эт Эл - элеронов,
 Эт К - киля,
 Эт ОбтМД - обтекателя маршевого двигателя,
 Эт РзМД - разьема маршевого двигателя с отсеком Ф4,
 Эт РН - руля направления,
 Эт СА - спецаппаратуры.

3. Калибры посадочных мест (КПМ) и их контр-калибры (ККПМ):

КПМ БЧ, ККПМ БЧ - боевой части,
 КПМ ПР - приборной рамы,
 КПМ СА, ККПМ СА - специальной аппаратуры,
 КПМ ИзПУ, ККПМ ИзПУ - изделия в пусковой установке,
 ГК Из - эталонный габаритный калибр изделия.

4. Калибры разъемов (КРз) и их контр-калибры (ККРз):

КУП ИзСам, ККУП ИзСам - узлов подвески изделия к самолету,

КРз КрЦП, ККРз КрЦП - крыла с центропланом,
 КРз КрЭл, ККРз КрЭл - элерона с крылом,
 КРз КФ4, ККРз КФ4 - киля с отсеком Ф4,
 КРз РНК, ККРз РНК - руля направления с килем.

Здесь же введены обозначения
ЭЛЕМЕНТОВ КОНТРОЛЬНОЙ ОСНАСТКИ:

5. Мастер-плиты (МП) по стыкам (разъемам) агрегатов корпуса:

МП БЧ Ф1 - БЧ с отсеком Ф1,
 МП Ф1 Ф2 - отсеков Ф1 и Ф2,
 МП Ф2 Ф3Б - отсеков Ф2 и Ф3Б,
 МП Ф3Б Ф3А - отсеков Ф3Б и Ф3А,
 МП Ф3Б Ф4А - отсеков Ф3Б и Ф4А,
 МП Ф4А Ф4Б - отсеков Ф4А и Ф4Б,
 МП Ф4 МД - отсека Ф4 и маршевого двигателя,
 МП Ф4Б ОбтМД - отсека Ф4Б и обтекателя МД,
 МП ПР Бл Ап - блоков аппаратуры с приборной рамой.

6. Контрольные стенды:

КС КрФЗ - контроля и разделки ПМ крыла с отсеком ФЗ,
 КС БЧ - контроля габаритов и посадочных мест БЧ,
 КС Изд ПУ - контроля на входимость изделия в ПУ,
 КС НСА - контроля наводки СА,
 КС КФ4 - контроля и разделки ПМ киля с отсеком Ф4.

Пример расчета, приведенный в табл.6.2.3, иллюстрирует нетривиальность получаемых по специальной методике результатов.

Проведенные с помощью этой методики расчеты позволяют существенно экономить время, поскольку операции заполнения объема и сброса давления ($T_{зс}$), включающие операции вакуумирования ($t_{вак}$), наддува ($t_{над}$), выдержки ($t_{выд}$) и сброса давления ($t_{об}$), совмещаются с операциями

контроля ($t_{контр}$) и обезгаживания полостей ($t_{об.п}$) [16].

В методике выбора оптимального количества пробных газов в зависимости от параметров технологического процесса и количества полостей изделия учитываются следующие условия оптимизации:

- 1) минимизация количества пробных газов;
- 2) уменьшение времени путем совмещения операций заполнения и сброса давления в полостях изделия:

$$\min \sum_i T_{зс} = \min \sum_i (t_{вак} + t_{над} + t_{выд} + t_{об}); \quad (6.2.6)$$

3) уменьшение времени полного цикла за счет совмещения операции контроля герметичности и интенсивное обезгаживание полостей изделия:

$$\min T_{ц} = t_{об.п} + t_{контр} + \sum_i T_{зс}; \quad (6.2.7)$$

4) повышение чувствительности испытаний, обеспечивающей уменьшение концентрации пробного газа.

Оптимальное количество пробных газов рассчитывается по полученной при этих условиях формуле:

$$\text{opt} N_{пр} = (n_{пол} + 1) \frac{\sum_i (T_{зс})_i}{T_{ц}} \left(\frac{k_{пр}}{100} + 1 \right), \quad (6.2.8)$$

где $n_{пол}$ — количество полостей в изделии,

$\sum_i (T_{зс})_i$ — суммарное время заполнения полостей изделия и сброса давления в них,

$T_{ц}$ — полный цикл испытаний,
 $k_{пр}$ — концентрация пробного газа, %.

Важной отличительной особенностью **испытаний сотовых панелей** является проверка герметичности наружным давлением контрольного газа. Для сокращения времени в процессе испытаний панелей проводится учет не полного сигнала течи, а лишь его части, регистрируемой в технологически приемлемом сокращенном цикле проверки ($t_{стан} = 20 \div 30$ мин). Фактически эту негерметичность панелей определяют по изменению сигнала течеискателя по сравнению с фоновым результатом калибровки и коэффициента полноты сигнала ($k_{сигн}$), учитывающего потери пробного газа.

Чувствительность испытаний панели (q) на герметичность зависит от величины давления в полости ($p_{пол}$) и среднего парциального давления пробного газа в тракте течейскаателя ($p_{тчи}$). Ее оценивают по формуле:

$$q = k_z C_{np} (p_{пол} - p_{тчи}) \sqrt{\frac{KT}{M}}. \quad (6.2.9)$$

Время достижения стационарного режима рассчитывается с помощью выражения:

$$t_{стат} = k_{сиг} \frac{V_{пол} P_{тчи}}{C_{np} P_{пол}}, \quad (6.2.10)$$

В этих формулах учитываются следующие параметры:

$C_{пр}$ — полная газопроводимость сотовой панели (m^3/c),

$V_{пол}$ — полный объем панели (m^3),

k_r — коэффициент учета геометрии дренажных отверстий,

K, T, M — постоянная Больцмана, температура ($^{\circ}K$) и молекулярная масса пробного газа.

Например, при $k_r = 6 \cdot 10^{-5}$ и $k_{сиг} = 130$ с/м получено: $t = 4 \div 5$ ч и 10^{-10} Вт $< q < 10^{-8}$ Вт.

На графике рис.6.2.18 показана зависимость чувствительности (при обычной температуре) испытаний сотовых панелей от величины давления при использовании гелия.

* * *

Дальнейшее развитие получила практика **совмещения технологических операций в пространстве во времени**, реализуемых в конструкциях оборудования [16]. Основные ее положения исследованы при разработке оборудования на базе монтажно-стыковочных тележек, обеспечивающих сборку и контроль геометрических параметров корпусов ЛА. При этом в зависимости от соотношения измерительных и технологических степеней свободы и уровня совмещения число потребных измерительных элементов уменьшается с двенадцати до двух. Так, разработанный подвесной вариант оборудования на основе траверс со встроенными измерительными элементами обеспечивает автоматизированный контроль характеристик геометрии и массы изделия.

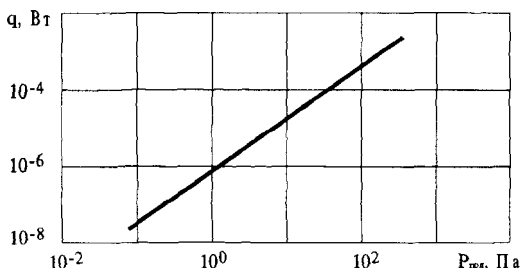


Рис. 6.2.18. Зависимость чувствительности испытаний от величины полного давления

ЛИТЕРАТУРА

1. **Беляков И.Т., Борисов Ю.Д.** Технологические проблемы проектирования летательных аппаратов.-М., Машиностроение, 1978.
2. **Булавкин В. В., Кобзарь В.А., Лапин Е.М.** и др. Способ и устройство для изготовления трехслойных панелей изделий. – Авт. свидетельство № 186239, 1983.
3. **Булавкин В.В., Терентьев И.М., Половцев В.А.** и др. Способ изготовления ячеистых изделий. – Авт. свидетельство № 295440, 1989.
4. **Булавкин В.В., Астахов Ю.П., Матвеев Ю.А.** Проблемы эффективного управления конверсией специализированных машиностроительных предприятий. – Сб. трудов XXIX чтений К.Э. Циолковского. – М., издательство ИИЕТ РАН, 1994.
5. **Булавкин В.В., Постоанов В.Х.** Технология электроэрозионной обработки деталей специального назначения и их конверсия. – «Электронная обработка материалов», 1994, № 1.
6. **Булавкин В.В., Бешеков В.Г.** и др. Способ формирования в парамагнитном материале автономных пространственных массивов металла с дифференцированными ферромагнитными свойствами. – Патент РФ № 1415350 на изобретение по заявке № 92-022226/ /08/02/2531 от 21.06.94.
7. **Булавкин В.В., Бешеков В.Г.** и др. Устройство для формирования в парамагнитном материале автономных пространственных массивов металла с дифференцированными ферромагнитными свойствами. – Патент РФ № 1415318 на изобретение по заявке № 94-022209/ /08/02/2596 от 21.06.94.
8. **Булавкин В.В., Бешеков В.Г.** и др. Заготовка для формирования в парамагнитном материале автономных пространственных массивов металла с дифференцированными ферромагнитными свойствами. – Патент РФ № 1415411 на изобретение по заявке № 94-022227/ /08/02/530 от 21.06.94.
9. **Булавкин В.В., Назаров Ю.Ф., Постоанов В.Х., Бондарчук Г.Т.** Особенности маркетинга высоких технологий в машиностроении. –М., «Вестник машиностроения», 1995, № 10.
10. **Булавкин В.В., Бешеков В.Г.** Способ формирования массивов металла.-Тезисы, доклады Международной выставки-симпозиума «Эврика-95», Брюссель, 1995.
11. **Булавкин В.В., Назаров Ю.Ф.** Пути обеспечения точности с использованием фактора технологической наследственности. – М., «Конверсия в машиностроении». – 1995, № 5.
12. **Булавкин В.В.** Теория и практика построения адаптируемых технологических процессов. – Тезисы докладов научно-технической конференции, посвященной 165-летию МГТУ им. Баумана, ч. 1. М., МГТУ, 1995.
13. **Дальский А.М.** Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин.-М., Машиностроение, 1975.
14. **Исаченко В.А., Полтавец Г.А.** Системный подход к проблеме формирования и применения конструкторско-технологических решений // Труды XIX чтений К.Э. Циолковского// Космонавтика и НТП. – М., ИИЕТ АН СССР, 1985.
15. **Карпенко А.В.** Российское ракетное оружие: 1943-1993.-Санкт-Петербург, Пика, 1993.
16. **Касаев К.С.** О свойствах объектов с позиций синергизма. М., «Вестник машиностроения», 1991, № 3.
17. **Кохран Т., Аркин У., Норрис Р., Сэндс Дж.** Ядерное вооружение СССР. Пер. с англ. – М., Изд.АТ, 1992, 460.

6.3. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

6.3.1. Основные положения и определения

Современные требования в авиации сводятся к обеспечению высоких показателей эксплуатационного качества ВС, в которые входят: безопасность полётов, эффективность целевого применения, техническая готовность к выполнению полетного задания и экономическая эффективность.

Под **безопасностью полетов** понимается свойство **авиационно-транспортной системы (АТС) выполнять полеты воздушного судна (ВС)** без угрозы для жизни и здоровья людей. Она обеспечивается совокупностью нормального функционирования бортовых систем воздушных судов и безошибочной работой экипажа, наземных служб подготовки и управления полетами. Авиационные происшествия приводят к гибели людей, значительному материальному ущербу, потере престижа в использовании авиации для государственных и коммерческих структур. Большая социальная значимость проблемы обеспечения безопасности полетов выдвигает ее в разряд важнейших научно-практических задач авиации. Поэтому безопасности полетов всегда уделялось повышенное внима-

ние, как одной из основных характеристик.

Под *эффективностью целевого применения* ВС понимается степень его приспособленности к выполнению поставленной задачи в заданных условиях эксплуатации в течение требуемого периода времени. Под *технической готовностью* понимается свойство, заключающееся в том, что в произвольный момент времени ВС не будет находиться на плановом техническом обслуживании и его вылет не будет задержан сверх допустимого времени или отменен из-за неисправности. Под *экономической эффективностью* понимается свойство ВС выполнять поставленную задачу с минимальными затратами.

Указанные выше характеристики эксплуатационного качества могут быть обеспечены благодаря созданию бортовых систем и ВС в целом, обладающих высокой надежностью, заданным качеством функционирования, хорошей эксплуатационной технологичностью, высокой степенью контролепригодности, которая позволяет быстро находить место отказа систем. Характеристики эксплуатационного качества ВС обеспечиваются комплексно, в тесной взаимосвязи между собой [8].

Авиационным происшествием (АП) в гражданской авиации официально считается событие, в результате которого наступило одно из следующих тяжелых последствий:

1) **Катастрофа** — авиационное происшествие, приведшее либо к

гибели или пропаже без вести какого-либо лица из числа находившихся на борту воздушного судна, либо к причинению ущерба здоровью хотя бы одного человека в такой степени, что это повлекло смерть в течение 30 суток с момента происшествия. Сюда также относятся случаи гибели в процессе аварийной эвакуации из воздушного судна.

2) **Авиационное происшествие без человеческих жертв**, когда не произошло гибели людей, но воздушное судно получило повреждения силовых элементов планера или совершило посадку на местности, эвакуация с которой является технически невозможной или нецелесообразной.

С целью разработки мер по предотвращению АП, проводятся расследования событий (**инцидентов**), которые при определенных степенях обстоятельств могли привести к тяжелым последствиям [7].

Рассмотренные АП и инциденты связываются с использованием воздушного судна, если они имели место с момента, когда какое-либо лицо вступило на борт с намерением совершить полет, до момента, когда все лица, находившиеся на борту с целью полета покинули ВС.

Известно, что при современном уровне развития авиационной науки и техники невозможно создать абсолютно безотказные бортовые системы ЛА. Поэтому важно при проектировании ВС предусмотреть возможность безопасно-

го завершения полета при отказах техники. Различные отказы могут привести к различным по степени опасности последствиям. Поэтому при классификации особых ситуаций, которые могут возникнуть в результате отказа в бортовой системе и конструкции ВС, введено четыре градации **особых ситуаций: усложнение условий полета (УУП), сложная ситуация (СС), аварийная ситуация (АС) и катастрофическая (КС).**

Усложнение условий полета – особая ситуация, характеризующаяся незначительным ухудшением характеристик устойчивости и управляемости, летных характеристик, незначительным увеличением психофизиологической нагрузки на членов экипажа. УУП не приводит к необходимости немедленного или непредусмотренного заранее изменения плана полета и не препятствует его благополучному завершению.

Сложная ситуация – особая ситуация, характеризующаяся заметным ухудшением характеристик устойчивости и управляемости, летных характеристик, заметным повышением психофизиологической нагрузки экипажа или выходом одного или нескольких параметров полета за эксплуатационные ограничения, но без достижения предельных ограничений. Предотвращение перехода СС в АС или в КС может быть обеспечено своевременными и правильными действиями экипажа, в том числе немедленным измене-

нием плана, профиля и режима полета.

Аварийная ситуация — особая ситуация, характеризующаяся значительным ухудшением характеристик устойчивости и управляемости, летных характеристик, значительным повышением психофизиологической нагрузки экипажа, выходом одного или нескольких параметров полета за предельное ограничение. АС с большой вероятностью может привести к гибели или существенной поломке ВС. Предотвращение перехода АС в КС требует высокого профессионального мастерства экипажа.

Катастрофическая ситуация — особая ситуация, в которой предотвратить гибель людей практически невозможно [6].

6.3.2. Уровень безопасности полетов

В отечественной и зарубежной практике уровень безопасности полетов принято оценивать двумя относительными показателями:

$N_{\text{кат}}$ — количество катастроф при выполнении пассажирских перевозок на 100 тыс. часов полета,

$N_{\text{пог}}$ — количество погибших пассажиров и членов экипажа на 1 млн. перевезенных пассажиров (или на 100 млн. пасс.-км).

Динамика изменения этих и других показателей для стран-членов ИКАО представлена в табл.3.2.3.

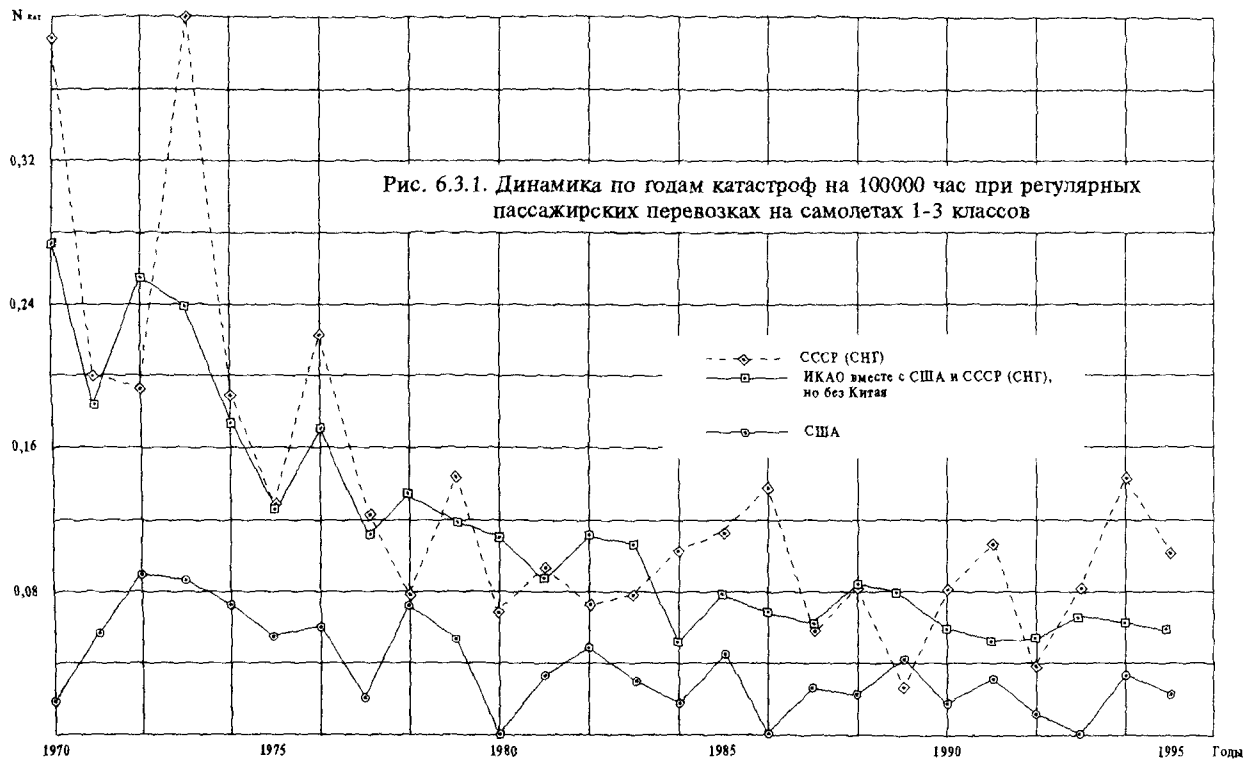
В отечественной гражданской авиации для самолетов 1-3 клас-

сов при выполнении пассажирских перевозок в 1985 г. количество катастроф составляло $N_{\text{кат}}=0,11$ и к 1989 г. уменьшилось до $N_{\text{кат}}=0,03$, а затем появилась тенденция постоянного ухудшения этого показателя и в 1994 г. он достиг наихудшего значения за последние 15 лет $N_{\text{кат}}=0,14$. Количество погибших пассажиров на 100 млн. пасс.-км в 1985 г. составляло $N_{\text{пог}}=0,19$. В период 1987-1989 годов впервые за всю историю развития гражданской авиации СССР уровень безопасности полетов улучшился в среднем до $N_{\text{пог}}=0,02$ и практически сравнялся с уровнем авиаконпаний США по основному показателю, которым является относительное количество погибших пассажиров (рис.6.3.1 и рис.6.3.2).

После распада СССР началась тенденция ухудшения уровня безопасности по этому показателю и в 1994 г. он достиг $N_{\text{пог}}=0,18$, что в 4,5 раза хуже, чем в США, и в 3,5 раза хуже, чем в странах-членах ИКАО. Это лишний раз подтверждает, что на безопасность существенное влияние оказывают не только показатели надежности техники.

В США при этом длительное время, более 10 лет, сохраняется высокая безопасность полетов, которая практически отражает современный уровень мирового развития авиационной науки и техники.

Средние значения относительных показателей аварийности в бывших республиках СССР (стра-



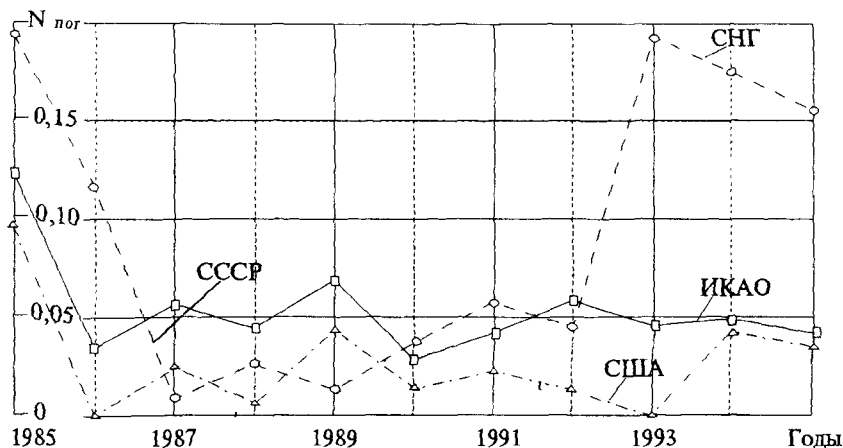


Рис. 6.3.2. Изменение по годам числа погибших на 100 млн. пасс.-км при регулярных пассажирских перевозках на самолетах 1-3 классов

нах СНГ) за пятилетний период эксплуатации пассажирских самолетов 1-3 классов при выполнении регулярных пассажирских перевозок свидетельствует о неблагоприятном положении с обеспечением безопасности полетов в последние годы. При этом следует указать, что в последнее время наблюдается постоянное снижение объема работ в гражданской авиации РФ и стран СНГ. Так за период с 1993 г. по 1995 г. количество перевезенных пассажиров снизилось примерно на 15%.

Тенденция ухудшения безопасности полетов может быть объяснена ослаблением внимания многими авиакомпаниями к вопросу обеспечения безопасности полетов, как к первостепенной проблеме деятельности эксплуатирую-

щих предприятий. На первое место вышли экономические проблемы: заработать как можно больше, с одного рейса получить максимальную прибыль. Неоправданный риск приводит к значительным материальным потерям. При этом страдают интересы и престиж не только конкретной авиакомпании, но и всей гражданской авиации СНГ в целом. Эти негативные тенденции являются прямым результатом политических, экономических и социальных изменений в СНГ.

Поэтому особую важность приобретает реализация комплексных мер по стабилизации и дальнейшему повышению безопасности полетов.

Актуальным и не менее важным является анализ сложных ситуаций, приводящих к измене-

нию плана полетов и их срыву. Стремление обеспечить безопасность полетов, обусловленную работой бортовых систем ВС, привело к внедрению средств и методов периодического и пред-

Таблица 6.3.1.
Распределение отказов, нарушивших регулярность полетов,
по бортовым функциональным системам самолетов, %

Бортовые функциональные системы самолетов	Ил-18	Ил-62, Ил-62М	Ил-86
Система силовой установки:	45,6	63,1	40,0
- в том числе двигатель	29,6	30,3	26,4
- топливная система	1,8	0,5	0,6
Шасси	9,0	8,9	18,7
В том числе система уборки и выпуска	6,7	6,6	17,4
Система кондиционирования	1,5	2,0	-
Радиолокационное оборудование	6,3	2,8	-
Противопожарное оборудование	5,4	1,4	5,2
Источники давления в гидросистеме	2,9	0,6	22,0
Конструкция планера самолета	0,4	1,2	1,9
в том числе фонарь кабины экипажа	0,3	0,7	1,3
Пилотажно-навигационное оборудование	3,8	10,2	5,8
Радиосвязное оборудование	2,7	0,5	-
в том числе самолетный ответчик	1,8	-	-
Электросистемы	1,5	2,8	0,6
Система управления	1,8	2,7	1,9
Прочие системы	19,1	3,8	3,9

Таблица 6.3.2.
Распределение отказов по видам последствий
и причинам нарушений планов полетов, %

Вид последствий и причины	Ил-18	Ил-62, Ил-62М	Ил-86
Вынужденные посадки	63,0	42,9	39,7
Продолжение полета с выключенным двигателем	29,9	46,3	46,6
Поломки и повреждения конструкции самолета	0,2	0,4	-
Прерванные взлеты	6,9	10,4	3,7
Причины нарушений планов полетов			
Отказы авиационной техники		76,2	
Ошибки экипажа и обслуживающего персонала		19,2	
Метеоусловия		2,4	
Столкновения с птицами		2,2	

полетного технического обслуживания. При выявлении отказов бортовых систем перед полетом требуется время на их устранение, что часто приводит к задержке вылета. Для оценки современного уровня надежности выполнения планов полетов специально проведенным анализом был охвачен период эксплуатации отечественного парка 12-ти типов пассажирских самолетов с налетом около 27 млн.час. причем рассмотрены все случаи

прерванных взлетов, вынужденных посадок, выключений двигателей в полете, поломок силовых элементов конструкций самолетов. Результаты анализа в обобщенном виде приводятся ниже. Распределение отказов, вызвавших нарушение регулярности полетов, по бортовым функциональным системам самолета приведено в табл.6.3.1 [10]. Распределение по видам последствий и причинам нарушений планов полетов сведены в табл.6.3.2

Таблица 6.3.3.
Распределение задержек по отдельным системам, %

Бортовые функциональные системы	Ил-18	Ил-62	Ил-86
Кондиционирование	1,28	2,49	3,5
Автоматическое управление	1,98	2,99	9,5
Радиосвязное оборудование	2,28	9,55	-
Электроснабжение	8,91	6,81	3,5
Бытовое оборудование	1,12	1,16	0,5
Противопожарное оборудование	5,65	1,16	4,0
Управление	2,45	3,9	3,5
Топливная	12,79	8,47	6,0
Гидравлическая	0,89	0,5	2,5
Противообледенительная	2,77	2,16	-
Шасси	5,64	7,64	2,0
Светотехническое оборудование	0,68	0,91	1,0
Пилотажно-навигационное оборудование	14,86	20,93	19,0
Кислородное оборудование	0,09	0,08	0,5
Водоснабжение	3,44	2,24	1,0
Бортовые вспомогательные силовые установки	-	3,49	13,0
Двери, люки, створки	2,17	2,32	6,5
Фюзеляж	-	0,08	-
Оперение	2,17	0,08	-
Крыло	-	0,17	-
Двигатели и их системы (без системы запуска)	17,15	15,96	14,5
Запуск двигателей	13,39	4,98	7,5
Прочие	0,29	1,93	2,0

[10]. Средняя регулярность вылетов (в процентах к плану) с учетом отказов только авиационной техники для различных самолетов, например, составила: Ил-18 (98-99%); Ил-62 (94-98%); Ил-86 (98-99%).

Распределение задержек по отдельным системам приведено в табл.6.3.3 [10]. Качественный разбор задержек вылетов показал, что они происходят по следующим причинам [10]:

- неблагоприятные метеорологические условия в аэропорту вылета, на трассе маршрута или в аэропорту назначения;

- недостаток времени для подготовки к очередному рейсу из-за позднего прилета самолета в аэропорт из предыдущего рейса;

- несвоевременное обслуживание пассажиров наземными службами; отсутствие горюче-смазочных материалов и т. д.;

- неисправность авиационной техники;

- опоздание, болезнь членов экипажа и др.

Рассмотренные количественные показатели регулярности вылетов самолетов показывают только частоту появления задержек вылетов, однако еще важно знать продолжительность этих задержек. В результате обработки статистических данных получено, что среднее время задержки из-за отказов авиационной техники для самолета Ил-18 составляет 155 мин, для самолета Ил-62 – 160 мин, для самолета Ил-86 – 163 мин.

Практическое совпадение законов распределения времени задержек вылетов из-за отказов авиационной техники показывает, что трудоемкости устранения неисправностей на этих самолетах одной фирмы близки друг к другу.

6.3.3. Системные принципы обеспечения безопасности полетов

Требования системного подхода заставляют по новому рассматривать вопросы обеспечения безопасности полетов в АТС. При этом сама проблема решения безопасности полетов вызывает необходимость создания системы средств, которые по существу уже есть и функционируют, но важно провести системные исследования этих средств.

Авиационные происшествия являются редкими событиями, которые обычно возникают, в основном, в результате неблагоприятного сочетания нескольких отклонений в работе АТС при наложении экстремальных внешних факторов. Влияние каждого этого отклонения отдельно на безопасность полета может быть незначительным.

Обеспечение безопасности полетов является комплексной задачей, решаемой на различных этапах формирования и эксплуатации АТС. Безопасность полетов, так же как и надежность, закладывается при создании авиационной техники (АТ). При этом анализируются все

возможные особые ситуации, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации, и конструктивными мерами достигается высокая отказобезопасность, т.е. обеспечивается уровень функционирования каждой бортовой системы, достаточный для благополучного завершения полета (за счет резервирования, дублирования, применения надежных составных частей) при отказе в системе [1].

Система обеспечения безопасности полетов является многоуровневой. При создании ВС она выглядит следующим образом:

На первом уровне реализуется безотказность технических систем, благодаря управлению физическими процессами, обеспечению высокой надежности систем, технического совершенства и отработанности их функционирования, защиты от возможных ошибок летного состава по управлению бортовыми системами.

На втором уровне обеспечивается выполнение своих функций бортовыми системами при единичных отказах путем резервирования каналов или дублирования, а также благодаря реализации своевременного включения экипажа в контур управления или автоматического парирования отказа, если высока вероятность ошибки экипажа.

На третьем уровне обеспечивается сохранение жизни и здоровья людей, находящихся на борту воздушного судна, и снижение масштабов последствий, когда пре-

дотвращение авиационного происшествия невозможно.

На четвертом уровне разрабатываются средства и методы подготовки летного состава, снижающие вероятность неправильных действий по управлению системами и выполнению полета, а также средства и методы выявления отклонений в работе техники и экипажа в процессе эксплуатации воздушного судна.

Управление безопасностью полетов обеспечивается за счет внедрения замкнутой системы, включающей создание АТ и ее эксплуатацию с обратной связью через мероприятия по совершенствованию АТ, системы подготовки, выполнения и обеспечения полетов. При этом предусматривается контроль эффективности реализованных мероприятий для поддержания безопасности полетов на высоком уровне и учет опыта эксплуатации при создании нового поколения АТ.

Одним из эффективных методов повышения безопасности полетов является принятие мер на основе анализа результатов эксплуатации АТ. В настоящее время это направление работ не полностью отвечает требованиям современности, поэтому рассмотрим подходы к решению указанной проблемы более детально. Основой деятельности по повышению безопасности полетов в эксплуатации является выявление отклонения в работе техники, оценка их степени опасности, доведение этой инфор-

мация до сведения конструктора и разработка мероприятий по предотвращению повторения в будущем опасных отклонений, которые могут привести к авиационному происшествию. На основе анализа опыта эксплуатации воздушных судов проводятся мероприятия по их совершенствованию в части обеспечения безотказности, отказобезопасности, учета возможностей человека по управлению сложной техникой, снижающих вероятность ошибок летного и наземного персонала.

Высокая надежность работы летного состава, диспетчеров УВД, инженерно-технического состава, специалистов служб обеспечения и подготовки полета достигается путем отбора профессионально способных людей к выполнению работы в системе повышенной опасности, внедрения высокоэффективных средств и методов обучения, тренировки авиаспециалистов, а также организации контроля за качеством выполнения работ и реализации мероприятий по их совершенствованию.

Снижение вероятности отрицательного влияния внешних условий на безопасность полетов достигается путем создания современных средств обнаружения и оценки опасных явлений (сдвига ветра, сильной турбулентности, обледенения и др.).

Принимаемые меры должны быть направлены на доработку авиационной техники, включаю-

щей как системы ВС, так и наземные средства обеспечения полета, улучшение технологии изготовления АТ, методов ее эксплуатации, совершенствование средств и методов подготовки авиаспециалистов, нормативно-технической документации.

Концепция обеспечения безопасности полетов основана на реализации системного подхода, предусматривающего комплексное решение задачи предотвращения АП.

Деятельность по предотвращению АП проводится на всех этапах жизненного цикла АТС, включая исследования, проектирование, изготовление, испытание и эксплуатацию АТ, в том числе при создании средств и методов управления воздушным движением, метеобеспечения полетов, аэродромного обеспечения и др. Система обеспечения безопасности полетов распространяется на все иерархические уровни АТС с целью воздействия на процесс создания и совершенствования АТ, на подготовку и поддержание высокого профессионального уровня летного и наземного персонала, на подготовку и выполнение полетов.

Причинами нарушения безопасности полетов являются несовершенство системы профессиональной подготовки специалистов, недостатки в организации летной работы, службы УВД, инженерно-технического состава, конструктивные или производственные недостатки АТ, среди ко-

торых преобладают недостатки технологии изготовления изделий. Статистика указывает, что наиболее значительное влияние на безопасность полетов оказывает человеческий фактор, являющийся причиной около 85% АП. Среди них основную долю составляют отклонения в работе экипажа, как конечного элемента системы, на котором замыкаются все недостатки работы АТС.

Отклонения в работе элементов АТС, сочетание которых приводило к АП на транспортных самолетах распределяются следующим образом:

- ошибки экипажа 78,8%,
- ошибки службы УВД 29,0%,
- ошибки других служб 21,2%,
- отказы АТ из-за конструктивных и производственных недостатков 3,9%,
- отказы АТ из-за ошибок эксплуатации 3,9%.

При выполнении авиационными специалистами различного профиля своих обязанностей по организации, подготовке, обеспечению и проведению полетов (техническому обслуживанию ВС, заправке топливом, эксплуатации аэродрома и его оборудования, выполнению полета) всюду присутствует человеческий фактор. Он проявляется во взаимодействии человека с бортовыми системами ВС и наземным оборудованием, с окружающей средой, а также людей между собой.

Задача состоит в том, чтобы совместными усилиями конструкторо-

ра и эксплуатанта, врача и психолога сформировать такие условия работы специалистов, чтобы свети к минимуму вероятность ошибочных действий, в том числе и исключить мотивации, побуждающие на преднамеренные отклонения в работе.

Существенная часть исследований в области человеческого фактора в авиации должна быть направлена на то, чтобы обеспечить научную и техническую основу для эргономически рационального проектирования бортового и наземного оборудования, разработки методов его испытания, обеспечения оптимального выполнения функций экипажем, диспетчером и обслуживающим персоналом. При этом особое внимание уделяется отбору, подготовке и поддержанию квалификации авиационных специалистов в эксплуатации.

Долю человеческого фактора в нарушении безопасности полетов можно снизить путем реализации комплексного подхода к изучению и формированию характеристик надежности человека-оператора, учитывая его широкий спектр профессионально значимых качеств.

При этом особое внимание должно уделяться созданию учебных классов, процедурных и комплексных тренажеров для индивидуальной и коллективной тренировки к выполнению заданных функций, в том числе в особых ситуациях, а также контролю за действиями специалистов.

Важное место в обеспечении безопасности полетов занимает система **управления воздушным движением (УВД)**. Безопасное функционирование этой системы зависит от точности, надежности средств и помехоустойчивости их работы, а также полноты отображения информации о состоянии воздушного пространства, быстродействия и объема решаемых задач. В целом система УВД построена таким образом, что процедуры управления на всех этапах полета безопасны при условии точного соблюдения предписанных требований. Однако невнимательность диспетчера, нарушение процедур могут привести к неблагоприятному исходу полета, поэтому обеспечению надежной работы подсистемы «диспетчер — оборудование» уделяется особое внимание и постоянно проводятся специальные исследования по ее совершенствованию. Организационно-техническая структура аэродромной системы управления воздушным движением приведена на рис.3.2.3.

Инженерно-авиационная служба (ИАС) осуществляет поддержание безотказности систем ВС на требуемом уровне, проводя оперативное и периодическое техническое обслуживание (ТО), текущий ремонт, анализ недостатков, выявленных в эксплуатации.

От надежности работы других элементов АТС также зависит безопасность полетов. Таким образом, безопасность полетов опре-

деляется также уровнем технической оснащенности и организации работы всех служб, надежностью технических средств, уровнем профессиональной подготовки наземного состава и их дисциплины [11]. Организационная декомпозиция инженерно-авиационной службы приведена на рис.3.2.2.

При проектировании ВС созданные исследовательских комплексов в виде стендов, обеспечивающих полное подобие рабочего места экипажа и моделирующих условия деятельности на основных режимах полета, позволяет достичь высокого уровня преемственности и последовательности реализации технических идей учета человеческого фактора. Изучение эргономических характеристик самолета, физиолого-гигиенических условий, психологических особенностей и эффективности деятельности летного состава в процессе обучения, переучивания и освоения новых типов ВС направлено на снижение количества ошибочных действий летного состава.

Повышение безопасности подчас, к сожалению, связано с горьким опытом аварийности и основано на учете ранее допущенных недостатков. Совершенствование АТС чаще всего связано с мерами по предотвращению повторения аналогичных причин АП.

Надежность летного состава определяется наличием психофизиологического резерва, который блокирует последствия отрицательных факторов в полете. Подобный

резерв наращивается в процессе психофизиологической подготовки. Суть опасности психологической состоит не в самой аварийной ситуации, а в неподготовленности к ее ликвидации из-за природных ограничений человеческой психики и организма в целом.

Опасная профессия требует от человека соответствующих личностных характеристик (мотивация, потребности, целевые установки, характер, воля) и наличие достаточно выраженных врожденных задатков, обеспечивающих такие творческие процессы как, интуиция, эвристика. Необходимо дать знания, сформировать навыки, умение и с другой стороны воспитать профессиональную надежность в особой ситуации (высокая организованность, принятие на себя ответственности). Привитию навыков способствует обучение с включением компьютерных технических средств, позволяющих моделировать проблемные ситуации, с тренировкой принятия решений, создание игровых ситуаций с анализом поведения человека в экстремальных ситуациях. Непременным условием является профессиональный и психологический отбор кадров для опасных профессий [9].

Причинами ошибок летного состава являются также индивидуальные особенности человека, мотивы его действий, психологический климат в коллективе.

Таким образом, широкое внедрение следующих поуровневых

технических средств для подготовки летного состава позволяет повысить надежность его работы:

1. Персональные компьютеры и другая аппаратура для формирования психических качеств и индивидуальных свойств личности, определяющие успех освоения летного дела (обобщение, абстрактное мышление, глазомер, чувство времени, пространственное представление и др.).

2. Модульные тренажеры, формирующие навыки в отдельных основных действиях (навигация, пилотирование и др.), в том числе на фоне психологических помех.

3. Комплексные тренажеры для отработки профессионализма с учетом решения задач различной сложности, в условиях приближенных к реальному полету при автоматизированной оценке уровня готовности к выполнению полетов.

Кроме того, должны быть широко внедрены методы контроля в штатной эксплуатации, а при исследовании особых ситуаций методы выявления особенностей личности, которые характеризуются, в частности следующими параметрами: частота сердечных сокращений, частота дыхания, сила зажатия ручки управления и др. Для этих целей полезно внедрить, наряду с регистраторами параметров полета и переговоров, средства сбора данных о психофизиологическом состоянии членов экипажа. Такие средства для проведения экспериментов существуют, но необходимо освоение серий-

ных образцов. Только, зная причину ошибки экипажа, можно разработать эффективные меры по ее предотвращению. Эти же средства помогут повысить качество профессионального отбора, приучить людей к самоконтролю и самообучению.

Особое внимание следует уделить внедрению автоматизированных систем, помогающих летному составу своевременно вмешаться в локализацию осложнения, возникшего в полете. К таким средствам относятся бортовые системы: предупреждения об опасном сближении с землей, предотвращения столкновения ВС, предотвращения выхода самолета за летные ограничения, автоматического управления работой ряда бортовых систем самолета и др. Часть из этих средств уже существует, некоторые требуют внедрения.

6.3.4. Структура системы обеспечения безопасности полетов

Обеспечение безопасности полетов является сложной научно-технической задачей, которая решается совместно научно-исследовательскими институтами (НИИ), разработчиками АТ, серийными и ремонтными заводами, учебными заведениями и эксплуатационными предприятиями. Координация работ этих организаций при решении общей задачи осуществляется государственным управ-

ления деятельности в области авиации.

Каждая из причастных к разработке АТ организация, являющаяся подсистемой в системе обеспечения безопасности полетов, проводит оценку результатов ее применения, анализирует недостатки, выявленные в эксплуатации и принимает меры по устранению повторения отклонений в работе АТ.

В каждой организации сформированы подразделения, непосредственно занимающиеся вопросами безопасности полетов. Хотя следует сказать, что в авиации от деятельности любой структуры зависит безопасность полетов. Любая функциональная система ЛА создается с учетом требований к безопасности полетов. Любой авиационный специалист проходит подготовку с учетом гарантии безопасных действий в процессе его работы.

Схема системы обеспечения безопасности полетов транспортной авиации, на которой показан конечный продукт деятельности организаций и предприятий, при создании которого ведутся работы по обеспечению безопасности полетов с обратной связью по предотвращению случаев ее нарушения в эксплуатации, приведена на рис.6.3.3. Организационная структура обеспечения безопасности полетов в авиационной промышленности и в эксплуатации приведены на рис.6.3.4 и рис.6.3.5 соответственно.

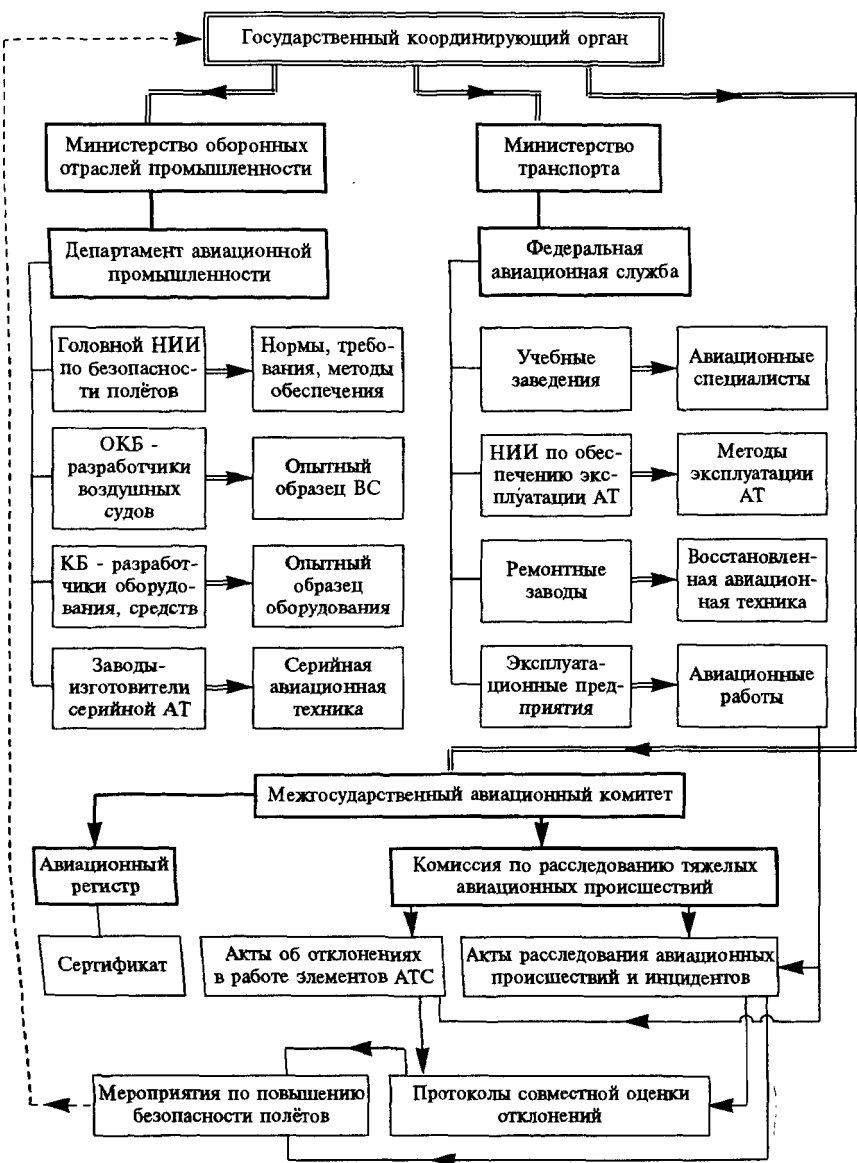


Рис. 6.3.3. Структурно-функциональная схема системы обеспечения безопасности полётов транспортной авиации



Рис. 6.3.4. Организационная структура системы обеспечения безопасности полетов в авиационной промышленности

На схеме показаны только те основные элементы организационной структуры, прямой, непосредственной обязанностью которых является решение задачи обеспечения безопасности полетов.

Сложность современных АТС, многочисленность личного состава служб, участвующих в организации, подготовке, обеспечении и выполнении полета в широком диапазоне условий эксплуатации ВС порождает многообразие факторов, влияющий на исход полета.

Проблема обеспечения безопасности полетов решается совмест-

ными усилиями промышленности и эксплуатанта.

При этом НИИ создают нормы, требования по безопасности полетов с учетом мирового уровня развития авиационной науки и техники, методы их обеспечения, проводят совместно с разработчиками и заводами испытания систем и ВС в целом.

Самостоятельное подразделение головного НИИ по вопросам безопасности полетов постоянно проводит исследования в части совершенствования норм и требований к безопасности полетов на

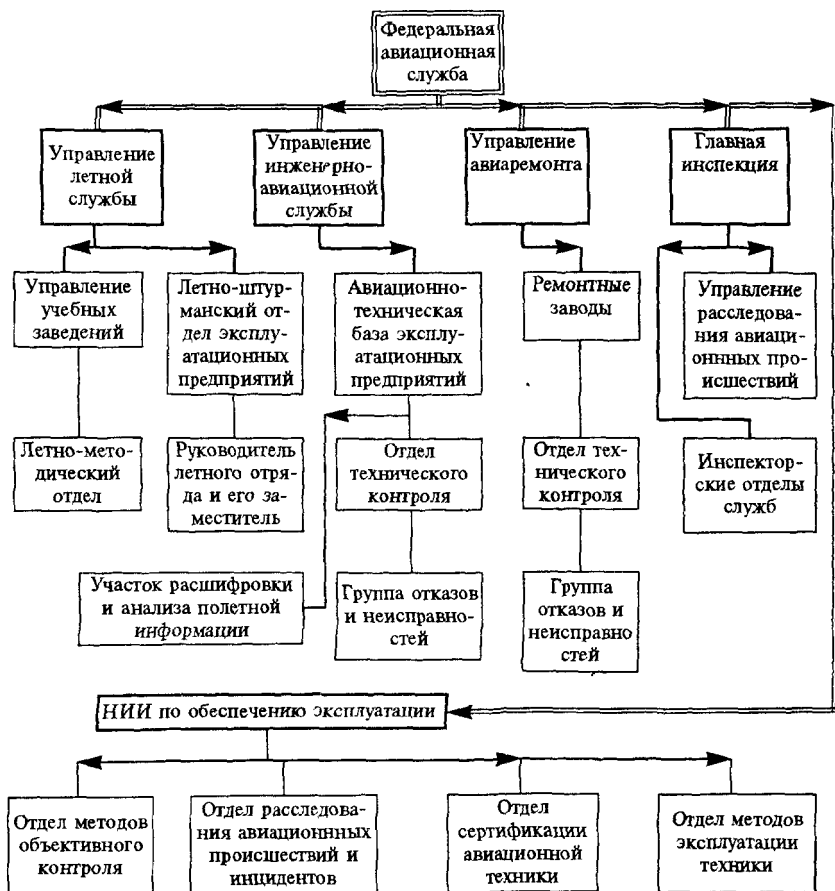


Рис. 6.3.5. Организационная структура системы обеспечения безопасности полетов в эксплуатации

основе изучения передового зарубежного опыта и достижений отечественной авиационной науки и техники. При этом закладывается концепция, что каждый новый ЛА по уровню эксплуатационно-технических характеристик, в том числе безопасности

полетов должен быть не хуже, чем на доведенном в эксплуатации предыдущем типе ЛА такого же класса и целевого применения. Кроме того, специалисты участвуют в летных испытаниях по оценке последствий возможных отказов систем ВС.

Усовершенствованные нормы и требования находят отражение на всех этапах конструирования, испытания, производства и эксплуатации ЛА. При этом, естественно, учитываются экономические и научно-технические возможности государства, создающего и эксплуатирующего ЛА.

Основным документом, регламентирующим нормы и требования к безопасности полетов транспортных самолетов и вертолетов, является Нормы летной годности (НЛГ) [6].

Главное НИИ по безопасности полетов работает в тесном контакте с Разработчиком ВС и НИИ, проводящих исследования во всех направлениях создания АТ и НИИ Эксплуатанта. Оценка результатов работ также проводится совместно.

Лаборатория оценки недостатков эксплуатации обобщает материалы расследований АП, инцидентов и на основе полученных результатов дает рекомендации для включения в Программы повышения безопасности полетов. Кроме того, специалисты участвуют в разработке методов контроля деятельности элементов АТС. Здесь же проводятся исследования причин отказа систем ВС, приводящих к АП.

Разработчик ВС проектирует, испытывает и создаёт опытный образец ВС для проведения летных испытаний.

Разработчики ВС и КБ авиационного оборудования обеспечивают:

– создание авиационной техники в соответствии с заданными нормами и требованиями,

– разработку технической документации по эксплуатации АТ,

– разработку средств и методов технической эксплуатации и ремонта ВС,

– разработку средств и методов выявления в эксплуатации отклонений от нормального функционирования АТ,

– участие в разработке технических средств обучения и поддержания профессиональных навыков авиационных специалистов, эксплуатирующих АТ,

– анализ материалов по недостаткам, выявленным в эксплуатации АТ,

– разработку мероприятий по устранению конструктивных недостатков АТ.

У Разработчика ВС вопросами безопасности полетов занимается бригада, которая в ряде организаций проводит также расчет и оценку надежности систем ВС. Там, где бригады надежности и безопасности структурно самостоятельные, они проводят работы все равно совместно, привлекая специалистов бригад-разработчиков функциональных систем. Выявляются все возможные виды отказов систем, проводится оценка последствий отказов в ожидаемых условиях эксплуатации, выполняется оценка уровня безопасности полетов и сравнивается с заданной нормой. Кроме того, выдаются задания на моделирование, стендо-

вые и летные испытания для оценки характера проявления мало изученных отказов новой техники. В испытаниях проводится оценка привлекающей способности сигнализации об отказе для его локализации и отрабатываются действия экипажа.

Бригада сертификации организационно у некоторых Разработчиков является самостоятельным подразделением.

Бригада объективных средств контроля (кроме их размещения и испытания) создает алгоритмы и программы автоматизированного анализа полетной информации для оценки действий экипажа и работоспособности систем ВС.

Заводы-изготовители ВС, обслуживания, наземных средств производят серийный выпуск указанной АТ.

Завод-изготовитель и ремонтный завод обеспечивают:

- тщательную обработку технологии изготовления и ремонта АТ,
- создание серийной АТ и восстановление, отработавшей межремонтный ресурс,
- участие в эксплуатационных испытаниях АТ,
- анализ материалов по недостаткам производства и ремонта, выявленным в эксплуатации,
- разработку мероприятий по устранению производственных недостатков.

На заводе имеется отдел (бюро) надежности, который проводит анализ рекламаций на отказы гарантийной АТ, поступающих из

эксплуатации, и материалы по АП, инцидентам, в которых проявился отказ систем ВС по причине недостатков производства. Кроме того, анализируются карточки учета неисправностей по той же причине. При необходимости, отдел проводит испытания отказавших агрегатов, узлов, блоков для определения причин отказа и оценки эффективности принятых мер.

По результатам анализа разрабатываются мероприятия по предотвращению повторения отказов из-за производственных недостатков.

Эксплуатирующее предприятие обеспечивает:

- эксплуатацию АТ в соответствии с нормативно-техническими документами,
- поддержание высокого уровня профессионального мастерства авиационных специалистов,
- сбор, учет и анализ отклонений в работе элементов АТС,
- разработку мероприятий по устранению недостатков в эксплуатации АТ.

Учебные заведения обеспечивают:

- разработку методов отбора и обучения авиационных специалистов,
- профессиональный отбор кандидатов для обучения авиационным специальностям,
- обучение и тренировку авиационных специалистов,
- анализ недостатков обучения, выявленных в эксплуатации,
- совершенствование методов обучения и тренировки.

6.3.5. Системный подход к расследованию авиационных происшествий, связанных с отклонениями в работе экипажа

Перед расследователем АП стоит сложная задача – при недостатке объективной информации, наличии случайностей возникновения отклонений в работе элементов АТС, влиянии внешних условий собрать данные о всех отклонениях, связанных с АП и могущих оказаться его причиной. При-

меняется принцип целостности изучения работы каждого элемента АТС в тесной взаимосвязи с другими элементами, оценки их роли в возникновении и развитии особой ситуации на основе использования всех видов сбора исходных данных (рис.6.3.6) [2].

В соответствии с технологией расследования АП выявляются все отклонения, в том числе которые, на первый взгляд, кажутся незначительными, и проводится совместный их анализ. Устанав-

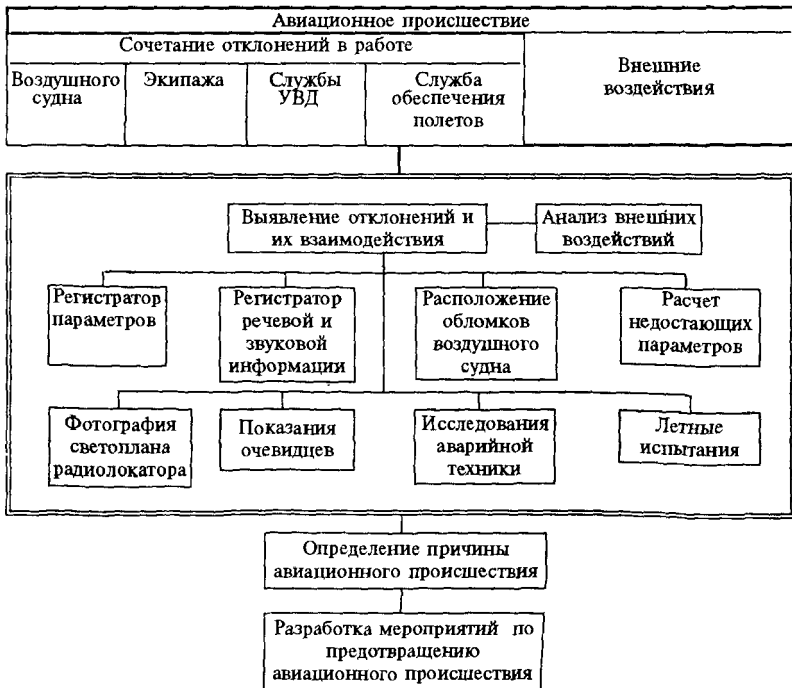


Рис. 6.3.6. Схема работы комиссии при расследовании авиационного происшествия

дивается взаимная связь этих отклонений и степень влияния на возникновение и развитие особой ситуации. При изолированном изучении отклонений выявляются нарушения качества, свойственного АТС.

Комиссия по расследованию АП, как правило, состоит из летной, инженерно-технической и административной подкомиссий.

Летная подкомиссия включает следующие группы: летная, управления воздушным движением и аэродромного обеспечения, авиационной медицины.

Основные направления деятельности указанных групп изложены в Положении [7].

Отклонения в работе экипажа при расследовании АП устанавливаются летной подкомиссией на основе [2]:

- анализа записи параметров полета и работы систем воздушного судна, накопленных бортовым регистратором;

- анализа записи переговоров членов экипажа между собой и с диспетчерской службой, накопленной бортовым и наземным магнитофонами;

- анализа фотографии светоплана посадочного радиолокатора;

- анализа объяснительных записок членов экипажа и показаний очевидцев;

- изучения на месте АП состояния систем воздушного судна, положения рычагов, переключателей;

- расчетов недостающих параметров.

Отклонения устанавливаются путем сравнения данных, характеризующих фактически выполненные действия, с требуемыми, которые предписаны нормативными документами, регламентирующими работу экипажа.

Учитывая, что АТС являются человеко-машинными системами, следует стремиться к тому, чтобы при анализе ошибок членов экипажа не оставался без внимания процесс взаимодействия человека с техникой. Характеристика деятельности летного состава зависит от свойств оборудования. Ошибки могут быть проявлением интегральных недостатков взаимодействия экипажа с бортовыми системами ВС.

Ошибки специалистов происходят в результате проявления внешних и внутренних факторов. При этом внешними факторами являются эргономические недостатки оборудования, неудовлетворительная организация труда, плохая среда и др. Внутренними факторами являются особенности индивидуальных характеристик человека, уровень профессиональной подготовки, состояние здоровья, психологическое состояние и др. Таким образом, существует достаточно условий, при которых оператор испытывает затруднения в осуществлении деятельности и допускает ошибки в ситуациях, когда предусмотрены меры их локализации. Кроме того, одной из разновидностей ошибок являются преднамеренные нарушения оператором

предписанных правил (попытки «обойти закон»), ради достижения другой цели в надежде, что допущенное нарушение останется незамеченным и не приведет к снижению безопасности полета.

В практику расследования АП вводится использование социально и психологически ориентированных принципов, изучается летчик как личность, анализируется его жизненный путь.

В процессе расследования АП при определении причины ошибки летного состава анализируются составляющие личного фактора, оказывающие влияние на качество и эффективность летной деятельности.

Необходимо при анализе особых ситуаций переходить от процедурной оценки операций и действий летного состава к оценке мотивов его действий, выявлять внутреннюю природу ошибок. Должна быть установлена причинная связь между свойствами личности и профессиональной надежностью, т.е. между степенью выраженности характера человека и его ошибочными действиями.

Для каждого конкретного члена экипажа оцениваются [9]:

– моральные качества членов экипажа (дисциплинированность, целеустремленность, чувство коллективизма, взаимопомощи и др.);

– профессиональные качества (уровень знаний, степень натренированности, профессиональный опыт, стремление к совершенствованию летного мастерства);

– физиологические особенности (функциональное состояние организма члена экипажа, чувствительность анализаторов, скорость мышления, внимательность и др.);

– физическое развитие, обусловленное силой, выносливостью, ловкостью, антропометрическими и биомеханическими особенностями;

– психологические качества, которые отражают психическое состояние, характерологические особенности.

Анализ составляющих личного фактора не всегда позволяет объяснить причины недостаточной надежности члена экипажа в полете. Некоторые нарушения имеют закономерный характер вне зависимости от индивидуальных особенностей человека. Это обусловлено тем, что надежность летной деятельности также зависит от технических средств, условий, содержания работы и ее организации. Поэтому одновременно с оценкой личного фактора проводится анализ человеческого фактора путем изучения:

– эффективности средств летной деятельности, состоящих из средств отображения информации, характеризующихся расположением, способом представления данных, яркостью, привлекающей способностью, и органов управления системами, характеризующихся конструкцией, взаимным расположением, достигаемостью, способом перемещения и др.;

– условий летной деятельности, характеризующихся размерами кабины, обзором, освещенностью, условиями обитаемости и микроклимата на рабочем месте, воздействием неблагоприятных факторов полета и др.;

– содержания деятельности, характеризующееся распределением функций между человеком и автоматикой, между членами экипажа, информационная и физическая нагрузка, способы выполнения действий;

– организации деятельности, характеризующейся режимом труда и отдыха, летной нагрузкой, программой подготовки и контроля работы членов экипажа, особенностями управления и обеспечения полетов.

При расследовании АП учитывается, что профессионализм в нормальном полете не есть залог надежности действий в аварийной ситуации, т.к. такие свойства психики, как мышление, чувства, воля в аварийной ситуации проявляют себя качественно отлично от проявления их в обычной обстановке. Технологический порядок восприятия в такой ситуации сигналов, изложенных в РЛЭ, в реальной обстановке резко меняется как по времени, так и в пространстве. Поэтому отсутствие действий на сигнал, отклонение, зафиксированное регистратором, не есть юридическое доказательство вины. Человек при всем внимании мог его не воспринять, т.к. осмысливал другой сигнал. Необходимо

установить механизм действия обстоятельств, превысивших психофизиологические возможности человека. В АП следует видеть, прежде всего, беду экипажа, а не его вину [9].

Для выявления ошибок, обусловленных человеческим фактором, проводится анализ статистических данных по ранее имевшим место подобным ошибкам у данного экипажа и других, выполнивших полеты на том же типе ВС. Если установлена зависимость характера ошибок от типа ВС и повторяемость ошибок в одинаковых условиях для различных экипажей с различным уровнем профессиональной подготовки, то, наиболее вероятно, что данная ошибка обусловлена человеческим фактором. Проводится целенаправленный анализ составляющих человеческого фактора и выясняется причина ошибки.

При изучении же личного фактора комиссия по расследованию не всегда имеет возможность выявить особенности личности даже в случае, когда член экипажа остался жив. Это обусловлено остаточным влиянием АП на его психическое состояние. Поэтому важно для каждого члена экипажа иметь заранее составленный на основе предварительных исследований так называемый «портрет члена экипажа в норме», который отражает широкий спектр профессиональных и личностных характеристик. Некоторые данные могут быть получены после АП.

«Портрет члена экипажа в норме» формируется на основе:

- анализа скорости мышления,сообразительности, внимания, эмоциональности и других характеристик личности, полученных путем психологических тестов, исследований на специальных стендах, тренажере;

- оценки уровня притязаний, адекватности самооценки, психологической совместимости, уровня дисциплины и другой информации, полученной путем опроса сослуживцев, друзей, родственников;

- анализа эмоциональной напряженности в нормальных условиях полета, полученного на основе сравнения записи речи экипажа в процессе тренировок и в особых ситуациях, в которых оказался член экипажа;

- статистического анализа особенностей выполнения характерных элементов полета по записям параметров полета, накопленных с помощью бортового устройства регистрации за длительный период времени;

- анализа состояния здоровья по результатам медицинских обследований за длительный период времени и после АП;

- оценки уровня профессиональной подготовки члена экипажа, полученного на основе анализа летной книжки.

Ретроспективный анализ материалов по аварийности ВС за длительный период эксплуатации позволит сгруппировать наиболее вероятные ошибки экипажа. Обобщая материалы расследований АП, можно выделить следующие причины ошибок:

- недостаточная профессиональная подготовка, обусловленная недоученностью (непонимание опасности преднамеренно допускаемых отклонений от предписанных действий; недооценка созданной самим экипажем особой ситуации; незнание особенностей работы функциональных систем в экстремальных ситуациях и влияния их режима на летные и маневренные характеристики самолета и др.);

- слабая профессиональная подготовка, обусловленная недостаточной натренированностью (неустойчивость профессионального навыка, отрицательный перенос навыка, утрата навыка по работе с системами самолета и в поддержании параметров; неумение правильно определить местоположение самолета и др.);

- недостаточное развитие индивидуальных психологических качеств членов экипажа, выражающееся в несоответствии внимания, памяти, скорости мышления требованиям летной работы;

- недисциплинированность, небрежность, переоценка своих возможностей, неумение командира организовать работу экипажа и др.;

- неблагоприятное физическое состояние летного состава, обусловленное воздействием внешних факторов, утомлением;

- эргономические недостатки кабины экипажа, провоцирующие ошибки по управлению бортовыми системами или восприятию информации.

6.3.6. Системный подход к расследованию авиационных происшествий, связанных с отклонениями в работе технических средств АТС

Оценка работоспособности и выявление отказов технической части АТС при расследовании авиационных происшествий проводится **инженерно-технической подкомиссией**. Она состоит из групп:

1) анализа выполнения правил эксплуатации, технического обслуживания и ремонта авиационной техники;

2) планера и систем, силовой установки, авиационного и радиоэлектронного оборудования.

Основные направления деятельности указанных групп изложены в Положении [7].

Методики исследования аварийной техники представляют собой совокупность способов, подходов и приемов для последовательного, целенаправленного определения причин отказа системы ВС. Процесс исследования аварийных объектов включает анализ трех групп связей между составляющими процесса исследования: логические, структурные и функциональные. Сущность этих связей определяется многогранностью методов, используемых при указанных исследованиях.

На рис.6.3.7. приведена относительная частота использования методов исследования аварийной авиационной техники. Почти во всех исследованиях применяется

визуально-оптический метод, в 50% исследований используется метод, основанный на анализе микроструктуры материала. Примерно в 30% производится измерение геометрических величин. Стендовые и экспериментальные исследования выполняются примерно в 25% случаев исследований [12].

При исследовании аварийного объекта вначале устанавливается произошел ли отказ техники, который связан с АП. Затем выявляется отказавший агрегат и последствия этого отказа. Далее целью исследования является установление причины отказа и его характер: конструктивный недостаток, технологический дефект, нарушения в процессе технического обслуживания и летной деятельности. Потом выявляются особенности эксплуатации ВС, не позволившие своевременно выявить возможность такого отказа в процессе многочисленных расчетов, проверок, испытаний. Заключение о работоспособности или отказе бортовой системы базируется на основе анализа всего комплекса проведенных исследований.

Объем исследований и применяемые методики зависят от обстоятельств АП, конструктивных особенностей ВС и конкретной бортовой системы, состоянием агрегатов.

В подавляющем большинстве случаев возникает необходимость установления возможности пожара в полете. Характерными признаками при обгорании частей

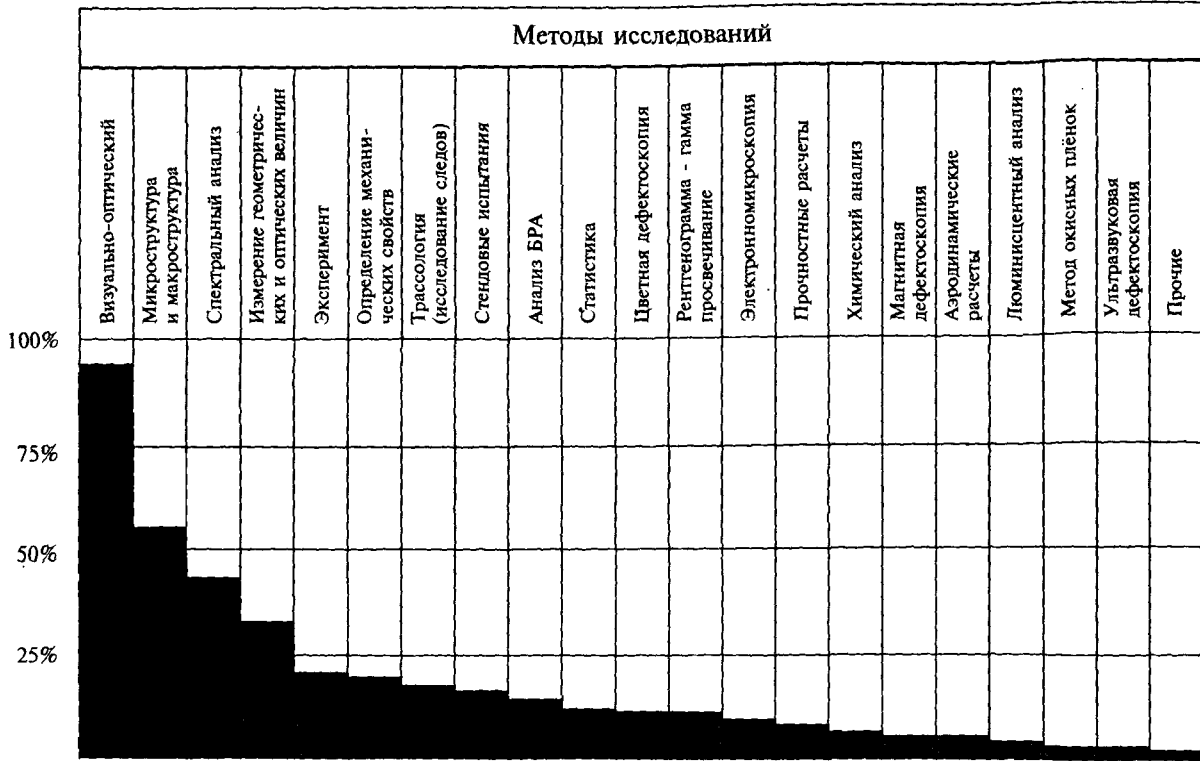


Рис. 6.3.7. Частота использования различных методов исследования аварийных и отказавших объектов авиационной техники

планера, силовой установки и деталей являются:

— совпадающие следы копоти одинаковой интенсивности при отсутствии следов воздействия пламени и копоти на поверхностях изломов, на поверхностях двух сопрягающихся по изломам деталей,

— участки без следов непосредственного воздействия пламени на обгоревших, закопченных частях обшивки планера, капоте двигателя, в местах отрыва деталей конструкции,

— наплавление и разбрызгивание металла в направлении воздушного потока на поверхностях элементов конструкции,

— обгорание лакокрасочного покрытия одинаковой интенсивности на участке разрушения при отсутствии следов воздействия пламени и копоти на поверхностях изломов,

— копоть в глубоких складках материала деформированной конструкции одинаковой интенсивности с копотью на поверхности несмятых участков,

— копоть на деталях под слоем земли,

— локальные прогары узлов двигателя при отсутствии признаков наплавления металла от горения на земле и следов закопченности в передней по полету части прогара,

— четко выраженные границы воздействия пламени и распространения копоти на поверхностях деформированного двигателя,

— прогорания корпусов узлов двигателя с наличием металлиза-

ции и копоти на наружных поверхностях газозащитного тракта.

Статистический анализ материалов расследования АП, связанных с недостатками бортовых систем ВС, позволил установить, что значительная часть тяжелых последствий развития особых ситуаций происходит в результате отказа двигателей и взлетно-посадочных устройств.

Определение режима работы двигателей непосредственно перед столкновением ВС с землей при отсутствии записи параметров производится по состоянию устройств регулирования и управления двигателя, а также систем подачи топлива и масла в момент разрушения ВС. В топливном насосе определяется положение поршня датчика оборотов, сервопоршня дозирующего крана, штока приемистости, рычага управления насоса. В топливном регуляторе определяется положение дозирующего крана и рычага управления. У деталей трансмиссии двигателя исследуется цвет окисных пленок на поверхностях излома. Исследуются элементы электроавтоматики, приборов контроля и ламп сигнализации.

Инженерно-техническая подкомиссия при выявлении отказа систем ВС делает выводы на основе обобщения результатов анализа факторов, выявленных на месте расследования и полученных в лабораторных исследованиях. Дается оценка влияния отказа на возникновение и развитие особой ситуа-

пии, а также связь с последствием этой ситуации, устанавливается причина отказа, дается оценка организации и качества технического обслуживания, ремонта авиационной техники.

6.3.7. Предотвращение авиационных происшествий

С целью рационального расходования материальных средств, выделяемых на повышение безопасности полетов и обеспечения эффективности работ по предотвращению авиационных происшествий, в эксплуатации должна быть принята следующая схема действий [5]:

- выявляются отклонения в работе элементов АТС,
- оценивается опасность выявленных отклонений,
- оценивается необходимость и целесообразность принятия мер по предотвращению повторения отклонений в работе элементов АТС,
- ранжируются мероприятия по срочности их реализации,
- разрабатываются и внедряются мероприятия,
- оценивается эффективность принятых мер по результатам эксплуатации.

Исходными данными для разработки указанных мероприятий являются:

- результаты расследования авиационных происшествий и инцидентов,

- результаты экспресс-анализа и статистический анализ полетной информации, накопленной бортовыми устройствами регистрации при оценке работы экипажа и систем воздушного судна в выполненных полетах,

- результаты оценки действий экипажа и диспетчеров на основе анализа записи наземного и бортового магнитофонов,

- результаты инспекторских проверок деятельности летного и наземного персоналов,

- результаты анализа выявленных в эксплуатации отказов систем воздушных судов и наземного оборудования,

- результаты статистического обобщения недостатков в работе элементов АТС, выявленных за длительный период эксплуатации.

Основным направлением в совершенствовании авиационной техники является проведение соответствующих конструктивно-технологических разработок, направленных на устранение опасных отказов, которые приводили к АП или инцидентам. Кроме того, совершенствование бортовых систем ВС проводится с целью снижения вероятности ошибок летного состава.

Авиационные происшествия, связанные с отказом силовой установки на самолетах 1-3 классов происходили в результате:

- пожара внутри двигателя, в мотогондоле из-за внутреннего разрушения элементов двигателя, утечки топлива;

- отлива масла при отрицательных перегрузках;

- возникновения отрицательной тяги воздушных винтов турбовинтовых двигателей;

- рассоединение или заклинивание проводки системы управления самолетом оторвавшимися вращающимися элементами двигателя;

- автоматического или принудительного выключения одного или более двигателей в полете.

Для исключения пожаров при внутреннем разрушении элементов двигателя все самолеты оборудованы эффективной системой пожаротушения, состоящей из трех очередей, а также повышена прочность кожуха двигателей, повышена температурная прочность камер сгорания. Конструктивно кожух выполнен таким образом, чтобы оторвавшаяся лопатка компрессора или турбины не могла вылететь за пределы двигателя.

Для исключения отказа двигателя при возникновении отрицательной перегрузки усовершенствована масляная система двигателей, позволяющая некоторое время работать двигателю при редко встречающихся перегрузках. Для исключения возникновения отрицательной тяги воздушных винтов турбовинтовых двигателей установлена автоматическая система флюгирования воздушного винта при отказе. Для снижения вероятности отказа двигателя постоянно проводятся работы по повышению их надежности.

Авиационные происшествия, связанные с отказом взлетно-посадочных устройств на самолетах 1-3 классов происходили в результате:

- невыпуска шасси на самолете Як-40 из-за одновременного отказа основной и аварийной гидросистем при разрушении трубопровода основной;

- невыпуска шасси из-за выбивания гидрожидкости при разгерметизации систем;

- невыпуска или складывания шасси из-за разрушения элементов кинематики стойки шасси;

- невыпуска шасси на самолете Ту-154 из-за отказа золотниковых устройств;

- потери управляемости на пробеге и разбеге из-за отказа противоюзового устройства управления передним колесом.

На основе анализа АП было выполнено значительное количество рекомендаций по совершенствованию конструкторско-технологических решений. В качестве примеров рассмотрим некоторые из них.

Для исключения одновременно отказа двух гидросистем на самолетах Як-40 и Як-42 из-за разгерметизации хотя бы одной из них была дополнительно установлена резервная тросовая система механического снятия основных стоек шасси с замков убранного положения, которая позволяет в случае разгерметизации одной из систем выпустить шасси под действием собственного веса стоек шасси. Так называемую «общую точку» в системе выпуска шасси,

связанную с разгерметизацией гидросистемы на исполнительном механизме, исключить не представляется возможным при применении одного энергоносителя (гидрожидкости). Для исключения «общих точек» следует применять различные по принципу действия дублирующие системы.

Для исключения разрушения элементов кинематики шасси в эксплуатации был усилен контроль за усталостными трещинами.

Анализ аварийности транспортной авиации за длительный период эксплуатации позволил установить, что принятие авиационной промышленностью ряда важных конструктивных мер, позволило полностью исключить опасные ошибки летного состава, которые приводили к АП. Эти меры были направлены на усовершенствование бортовых систем самолета. Основными мерами такого характера явились:

- введение блокировки выпуска интерцепторов на земле для предотвращения повторения случаев попытки взлета с выпущенными интерцепторами;

- введение предупреждающего сигнала «К взлету не готов», который является интегральным сигналом при попытке взлета с убранной механизацией крыла, с незакрытыми входными, грузовыми дверьми и аварийными выходами, при попытке взлета с выпущенными интерцепторами, в случае отказа блокировки и др.;

- переделка системы стопорения рулевых поверхностей для

предотвращения попытки взлета с нерасстопоренными рулями, которая заключалась в необычном положении органов управления в кабине экипажа, исключающая возможность занять кресло пилотами пока рули не расстопорены, а также блокировка РУД, не позволяющая установить взлётный режим при застопоренных рулях;

- введение звуковой (в дополнение к световой) сигнализации невыпущенного положения шасси при полете на высоте меньше 200 м на режиме захода на посадку;

- разнесение переключателей выпуска-уборки шасси и снятия воздушных винтов с упора на самолете Ан-24, для исключения случаев уборки шасси после приземления вместо включения режима отрицательной тяги двигателей для торможения самолета;

- введение sireны отключения автопилота для исключения попадания самолета в глубокий крен на эшелоне при непреднамеренном отключении экипажем автопилота или при его отказе.

Опыт расследования АП показал, что отклонения в работе элементов АТС, сочетание которых привело к неблагоприятному исходу полета, в отдельности не представляют особой опасности. Эти отклонения допускаются в эксплуатации и их можно выявить с помощью объективных средств. Основными объективными и наиболее достоверными источниками информации об отклонениях в работе экипажа и службы УВД явля-

ются бортовые регистраторы параметров и речи.

Кроме того, из объективных источников данных о полете ВС при расследовании авиационных происшествий и инцидентов используется фотография светоплана посадочного радиолокатора, на которой фиксируется траектория полета воздушного судна в горизонтальной и вертикальной плоскостях на посадочной прямой.

Применение бортовых регистраторов для своевременного выявления допущенных при выполнении полета отклонений на основе полетной информации, накопленной в них, установление причин этих отклонений и принятие профилактических мер являются эффективным методом повышения безопасности полетов.

Основные характеристики бортовых регистраторов, установленных на транспортных самолетах 1-

3 классов, приведены в табл.6.3.4. Носителем информации бортового регистратора параметров является магнитная лента, что позволяет автоматизировать процесс обработки и анализа полетной информации.

Программа автоматизированного анализа полетной информации предназначена для контроля:

- выхода параметров полета за летные ограничения;
- соблюдения экипажем требований по выдерживанию параметров полета, рекомендованных **Руководством по летной эксплуатации (РЛЭ)**;
- соблюдения экипажем требований по управлению системами самолета;
- работоспособности систем самолета.

В компьютерных программах реализован контроль только таких отклонений, которые в своем

Таблица 6.3.4.
Основные характеристики бортовых регистраторов

Тип регистратора	Кол-во параметров	Кол-во разовых команд	Продолжительность записи, час	Масса регистратора, кг	Погрешность измерений %	Тип воздушных судов
МСРП-12	12	12	1,2	35	3,0	Ан-12, Ан-24, Ан-26, Ан-30, Як-40
МСРП-64	48	32	25	30	1,5	Ту-134, Ту-154, Як-42, Ил-62, Ил-76
МСРП-256	228	128	25	85	1,0	Ил-86
БУР-1	25	48	50	19	0,5	Ан-28, Л-410, Ми-6, Ми-8, Ка-26, Ка-32

сочетании или вместе с отклонениями в работе других элементов АТС могут привести к АП. Алгоритмы контроля представляют собой формализованные требования РЛЭ. Схема автоматизированного анализа полетной информации приведена на рис.6.3.8.

Оборудование гражданских самолетов бортовыми регистраторами позволило прежде всего повысить достоверность установления причин АП с 65% до 96%, и существенно повысить безопасность полетов. Внедрение контроля пилотирования, в сочетании с другими мероприятиями, привело за 5 лет к уменьшению в 3,5 раза относительного количества АП из-за ошибок экипажа на посадке. За 15 лет количество полетов с от-

клонениями в работе экипажа снизилось с 50% до 3% (рис.6.3.9). При этом осуществлялся массовый контроль, анализировался каждый полет самолетов Ил-86, Як-42, каждый третий полет самолетов Ил-62, Ту-154, Ту-134.

В дальнейшем повышении безопасности полетов за счет применения автоматизированного анализа не происходит. Следующим шагом в повышении эффективности использования полетной информации является статистический анализ выполнения каждого элемента полета индивидуально каждым пилотом при его личном участии в разборе полета. Статистические данные по характеру выполнения отдельных элементов полета и операций позволяют оце-

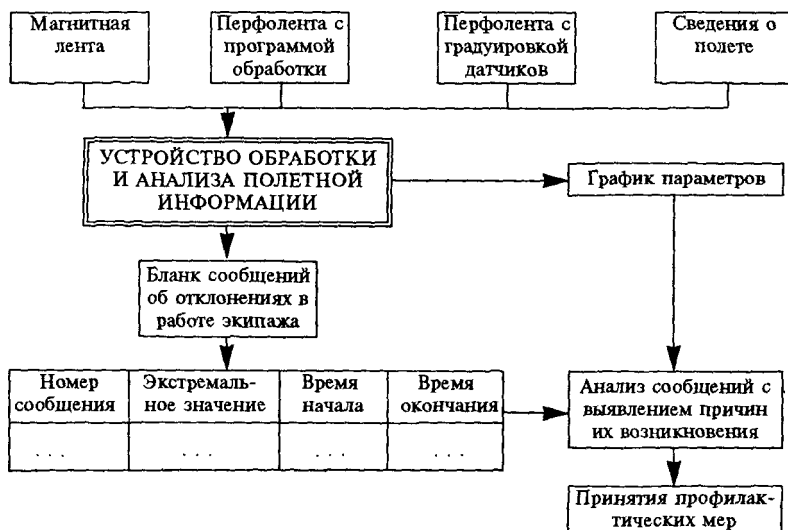


Рис. 6.3.8. Схема автоматизированного анализа полетной информации

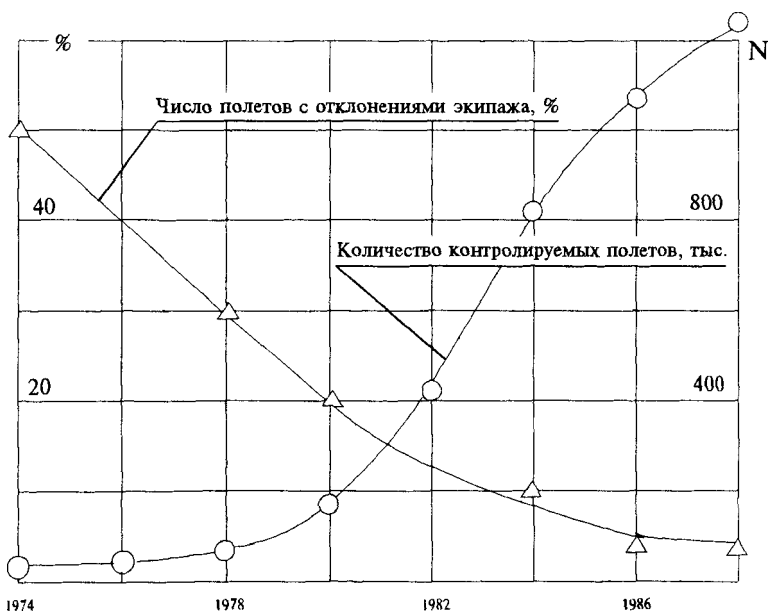


Рис. 6.3.9. Эффективность контроля с помощью записей бортовых регистраторов

нить обученность и натренированность летного состава.

Повторяющиеся пропуски каких-то операций, нарушение последовательности действий, нарушение технологии свидетельствуют о недостаточной обученности, а также могут быть поводом для проведения эргономических исследований. Повторяющиеся запоздалые действия, неадекватный темп выполнения операций, большой разброс значений параметров при выполнении элементов полета свидетельствует о ненадтренированности экипажа. Такой анализ позволяет реализовать индивидуальную систему повышения про-

фессионального мастерства, направленную на исключение недостатков, ликвидацию пробелов подготовки, свойственных данному экипажу.

Учитывая то обстоятельство, что эти причины носят систематический, закономерный характер, они могут быть выявлены в процессе расследования АП при наличии соответствующих материалов, а также в массовой эксплуатации до того, как их сочетание приведет к неблагоприятному исходу полета. При этом могут быть выявлены как характерные для группы летного состава отклонения в работе, связанные с недостатками систе-

мы подготовки, программ обучения или эргономическими недостатками кабины, так и отклонения, обусловленные индивидуальными, свойственными только данного члена экипажа, особенностями его характера, недостаточной натренированностью или другими его психофизиологическими факторами. Источниками информации для такого статистического анализа могут быть:

- акты расследования АП и инцидентов;

- бланки сообщения об отклонениях, полученные в результате экспресс-анализа полетной информации;

- результаты статистического анализа полетной информации по выполнению элементов полета;

- результаты обобщения добровольных сообщений о допущенных ошибках в полете.

Анализ в совокупности всей имеющейся информации об отклонениях в действиях летного состава позволяет объяснить их закономерность. Когда ошибки повторяются на данном типе самолета у разных экипажей, отличающихся опытом и квалификацией, то скорее всего причина их заключается в эргономическом недостатке кабины или недостатках методики обучения и тренировки. Если же ошибки данного вида повторяются только у конкретного члена экипажа, то они связаны с недостаточной профессиональной подготовкой этого члена экипажа или его индивидуальными психо-

физиологическими особенностями, эмоционально-волевыми качествами, состоянием здоровья и другими причинами.

Проведенные исследования позволили выявить значительные потенциальные возможности такого анализа в различных направлениях обеспечения безопасности полетов, а именно, в выявлении недостатков профессиональной подготовки летного состава, недостатков требований РЛЭ, особенностей устройства и эксплуатации самолетов.

Приведем примеры. Статистический анализ полетной информации об этапе взлета, накопленной с помощью МСРП-64, позволил выявить ряд негативных тенденций. Так, в 189 полетах самолета Ту-154 была выявлена в 4,8% случаев «просадка самолета» до 50 м при уборке закрылков с запоздалой перебалансировкой самолета, что в сочетании с неблагоприятными внешними условиями может привести к АП, как это произошло в 1985г. (аэропорт Алма-Ата) при воздействии нисходящего порыва, с которым пилоты не смогли справиться. В 57,7% полетов самолетов Ту-154 набор высоты выполнялся на скоростях, меньше рекомендованных с максимальным отклонением до 70 км/час. Превышение вертикальной скорости снижения на глиссаде более 6м/с было зафиксировано в 11,6%. Указанные цифры и анализ материалов расследований АП свидетельствует о

том, что отклонения, носящие закономерный характер, рано или поздно в сочетании с другими отклонениями приводят к АП. При своевременном их выявлении и принятии соответствующих мер по устранению причин можно реально повысить уровень безопасности полетов.

Действующее до внедрения экспресс-анализа полетной информации для самолета Ту-154 ограничение по предельно-допустимому углу тангажа 14 град на взлете было исключено из РЛЭ, т.к. анализ статистических данных показал, что если пилот не превышал ограничения по углу тангажа, то он превышал ограничения по скорости в начале уборки закрылков.

Анализ 420 полетов самолетов Ил-62 позволил установить, что скорость после взлета выдерживается практически независимой от взлетной массы ($G_{взл}$), хотя в РЛЭ она задана до начала уборки закрылков в виде зависимости «безопасной скорости полета V_2+20 [км/ч] – взлетная масса». Выявлено, что ближе всего к скорости сваливания самолет находится в конце уборки закрылков на взлете с большими взлетными массами. В 25% взлетов самолета Ил-62 с большими массами происходил выход скорости за летное ограничение по минимально-допустимой скорости в конце уборки закрылков, что снижает возможности самолета по парированию случайных неблагопри-

ятных факторов (рис.6.3.10). На других типах самолетов наименьший запас от скорости сваливания реализуется также в конце уборки закрылков.

После выявления малых запасов скорости от минимально-допустимой скорости на самолете Як-42 была рекомендована многоступенчатая уборка закрылков, вместо уборки в один прием. Реализация этого мероприятия позволила увеличить запас по скорости сваливания.

Приведенные примеры результатов статистического анализа полетной информации, полученной бортовыми регистраторами, свидетельствуют о том, что они позволяют выявить не только недостатки в системе подготовки летного состава к полетам на конкретном типе самолета, но выявлять слабые места в подготовке по выполнению определенных элементов полета, каждым конкретно пилотом.

Необходимо дальнейшее совершенствование средств фиксации сведений о работе элементов АТС и методов комплексного анализа собранной объективной информации для повышения эффективности функционирования АТС и повышения безопасности полетов. Требуется совершенствование также автоматизированной информационной подсистемы МАСУ «Безопасность», фиксирующей недостатки в работе элементов АТС, которые снижают безопасность полетов.

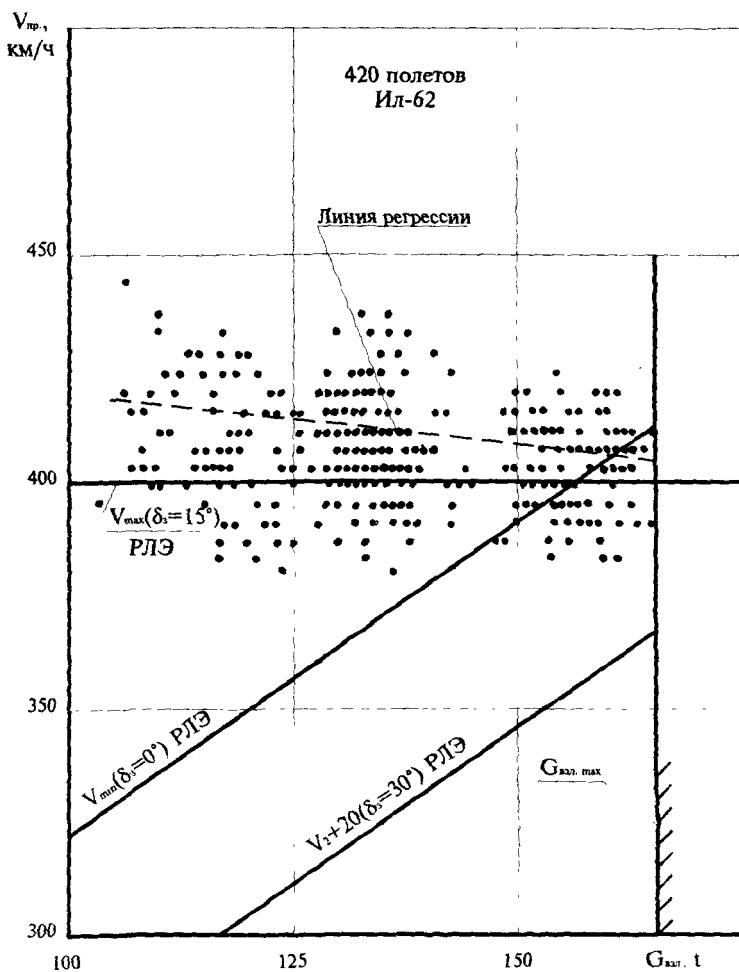


Рис. 6.3.10. Распределение скоростей в момент полной уборки закрылков на взлете самолетов Ил-62 в зависимости от взлетного веса (массы)

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров В.И., Деркач О.Я., Буслаев О.Б., Полтавец В.А., Шичко Л.Л. Методы определения эксплуатационно-технических характеристик самолета и вертолета. Справочная библиотека. М, Машиностроение, 1991.
2. Бочаров В.И., Кофман В.Д., Полтавец В.А., Теймуразов Р.А. Методические рекомендации по анализу отклонений в работе звеньев АТС при расследовании происшествий и инцидентов. М, Редиздат МГА, 1987.
3. Ерусалимский А.Л., Кофман В.Д., Полтавец В.А., Теймуразов Р.А. и др. Методические рекомендации по расследованию авиационных происшествий. М, Редиздат МГА, 1977.
4. Мазурский М.И., Меерович Г.Ш., Степаненко А.Н. Сертификационные испытания самолетов. М, Машиностроение, 1993.
5. Методические рекомендации по предотвращению авиационных происшествий в гражданской авиации СССР. М. Воздушный транспорт. 1986.
6. Нормы летной годности гражданских самолетов СССР, 3-е изд., М, Межведомственная комиссия по нормам летной годности гражданских самолетов и вертолетов СССР, 1984.
7. Положение о расследовании авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами. М, Прейскурантиздат, 1989.
8. Полтавец В.А. Безопасность полетов и методы ее обеспечения. М, МАИ, 1995.
9. Пономаренко В.А. Страна Авиация-черное и белое. М, Наука, 1995.
10. Проектирование гражданских самолетов. Теория и методы. Под ред. Новожилова Г.В. М., Машиностроение, 1991.
11. Сакач Р.В., Зубков Б.В., Давиденко М.Ф. Безопасность полетов. М, Транспорт, 1989.
12. Соломонов П.А. Безотказность авиационной техники и безопасность полетов. М, Транспорт, 1977.

Правдин. Котора дверь! Вот Эта.

Митрофан. Эта? Прилагательна.

Правдин. Почему же?

Митрофан. Потому что она приложена к своему месту.

Вон у чулана шеста неделя дверь стоит ещё не навешана:
так та покамест существительна.

Фонвизин Д.И. «Недоросль».

ПРИЛОЖЕНИЯ

ФИЛОСОФИЯ И ИНФОРМАЦИОЛОГИЯ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

П.1. МАТЕРИАЛЬНОСТЬ СИСТЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

П.1.1. Материальное единство Вселенной

Сутью целостного философского мировоззрения, методологии теоретической и практической деятельности человека стала **диалектика**, которая представляет учение о единстве противоположностей. Во-первых, как реальное противоречие непосредственно в самой действительности и, во-вторых, при изучении разобъединенных и порознь изучаемых противоречивых частей. «**Материя** есть философская категория для обозначения объективной реальности, которая дана человеку в ощущениях его, которая копируется, фотографируется, отображается нашими ощущениями, существуя независимо от них» [37]. Основным методом философии является диалектический материализм или (что тоже самое) **материалистическая диалектика**. Можно отметить три главных объекта её применения:

1) природа (философские проблемы естествознания);

2) общество и его социальные процессы (диалектика общественного развития, включая самого человека как индивидуума и личность);

3) теория и логика познания (формирование и применение образов).

Ниже эти исследовательские объекты будут рассмотрены с системных позиций. Вне нас существуют вещи, а

наши восприятия и представления — их образы. Именно материалистическая диалектика, переводя изучаемые вещи в разряд образов, является весьма адекватным способом осознания изменений в современной науке, во взаимоотношениях её с техникой и с обществом, т.е. изменений, воплотившихся в феномен научно-технической революции. Говоря о материалистической диалектике как логике и методологии науки, важно учитывать, что в науке (как она сложилась на сегодняшний день) существуют различные уровни исследований с присущими им методами и средствами анализа познавательного процесса [4, 21, 47 и др.].

Материальное единство Вселенной проявляется разным образом:

1) **дискретностью** строения объективной действительности, т.е. наличием в ней качественно различных отграниченных друг от друга материальных объектов (вещей, тел, комплексов, систем вместе с их явлениями и процессами);

2) **нерархичностью отношений** между объектами разной степени сложности и организованности, выражающейся во включении менее сложных в более сложные;

3) **несводимостью** специфических закономерностей последних к первым;

4) **динамичностью** свойств и отношений, приводящей порою от количественных к качественным «скачкообразным» изменениям.

Именно учёт этих обстоятельств и лежит в основе диалектико-материалистического учения о формах движения материи. Важно, таким образом, подчеркнуть глубоко диалектической характер самого понимания материи, связанного с представлением о *многообразии форм её движения, находящихся в определенных отношениях друг к другу*. Этот принцип, лежащий в основе диалектико-материалистической концепции, выдержал проверку временем, обнаружив исключительную плодотворность в плане научного познания Вселенной. Речь идет о понимании диалектики перехода от низших к более высоким формам организации, *построения сложных объектов* из более простых как из своих элементов и компонентов, координации и субординации различных типов взаимодействия в составе сложного организованного целого. Иными словами речь идет о развитии материи. *Теорией этого развития и является комплекс основных законов и категорий материалистической диалектики* [4, 18, 19, 21, 31, 32, 36, 39, 48, 88, 91 и др.]

Способом существования материи является движение. Общеизвестно, что в мире нет и не может быть материи без движения, как нет и движения без материи. Пространство и время являются всеобщими формами бытия («местом» существования) всех материальных систем и процессов. Без них теряют смысл важнейшие понятия: наличие и отсутствие, рождение и гибель, дискретность и непрерывность. Пространство — это такая форма бытия, которая выражает протяженность и структурность, существование и взаимодействие элементов в различных материальных системах. Время — форма бытия материи, характеризующая длительность существования всех объектов и последовательность смены состояний. Материя обладает множеством свойств, описываемых различными характеристиками, среди которых

выделяются три главные: **масса, энергия и информация**. Они позволяют количественно представлять различные объекты.

II.1.2. Материальные объекты

Рассматривая материю и формы её существования, можно отметить, что материя не есть нечто единообразное и однокачественное. Она существует в форме бесчисленно разнообразных тел, вещей, качественно и количественно отличающихся друг от друга. «Вся доступная нам природа образует некую систему, некую совокупную связь тел..., начиная от звезды и кончая атомом...» [40]. Из них формируются классы и группы родственных по своим свойствам объектов, которые называются различными видами материи. Современной науке известны следующие типы **материальных объектов** и соответствующие им структурные уровни материи: «субчастицы», элементарные частицы и поля (электромагнитные, гравитационные и др.), атомы, молекулы, тела различных размеров, геологические системы, Земля и другие планеты, Солнце и иные звезды, внутригалактические системы (диффузные туманности, звездные скопления и т.п.), Галактика, система галактик, Метагалактика и вся Вселенная. Границы и структура Вселенной, также как и нижняя граница «субчастиц» пока ещё не установлены окончательно. Дискретные виды материи играют роль носителей (субстратов) соответствующих форм движения. Эти дискретные части «...являются различными узловыми точками, которые обуславливают различные качественные формы существования всеобщей материи...» [40].

Границы современного знания о материи простираются от масштабов порядка 10^{-15} см («кern» нуклона) до 10^{28} см (примерно 15 миллиардов световых лет). В этом диапазоне материя

всюду обладает системной организацией. Можно ориентировочно выделить следующие основные типы материальных систем и соответствующие им структурные уровни материи разной степени сложности: неживая природа, живая природа, общество.

Живая материя и социально-организованная материя известны пока лишь на Земле. Их возникновение — результат естественного и закономерного саморазвития материи, неотделимого от её существования. **Живую материю**, представляющую биосферу Земли [16], образует вся совокупность организмов, способных к самопроизводству с передачей и накоплением в процессе эволюции генетической информации.

Общество — социально-организованная «разумная» материя — высшая форма развития жизни, объединяющая мыслящих и сознательно преобразующих действительность индивидуумов и сообществ различных уровней развития. В структуру социальных систем входят также и различные технические или иные искусственные материальные объекты, созданные людьми для реализации поставленных целей. Все эти виды материи также как и неживая материя, обладают системной организацией. Здесь уместно упомянуть ноосферу, сформированную под воздействием человеческого разума на природные процессы, учение о которой создал Вернадский В.И. (1863-1945) [16].

Материальные объекты всегда обладают внутренней упорядоченностью и системной организацией, которые проявляются в закономерном движении и взаимодействии всех элементов Вселенной, благодаря которому они объединены в единую систему. По современным данным в природе имеется четыре фундаментальных вида физического взаимодействия тел или час-

тиц друг на друга: гравитационное, слабое, электромагнитное и сильное [92].

Специфической особенностью диалектико-материалистического учения о материи, о её единстве и разнообразии является утверждение, что разные формы движения стоят друг к другу в отношении не только постепенного иерархического усложнения, но и генетического порождения одних форм другими. Имеется множество форм движения (физическая, химическая, биологическая и др.), изучаемых различными науками, раскрывающими всё новые его свойства и особенности. Конечно, между разными формами движения имеются не только отношения генетической субординации, но и отношения пространственно-временной координации. Сосуществующие формы движения, свойственные различным уровням развития материи, вступают друг с другом в сложные противоречивые взаимодействия, образуют комплексы и системы, изучение законов функционирования которых является одной из важных задач современной науки (именно с таким комплексом имеет дело, например, экология, изучающая взаимодействие неживой, живой природы и человеческого общества). Современная наука всё в большей мере занимается исследованием сложно организованных саморазвивающихся естественных и искусственных объектов [22, 26-28].

П.1.3. Количественные характеристики материи

Материализм утверждает, что физический мир вещей существует независимо от сознания человека и существовал задолго до человека, до всякого «опыта людей». Следовательно, **масса**,

энергия и информация есть объективные количественные характеристики материи.

Масса является одной из основных физических характеристик материи, определяющая её инерционные и гравитационные свойства. Понятие масса было введено в механику Ньютоном при определении импульса и силы. Это понятие приобрело более глубокий смысл в теории относительности Эйнштейна (1879-1955).

Энергия — общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи является однозначной функцией состояния объекта. Согласно закону сохранения энергии, открытому Майером Ю.Р. (1814-1878), она в природе не возникает из ничего и не исчезает. Она только может переходить из одной формы в другую. Это понятие связывает воедино все явления природы. До создания Эйнштейном специальной теории относительности (1905) законы сохранения массы и энергии существовали как два независимых закона. В рамках теории относительности они были слиты воедино. В соответствии с различными формами движения материи и разными видами взаимодействия рассматриваются различные виды энергии, классификация которых охватывает широкий спектр энергетических превращений на Земле [105]: аннигиляционная, ядерная, химическая, гравитационная, тепловая, механическая, электрическая, электромагнитная, электростатическая, магнитостатическая, нейтриностатическая, упругостная, мезонная, гравитационная, нейтринодинамическая и др.

Информация представляет меру неоднородности в распределении энергии и вещества в пространстве и во времени. Она выражает свойство материи, которое является всеобщим и

связано с наиболее общими представлениями о движении как изменении. Важным выводом современного этапа познания природы информации является возможность существования не одного какого-либо вида, а множества видов её специфических проявлений.

Если считать наиболее существенными признаками информации отражение и разнообразие, то информация является свойством материи. Но отраженное разнообразие существует не только в объективном мире, но и в сознании человека. И в этом смысле информация может быть и субъективной, выражаться как в чувственных образах, так и в формах научного познания. Информация, таким образом, бывает и субъективной, и объективной. К положительному решению вопроса о том, что информация успешно характеризует материю и сознание, материальное и идеальное, присоединяются многие философы [94-96, 99-101 и др.].

Философское определение понятия информации провозглашает её объективной реальностью, не зависящим от субъекта и его деятельности свойством как материальных объектов неживой и живой природы, общества, так и идеальных объектов, отражающих действительность в формах разумной деятельности субъекта. Информация не является, как это ранее полагали, лишь сведениями, сообщениями, продуктом и формой духовной деятельности. Поскольку она не является только формой результатов деятельности человека, выходит за эти границы, то вполне закономерным считать её таким же свойством материи как движение или отражение.

Определение понятия информации как отраженного разнообразия позволяет вполне чётко отличать его от понятия отражения и от понятия разнообразия.

Она характеризует существенную связь между отражением и разнообразием [101]. Информация существует постольку, поскольку существуют сами материальные тела, и следовательно, созданные ими неоднородности. В научном плане понятие информация охватывает как те сведения, которыми люди обмениваются между собой, так и сведения, существующие независимо от людей.

На оценке и содержательности информации не сказываются ни тип переносчика, ни физический способ её передачи. Но зависимость информации от энергии всё же существует: создание информации, её переработка, хранение и передача невозможны без затрат энергии. В обычных условиях затраты на получение одного бита информации пренебрежимо малы (в идеальном случае при очень широкой полосе частот на передачу одного бита надо затратить не менее $0,7KT$ Дж, (здесь $K=1,37 \cdot 10^{-23}$ — постоянная Больцмана, T — температура по шкале Кельвина).

В некоторых философских работах с появлением кибернетики был выдвинут тезис о том, что информация является одним из основных универсальных свойств материи. Это привело к двум принципиальным изменениям в трактовке понятия. Во-первых, оно было расширено и включило в себя обмен сведениями не только между человеком и человеком, но также между человеком и автоматом, автоматом и автоматом, в том числе обмен сигналами в животном и растительном мире. Передачу наследуемых признаков от клетки к клетке и от организма к организму также стали рассматривать как передачу информации. Во-вторых, была предложена количественная мера информации сообщения (x) в виде $I(x) = \log p(x)$. Наиболее часто употреб-

ляются логарифмы по основанию «2» и натуральные. В первом случае единица измерения информации называется «бит» (от английского «binary digit» — двоичный разряд), а во втором «нат» (от «natural digit»).

Правоммерно, однако, анализируя сущность информации как философской категории, поставить вопрос и о наиболее общем значении и содержании этого понятия [99-101]. Отечественные авторы и ряд зарубежных философов связывают категорию «информация» с объективными условиями проявления закона отражения. В этом плане информация выступает как свойство материальных объектов и процессов порождать, передавать и сохранять многообразие состояний, которое посредством той или иной формы отражения может быть передано от одного объекта к другому и запечатлено в его структуре. Отсюда количество информации в зависимости от уровня процесса отражения связывается с мерами упорядоченности, организованности, структурности, смежности материальных объектов, процессов и систем в их взаимодействии между собой. Вне процессов взаимодействия количественная оценка этого свойства невозможна, поскольку многообразие состояний любого материального объекта, рассматриваемого как отдельно взятый источник информации, принципиально неограничено (особенно если иметь в виду переход от макросостояний к микроструктуре). Конечно, на современном этапе развития наших представлений о свойствах микромира предел различимости микросостояний объекта или физического переносчика сообщений устанавливается принципом неопределённости Вернера Гейзенберга (1901-1976).

Определяя роль и место информации в системе диалектико-материалистических взглядов, надо иметь в виду, что информационные процессы материальны постольку, поскольку всегда воплощены в том или ином материальном процессе взаимодействия, даже если это обмен идеями между людьми. Основные виды и функции информации классифицируются по различным признакам: 1) по видам отражения; 2) по классам разнообразия; 3) по видам отражения и по классам разнообразия одновременно. Выделяется информация: субъективная (актуальная) и объективная (потенциальная); в неживой, живой природе и обществе.

П.1.4. Специфика живой природы

В живой природе существуют внутри-организменные и надорганизменные биосистемы. К первым относятся молекулы ДНК и РНК (как носители наследственности), комплексы белковых молекул, клетки, ткани, органы, функциональные системы и организм в целом. **Базовым элементом в организме являются функциональные системы** (нервная, кровеносная, пищеварительная и др.). К надорганизменным системам относятся: семейства организмов, колонии, различные популяции — виды, биоценозы, географические ландшафты и вся биосфера. Здесь в качестве **базового элемента** выступает **особь**. Сегодня отсутствуют строго научные логически обоснованные формулировки понятия «жизнь», подкреплённые экспериментально критерияльно-тестовым аппаратом различения живых объектов от неживых, разумных от неразумных. Этот пробел на уровне философской категории особенно остро ощущается в последнее

время. Речь идёт о двух важнейших проблемах, решением которых занимается космонавтика: 1) поиск «любой жизни» на различных объектах Солнечной системы; 2) поиск внеземных цивилизаций (ВЗЦ), других форм разума. Конечно, самыми сложными (среди известных) в природе объектами являются живые организмы. Как будет показано ниже (см. рис.П.3.2), представитель живой природы (человек) отличается от шахматного компьютера тем, что он вырабатывает «внутренний» мотив и цель деятельности. Компьютер осуществляет функционирование исключительно на основе мотива и цели внешнего хозяина (человека) [1, 3, 8, 10, 16, 24, 53]. Поэтому для инженеров, работающих со сложными объектами и интересующихся системами, важное значение имеют мнения медиков и биологов.

Анохин П.К.: «... поиски субстрата жизни должны быть расширены поисками той формы устойчивого результата, который, став своеобразным фокусом, стал бы обрестать всё более и более новыми компонентами, усовершенствующимися или уничтожающимися уже созданные ранее устойчивые системы. Первичной могла быть только какая-то стабильная система процессов, для которой вначале единственно полезным результатом, очевидно была сама её устойчивость» (1968, [Гл.1*10]).

Дубинин Н.П.: «...Исходным актом происхождения жизни как качественно нового явления не могло служить исходное появление только белков или только нуклеиновых кислот, необходимо было появление структурированной системы, функционирующей при взаимодействии специфических веществ, энергии и генетической информации» (1979, [24]).

Судаков К.В.: «...система существует как возможная первоначальная форма жизни. Однако предпосылки системных организаций безусловно есть уже и в неживой природе. По-видимому, можно считать упорядоченную относительно устойчивую организацию неорганического мира на Земле объективно существующей системой. Живые существа в процессе их эволюции вписались в относительно устойчивые системы неорганического мира на Земле и отразили принципы системной организации неорганического мира и межпланетарных взаимодействий в своей организации». (1985, [Гл.1*142]).

В этих цитатах ещё в неявном виде, но уже вырисовывается **основное предназначение живой природы**: обеспечивать, вырабатывая новую информацию, устойчивость и снижать количество энтропии во Вселенной.

Важен принцип дополнительности построения живых объектов. Так, в молекулярной биологии гена главным свойством является **комплементарность** (взаимное соответствие, обеспечивающее связь дополняющих друг друга структур: макромолекул, молекул, радикалов и определяемое их химическими свойствами). Она возможна, если поверхности молекул имеют комплементарные структуры, так что выступающая группа (или положительный заряд) на одной поверхности соответствует полости (или отрицательному заряду) на другой. Иными словами, взаимодействующие молекулы должны подходить друг к другу, как ключ к замку. Комплементарность цепей нуклеиновых кислот основана на взаимодействии входящих в их состав азотистых оснований. Только при расположении аденина в одной цепи против тимина (или урацила) в другой, а гуанина — против цитозина, в

этих цепях между основаниями возникают водородные связи. Комплементарность, по-видимому, единственный и универсальный химический механизм матричного хранения и передачи генетической информации [98].

Комплементарность на низшем уровне свойств, внесённая в своё время в технологию (например, в виде шаблонно-плазового метода) позволила обеспечить взаимозаменяемость деталей и агрегатов техники. Это дало возможность организовать крупносерийное производство самолётов. Сегодня на более высоком уровне — это программное обеспечение взаимосоответствия различных ЭВМ, объединяемых в сеть.

В чём же заключается основная особенность «живой природы», определяющая её специфику и отличие от «неживой природы»? Для сравнения удобно выбрать два объекта узкой специализации, демонстрация возможностей которых общепризнана: шахматиста-человека (ШЧ) и шахматиста-компьютера (ШК). На этом примере выпукло видны принципиальные отличия между ними. Так, ШЧ функционально (в упрощённом варианте) осуществляет следующее.

1. Обработывая информацию из внешнего мира, принимает решения в каких турнирах и матчах ему играть; при этом учитываются: а) собственные дальние и ближние цели (увеличение рейтинга ЭЛО, получение престижных чемпионских титулов, повышение спортивных квалификационных разрядов и званий, патриотические намерения, материальные выгоды и т. п.); б) оценка относительной силы возможных противников; в) оценка собственных возможностей и реальной спортив-

ной формы; г) прогноз результата и сравнение его с поставленными целями; д) финансовые, бытовые, визовые и иные возможности участия в соревнованиях, а также анализируются другие прямые и побочные факторы; е) на основе системного анализа всего перечисленного определяется план участия в соревнованиях.

2. Приняв решение, ШЧ готовится: а) формирует свою команду (тренер, психолог, врач, помощники и т.п.) и ставит перед всеми задачи; б) всесторонне анализируются противники со спортивной и с психолого-физиологической сторон; в) готовится «шахматный репертуар» (включая домашние заготовки) к конкретным партиям; г) проводится системная подготовка во вспомогательных и обеспечивающих направлениях (финансирование, организация тренировочных сборов, пресса и т.п.); д) составляет программу деятельности всей команды.

3. В процессе соревнований проводится адаптация и корректировка программы действий: а) анализируются ошибки (свой и противников), корректируется стратегический и тактический репертуар; б) меняются (или подтверждаются) конкретные цели данных соревнований; в) проводится психологическая работа с партнёрами по турниру, тренерами, судьями, журналистами и т.п.; г) осуществляется сбор и предварительная обработка информации в интересах последующих соревнований.

Существенные отличия ШК от ШЧ заключаются в следующем.

4. Машина не имеет мотивации, поэтому пункты 1а, 1г, 1д, 1е для неё формирует «Хозяин», который ставит машину «работать» в инте-

ресах его целей и составляет для ШК план участия в соревнованиях.

5. «Хозяин» набирают особую команду для подготовки машины к соревнованиям, в которую входят инженеры, математики-программисты, шахматисты: а) разрабатывается тематическое обеспечение и создаётся библиотека программ; б) команда, выполняя пункты 2б, 2в, переводит информацию на машинный язык; в) формируется база данных; г) отрабатывается схема взаимодействия членов команды с машиной во время соревнований.

6. Силами команды проводится работа по пунктам 3а-3г.

Итак, налицо две принципиально различные системы: 1) игрок + команда его обслуживающая; 2) компьютер + команда его обслуживающая + хозяин.

Сегодня интуитивно принято называть живым организмом объект, который может размножаться, передавая накопленную предыдущими поколениями информацию с помощью генетического механизма.

Под цивилизацией (обществом или «системой разумной») понимаются обычно такие совокупности объектов, которые владеют механизмом передачи информации будущим поколениям с помощью внешнего носителя, создаваемого специализированной технической искусственной системой.

Общество и организм имеют важную общую черту: внутреннюю мотивацию и целеполагание. Это составляет благодатную почву для социологии и психологии, поскольку обнаруживается большое разнообразие взаимосвязей мотивов и целей. Мотивы могут быть разные.

Например, первым советским чемпионом мира по шахматам Ботвин-

ником М.М. двигало благородное тщеславие и высокое чувство патриотизма, любовь к Родине. ... А вот как оценивал [«Известия», 1997, № 83] одного из своих учеников Ботвинник М.М.: «...Вы видели, как Каспаров компьютеру проиграл? Бесцветная партия! Компьютер играл бесцветно, Каспаров играл просто жутко. Но я это ещё перед матчем в Лондоне (с А. Карповым в 1986 г. - Прим. ред.) понял, когда мама (Каспарова К.Ш. Прим. ред.) со мной говорила, что деньги для них всё».

Легко можно сравнивать мотивы спортсменов или военных из одной страны. Так, генерал Власов [«Российская газета», 1997, № 89] «...по-

терял армию, сдался в плен. Надев чужой мундир, начал служить врагам. Сколотил «Русскую освободительную армию», пролившую много русской крови. Был разбит, пойман, осуждён, расстрелян. Закономерный финал предателя». Прямая противоположность ему четырежды Герой Советского Союза дважды награждённый орденом «Победа» маршал Жуков Г.К.

Гораздо сложнее оценивать мотивы граждан разных стран из-за существенного влияния установившихся в них заметно отличающихся норм морали и нравственности, самого образа жизни. Мотивы людей разных профессий тоже трудно сравнимы.

П.2. СПЕЦИФИКА СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

П.2.1. Основы методологии

Рассматривая методологию **системных исследований**, необходимо представить учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности применительно к сложным объектам, а также инструмент методологии. Все знания, являясь основополагающим средством человеческой деятельности, стали формой осознания, обучения, рационализации её и выступают в виде: 1) предписаний и норм (**нормативная методология**); 2) описаний фактически выполненной деятельности (**дискриптивная методология**). В обоих случаях основной функцией этого знания является внутренняя организация и регулирование процесса познания или практического преобразования какого-то объекта. Методологический подход обязывает обосновывать чёткую постановку задачи исследования, т.е. устанавливать: объект, предмет, цели и задачи решения исследовательской проблемы, методический инструмент и другие исследовательские средства, последовательность решения задачи, способ проверки результата. Такой подход опирается на философский метод диалектического материализма.

Родоначальником методологического подхода в науке признан англичанин Френсис Бэкон (1561-1626). В своем труде «Новый органон» (1620) он разработал логический **индуктивный метод**, опирающийся на опыт: «...индукция, анализ, сравнение, наблюдение, эксперимент суть главные условия рационального метода...». С его

помощью осуществляется переход от частного к общему, от эксперимента к теории. Его современник француз Рене Декарт (1596-1650) обосновал логический метод дедукции в книге «Рассуждения о методе» (1637), который позволяет осуществлять переход от общего к частному. Оба метода зародились еще в Древней Греции, а Бэкон и Декарт лишь развили их применительно к естественным наукам. Тем самым они положили начало (пока стихийному) внедрению методологии в научные исследования. Методологический подход современного уровня в науке приобрёл соответствующий статус совсем недавно [13, 21, 91 и др.].

До сих пор речь шла о реально существующих объектах материального мира — вещах. Но в принципе в качестве элементов системы могут выступать придуманные человеком абстрактные (идеальные) объекты. Всем знакома такая, например, явно системная иерархия: буква, слово, предложение, четверостишие, стихотворение, поэма, книга, библиотека. И хотя произнесенное «слово» материализовано в форме акустического поля, а написанное можно даже «потрогать пальцами», что делают с 1837 года, скажем, слепые, используя рельефно-точечный шрифт Луи Брайля (1809-1852), однако ясно, что в языковых системах элементами являются придуманные человеком знаки (символы). Если математика и музыка используют интернациональные знаки, то мышление, письменность и речь передаются у разных народов разными звуками и буквами, иероглифами, морским семафором, азбукой Морзе и т.п. Реально существующие в природе объекты, наблюдаемые человеком непосредственно или с помощью инструментов, описываются и передаются в различных языковых

алфавитах разным образом. В этой многовариантности «языковой» передачи сведений одна из трудностей системного освоения научных знаний. Язык математики позволил в интернациональной форме количественно описать унифицированные модели многих физических процессов, рассчитывать характеристики ЛА, различных сложных технических систем. С таким же успехом другие разновидности языковых форм (нотная грамота, шахматная нотация, средства искусства) могут (и успешно делают это) описывать придуманные человеком объекты.

Из существования двух миров (материального и идеального) возникает проблема коренного вопроса методологии, выявляющего соотношения между реальным объектом материального мира и его образом (моделью), придуманным человеком и описанным с помощью абстрактных средств. Хотя многие идеальные объекты (например, геологические) даже не имеют аналогов в природе, но всегда следует помнить, что основой абстрактной (субъективной) логики мышления является всё-таки объективная логика вещей.

Однако человек не только сам придумывает идеальные объекты, но сам их и «овеществляет», воплощая идеи в материальные объекты (самолет, ракета и т.п.). Разрабатывая *материальные технические объекты* (деталь, узел, агрегат, изделие), инженеры работают с *идеальными объектами* (чертеж, таблица, модель, формула, проект,...), придуманными ими образами. Более того, технический объект прежде, чем стать материальным должен пройти долгий путь в идеальной сфере, начиная с задумки проектанта и конструктора, которая в принципе может остаться на бумаге, не материализовавшись никогда (так часто и бывает).

Из единства всего мира, расчлененного на различные области, вытекает единство наук, изучающих каждую из областей в отдельности. «Законы внешнего мира, природы, подразделяемые на механические и химические (это очень важно), суть основы целесообразной деятельности человека. Человек в своей практической деятельности имеет перед собой объективный мир, зависит от него, им определяет свою деятельность... На деле цели человека порождены объективным миром и предполагают его, находят его как данное, наличное» [40].

П.2.2. Системность Вселенной и её объектов

Раздел системной методологии (системологии) содержит комплекс понятий и концепций, используемых для анализа и обработки данных, связанных со структурой, процессами, управлением и поведением сложных систем, и включающих категории, относящиеся к системному подходу и системным исследованиям, к системному анализу и системотехнике, к теории иерархических систем и общей теории систем [Гл.2*15, 21, 24, 42 и др.]. Рассматривая отдельные составляющие системной методологии, для того, чтобы не допускать методологических ошибок в системных исследованиях необходимо остановиться на коренных предпосылках СП и моментах, обычно не упоминаемых, но предполагаемых.

Во-первых, надо иметь в виду, что в природе не существует, например, «дерево». Имеются конкретные «берёза», «вяз», «яблоня» и т.п., а обобщённое понятие «дерево» введено в язык для удобства абстрагирования и моделирования. Точно также ни в материаль-

ном, ни в идеальном мире нет систем, а существуют лишь вещи и образы (модели), имеющие свои частные или обобщающие названия: Солнце, Луна, огонь, вода, дерево, золото, Земля, дом, самолёт, аэродром и т.п. «Система» такое же искусственное понятие, как «интеграл» или «плюс». Таким образом, для методического удобства анализа природных явлений или синтеза создаваемых человеком искусственных технических объектов введено понятие «СИСТЕМА». Об этом всегда необходимо помнить, иначе можно получать абсурдные результаты. Сильная условность «СИСТЕМЫ» происходит из-за того, что **ВСЕЛЕННАЯ** **едина и неделима**. Собственно говоря, это и есть **единственная СИСТЕМА**, а всё остальное лишь её части—подсистемы. Из неё нельзя, скажем вырвать Землю и рассматривать процессы, на ней происходящие, полностью автономно. Однако часто так именно и делается. Об ошибочности такого подхода писал ещё Чижевский А.Л. (1897-1964), основавший гелиобиологию. Нельзя запускать ракету без учёта влияния на её траекторию самых разных возмущений. Нельзя обособить человека, выделив его из общества, и изучать его функциональные системы. Как только мы его таким образом вычленим, сразу превращаем его в Маугли. Но поскольку окружающий нас мир, даже в видимой его части слишком велик для охвата целиком, поэтому приходится изучать маленькие его части. По этому принципу работают все науки. Они рассматривают один или несколько взаимосвязанных объектов, условно «вырвав» их из окружающего мира. При этом объект изучается с одной или, как правило, с нескольких предметных позиций. Даже астроном, когда наблюдает гигантскую галактику,

и тогда он условно абстрагируется только на ней. Такую операцию «вычленение объекта», разумеется, необходимо осуществлять с учетом оставшейся части, которая в этом случае называется «внешняя среда». С этой целью исследователь должен некоторые моменты взаимодействия объектов, оказавшихся внутри «вырезанной части мира», соединить с теми, что остались за бортом. Для этого на границе раздела вводятся «входы» и «выходы». Кроме того, необходимо учитывать и взаимовлияние друг на друга объектов внутри вырванной части. Выше сказанное позволяет дать следующее определение:

СИСТЕМОЙ называется условно отграниченная от внешней среды совокупность взаимосвязанных объектов (элементов).

На рис.П.2.1 представлена схема формирования образа системы [Гл.2*63]. Для того, чтобы построить систему вначале следует определить свойства и функции исследуемого объекта или назначение, задачи и средства проектируемого. После этого необходимо чётко установить его границы (рис.П.2.1а), реализовав упоминаемое в определении свойство отграниченности от внешней среды. Затем выделяется (рис.П.2.1б) совокупность элементов внутри объекта: $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \mathcal{E}_4$, особое внимание следует обратить на выбор главенствующего **базового элемента** \mathcal{E}_5 . Для внутренней целостности требуется установить основные связи между элементами (рис.П.2.1в), определяющие их взаимодействие и имеющие различный характер: механические соединения, управленческие, транспортные каналы с потоками массы (m), энергии (E) и информации (I) и др. Функционирование системы

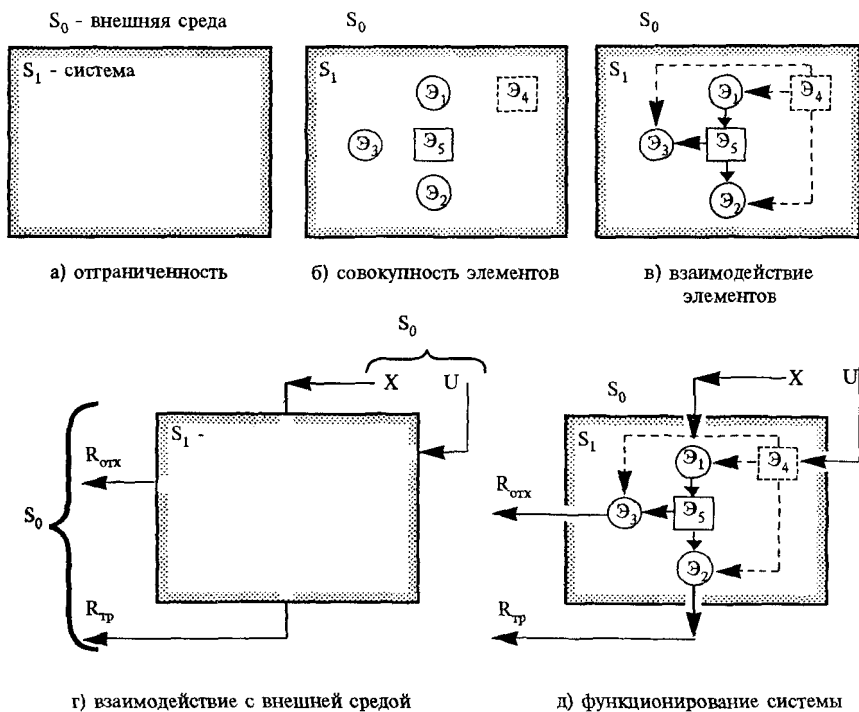


Рис. П.2.1. Схематическое формирование внутренних связей между элементами в сложной системе и связей с внешней средой

должно обеспечиваться потоками не только внутри неё, но и обменами с внешней средой (рис.П.2.1г), т.е. надо одновременно учитывать поступление ресурсов (X), а также удаление отходов ($R_{отх}$). Наконец, БТС предназначена для выработки какой-то требуемой продукции ($R_{тр}$), которая есть результат управляющих действий (U) Заказчика, расположенного во внешней среде. Объединение перечисленных операций и даёт схему

функционирования системного объекта (рис.П.2.1д).

Из этой схемы легко видно назначение выделенных элементов (технических комплексов) сложной системы (рис.П.2.1):

\mathcal{E}_5 — перерабатывает материю (m, E, I);

$\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ — транспортирует ресурсы, требуемую продукцию и отходы; \mathcal{E}_4 — управляет процессами функционирования в системе.

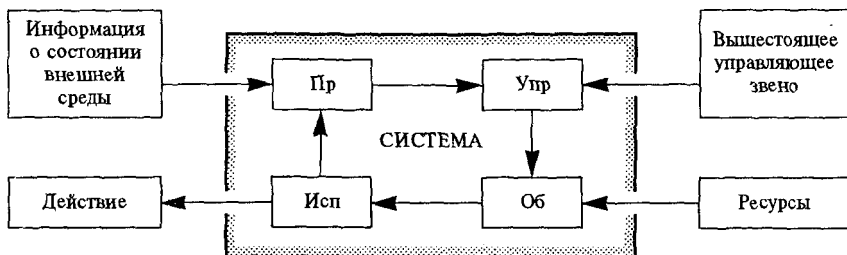


Рис. П.2.2. Общая схема простейшей системы

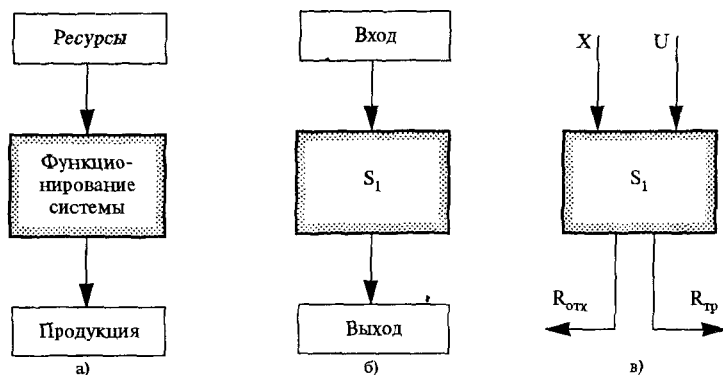


Рис. П.2.3. Кибернетическое представление связей системы с внешней средой

Это минимальный набор элементов для любой сложной системы. Конечно, возможны иные подходы к декомпозиции сложной системы на комплексы и подсистемы, элементы и компоненты. Между разными вариантами декомпозиции обычно можно установить некоторое взаимосоответствие. Например, в схеме, названной автором [Гл.1*135] «простейшей системой», были выделены следующие компоненты (рис.П.2.2):

- 1) исполнительный (Исп),
- 2) обеспечивающий (Об).

- 3) управляющий (Упр),
- 4) прогнозирующий (Пр).

В такой «простейшей системе» указано пять типовых процессов [Гл.1*135]:

- 1) воздействие на внешнюю среду осуществляет компонент (Исп);
- 2) ресурсами систему обеспечивает (Об);
- 3) управление в системе осуществляет (Упр);
- 4) информационное обеспечение и прогноз осуществляет (Пр);
- 5) специфический процесс целеполагание.

Рассматривая такую «простейшую систему» в сравнении со «сложной системой», представленной на рис. П.2.1, отметим между ними определённые взаимосоответствия и различия. В «простейшей системе»:

а) перерабатывающий комплекс назван (Исп);

б) управляющий комплекс разделён на два компонента (Упр) и (Пр);

в) существует только один транспортный комплекс (Об) ресурсов.

Принципиальное отличие в том, что целеполагание в «сложной системе» выведено за её пределы, а в «простейшей системе» оно включено в состав типовых функций без указания компонента, который этим занимается.

Если рассматривать систему с кибернетической точки зрения, то она представляет «чёрный ящик», а её связи с внешней средой и процесс функционирования схематически показаны на рис. П.2.3.

Итак, методический приём выделения некоторой совокупности объектов в качестве автономной системы и замена всего остального на «входы-выходы» внешней среды является лишь способом упрощения задачи до такой степени, которая позволяет нам её решать имеющимися средствами. Этот приём повторяется неоднократно, когда элемент также дробится и предстаёт в качестве системы по отношению к нижестоящим объектам. Выстраивается иерархия систем. Чёткое понимание условности системного метода ничуть не принижает его достижений и будущих успехов, но позволяет открытыми глазами смотреть на получаемые собственные или чужие выводы и результаты. После такого предостережения можно вполне осознанно воспринимать мнение, что системность — качество, свойство объективного мира. Оно

отнюдь не зависит от того, что человек думает о системности. И наши системные представления — лишь отражения системности объективного мира. От объективно существующих систем к понятию; затем от этого понятия, используемого как инструмент, к познанию системы — и снова к реальным системам, знания о которых обогатилось нашими системными представлениями — такова диалектика объективного и субъективного в системе. Системы не только многообразны, они не только существуют в объективном мире, но имеют место в мышлении, не только предстают перед человеком, так сказать в голом виде, даны природой, обществом, но и конструируются, создаются людьми, могут быть и актуальными, и концептуальными [Гл.2*2,6].

В разных работах предлагаются самые различные определения системы. Автор настоящего исследования полностью солидарен с постановкой Рапопорта А.: «... вопрос: «Что такое система?» может быть только вопросом о том: «Что мы будем называть системой?». То есть выбранный термин «система» существенно зависит от объекта и субъекта, предмета, целей и методов исследования. Обширный класс определений этого термина подробно проанализирован Садовским В.Н. и Уёмовым А.И. [67].

Попытка дать универсальное понятие системы, сделана в [87], где предлагается следующая трактовка: «Система есть множество упорядоченных и связанных между собой элементов, обладающих единством, которое проявляется в общей для всего множества функции, в относительной автономности его поведения». Поскольку здесь речь идёт о функции, то такое определение подходит лишь для сложно организованных объектов. С этим в прин-

ципе можно смириться, но далее авторы разъясняют, что элементами систем могут быть: *вещи, свойства*, внутренние и внешние *связи, отношения, состояния; этапы*, циклы и *состояния* как элементы того или иного процесса функционирования или генезиса. Указывается, что эти виды элементов находятся в соответствующих системообразующих связях и отношениях. Подобная размытость «элемента» приводит, безусловно, к путанице. Хотя, как видно из анализа литературы, она является распространённой среди ряда философов и инженеров.

Таким образом, из методического характера приёма выделения совокупности объектов в качестве системы следует невозможность формализовать системный анализ (поручить его ЭВМ), потому что границы «вырванного» из Вселенной объекта зависят от вкуса, опыта и преследуемых целей человека. Они ведь различны (так часто и бывает) для разных людей, даже для одного человека в разное время и в различных условиях формирования системного объекта зачастую приводит к разным результатам. Представление интересующего нас объекта в виде системы и есть сущность системного подхода.

С позиций материалистической диалектики обычно проводят анализ взаимосвязи функции и структуры как взаимосвязи содержания и формы, подчёркивая, что «чем сложнее объект, тем в большей степени его свойства определяются особенностями функционально-структурной организации». Любая функция объекта-системы и составляющих его элементов подчинены цели функционирования. Однако цель осуществляется только, тогда, когда имеются объективные возможности для её реализации, а эти возможности определяются структурой системы, харак-

теристиками её элементов и внешней средой, с которой система находится в непрерывном вещественном, энергетическом и информационном обмене.

Нужно отметить, что функции «привязаны» к подсистемам и элементам и осуществляются в рамках присущей системе структуры, внутренней организации. Поэтому изменения в природе элементов, в характере их взаимодействия (то есть в структуре) с необходимостью вызывают соответствующие изменения в функциях как самих элементов, так и системы в целом.

Специфика структуры зависит прежде всего от природы базового элемента системы. Одно дело — взаимодействие, связи элементарных частиц в атоме, другое дело — связь органов и тканей живого организма. И уже совсем иное дело — взаимодействие, отношения людей, вещей, процессов и идей в производстве. Вместе с тем, вытекающая из природы элементов, структура играет особую роль в системе: связывает элементы, преобразует их, придавая им некую общность, целостность. Особенно большое значение для сохранения системы имеет *относительная самостоятельность, устойчивость структуры*. Наличие структуры — условие накопления количественных изменений внутри системы, являющихся необходимой предпосылкой для её последующего развития, преобразования. В становлении и развитии систем всегда имеет место преемственность. Необходимо, раскрывая *динамику системы*, отыскивать среди многообразия её элементов базовые, которые прогрессивны, постоянно растут и развиваются. Именно им принадлежит будущее.

Сложная система, особенно в обществе, изменчива, активна, деятельна, что проявляется в *функциях как самой системы в целом, так и отдельных её*

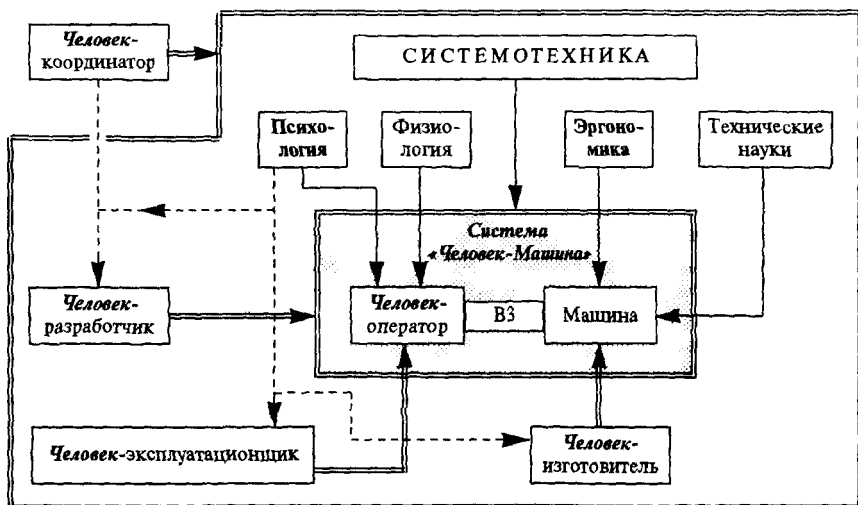


Рис. П.2.4. Роль и место различных наук в реализации жизненного цикла человеко-машинной системы (ВЗ - взаимодействие)

элементов, поскольку функции «суть сменяющие друг друга способы жизнедеятельности». Определенные функции выполняет живой организм; главные из них — обмен веществ с окружающей средой, самовоспроизведение. Органам и тканям животного присущи свои, специфические функции — кровообращение, дыхание, пищеварение и т.д. Важно отметить, что функции элементов, интегрируемые в целевую функцию организма, способствуют поддержанию его жизнедеятельности в целом.

П.2.3. Системность общества

В обществе также, как и среди объектов в живой природе, существует большое количество типов взаимопересекающихся объектов: человек, семья, различные коллективы (производственные, учебные, научные, спортивные и

др.), объединения и организации, партии, классы, нации, государства, государственные союзы и общество в целом [11, 12, 17, 21, 96 и др.].

Всякая целостная система обладает определенным набором элементов. Атом, к примеру, состоит из ядра и электронной оболочки. Живой организм, будь то растение или животное, образован из клеток, тканей и органов. Сложнее дело обстоит с обществом. Вещественные компоненты общественной системы — это средства производства и предметы потребления. Духовные компоненты — это общественные идеи, принципы, нормы и правила поведения людей. Обществу присущи и процессы: экономические, социально-политические и духовные. Характерно, что вещественные и духовные компоненты, объединенные процессуальными структурами, в обществе немислимы без человека, который осуществляет

индивидуальную связь со Вселенной через собственные мироощущения. Человек изготавливает средства производства и использует предметы потребления. Человек формирует идеи, создает духовные ценности, которыми определяют его мировоззрение, ими он руководствуется в труде и жизни. Современные транспорт, энергетика и промышленность созданы за исторически короткий период. Действительно, с момента изобретения и строительства (1763-65) Ползуновым И.И. (1728-66) паросиловой заводской установки и универсальной паровой машины (1774-84) Уаттом Дж. (1736-1819) прошло чуть более двухсот лет. Именно в результате продуктивной деятельности общества появились сложные искусственные системы (БТС, БПТС, БОЭС), которые выбраны основным объектом данного тома энциклопедии.

Из сказанного следует, что **базовым элементом социальной системы** выступает человек как общественное существо (рис.П.2.4).

П.2.4. Метод моделирования сложных систем

Модели выступают своеобразной формой абстрагирования и обобщения действительности. Они позволяют исследовать структуру объекта, его связи и функционирование, устанавливая функциональные количественные зависимости между переменными факторами изучаемых процессов. Под **моделью** понимается реальная или мысленная конструкция какого-либо объекта, процесса или явления. Она призвана отражать наиболее существенные и характерные черты рассматриваемой системы. Правильно постро-

енная модель позволяет проводить необходимые расчёты технико-экономических показателей, делать конкретные выводы об основных свойствах, структуре и важнейших закономерностях процесса создания и использования БТС. Однако при этом требуется участие специалистов по конкретным объектам, рассматриваемым в качестве систем. Это позволяет учесть специфику исследуемой системы и особенности изучаемых вопросов, выделить основные моменты, пренебречь многими несущественными для поставленных целей факторами. Только такое целенаправленное совместное исследование приводит к практическим результатам. Именно модель является тем универсальным инструментом, который широко применяется в СИ. Используя этот инструмент, следует осознавать возможности и границы его применения.

Метод моделирования в нынешнем прикладном смысле начал использоваться в 18-19 вв. Однако только в 3-ем издании БСЭ [13, том 16, 1974] появляется современное понятие: «Моделирование — исследование объектов познания на их моделях; построение и изучение моделей реально существующих предметов и явлений (живых и неживых с-м, инж. конструкций, разнообразных процессов — физ., хим., биол., социальных) и конструируемых объектов...» Рассматриваются предметное, физическое и знаковое моделирование. В последнем в качестве важнейшего вида выделяется математическое моделирование. В рамках теории моделей упоминаются модели в биологии, экономике, языкознании. Моделирование тесно связывается с экспериментом и применением ЭВМ. Отмечается интенсивное развитие теории больших систем как

общей теории построения моделей сложных динамических систем живой природы, техники и социально-экономической сферы.

В Философском энциклопедическом словаре [94] модель выступает аналогом определённого фрагмента природной или социальной реальности, являясь порождением человеческой культуры. Этот аналог служит для хранения знания (информации) об оригинале, для конструирования оригинала, преобразования или управления им.

С общих позиций модели научного знания и их интерпретации должны быть независимы от соответствующих философских представлений, но степень независимости каждой конкретной модели может быть существенно различной. Для моделей ключевым вопросом является определение областей и условий их применения. Нужно располагать пониманием моделируемой природы и форм человеческого знания о ней.

Таким образом, модель, как инструмент в руках исследователя, должна отражать характерные свойства объекта, процесса или условий протекания в некоторой идеализированной форме. Она есть намеренно упрощённая схема частички реальной жизни, с помощью которой надеются получить рекомендации по разрешению возникающих проблем.

Ясность концепции, дальновидность, возможность учёта разнохарактерных факторов, зависимость от располагаемых возможностей, математическая доказательность, конкретность делают модели незаменимым инструментом познания для любого руководителя. Они позволяют формировать у него собственную философскую концепцию построения и управления сложной системой (техническими средствами и

коллективом), а также согласования внешних взаимодействий со смежными (верхний и нижний) иерархическими уровнями. С гносеологической точки зрения модель является «представителем» и «заместителем» оригинала в процессах познания и практической деятельности человека. При этом всегда следует помнить, что модель отражает субъективное мироощущение её создателя и пользователя. Её связь с объектом основана на отношениях аналогии и подобия (изоморфизма и гомоморфизма).

Дружинин В.В. и Канторов Д.С., обосновывая физические основы системотехники, обсуждают с этих позиций методологию и способы построения моделей сложных систем. Авторы высказывают позицию по отношению к основным понятиям и определениям моделируемых объектов [Гл.2*25]:

«Будем называть системой объект любой природы, обладающий выраженным системным свойством, которые не имеет ни одна из частей системы при любом способе членения и не выводимым из свойств частей. ...Декомпозиция и композиция, анализ и синтез, познание частей через целое и целого через части выступают в единстве. Главная практическая задача системотехники состоит в том, чтобы, обнаружив и описав сложность, обосновать такие дополнительные физически реализуемые связи, которые бы, будучи наложенными на сложную систему, сделали её управляемой в требуемых пределах, сохранив при этом такие области самостоятельности, которые способствуют повышению эффективности системы. Включённые в гомеостаз новые связи должны усилить благоприятные и ослабить неблагоприятные тенденции поведения системы, сохранив и укрепив её

целенаправленность, но ориентируя её на интересы надсистемы. ...Из всех методологических концепций системно-техническая наиболее близка к «естественному» человеческому мышлению — гибкому, неформальному, разноплановому. Системный подход объединяет естественно-научный метод, основанный на эксперименте, формальном выводе и количественной оценке, с умозрительным методом, опирающимся на образное восприятие окружающего мира и качественный синтез.»

Широкое применение методы моделирования нашли при создании ЛА в различных разделах наук (аэродинамика, динамика полёта, строительная механика, термодинамика, аэроупругость, надёжность, безопасность и др.). Фактически разработка любого чертежа, проведение любого расчёта и любого испытания — есть процесс моделирования, связанный с отображением предполагаемых свойств и событий. Путёвку в жизнь многие самолёты, а затем ракеты и космические аппараты получили, благодаря физическому моделированию и натурным испытаниям, проводимым в ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского (основан в 1918 г.), ЛИИ им. М.М. Громова (1941), ЦНИИМаш (1946), НПО «Техномаш» (1938) и в других известных НИИ.

Когда речь идет об анализе БТС часто применяются методы и модели, разработанные в кибернетике, информатике, экономике. Богатые возможности теоретической и прикладной математики находят прямое или косвенное применение при разработке физических и математических моделей сложных систем.

Существенную роль в применении ЭВМ сыграл Бусленко Н.П., развивший теорию «машинного экспери-

мента». Он под математическим моделированием понимал «...способ исследования различных процессов путём изучения явлений, имеющих различное физическое содержание, но описываемых одинаковыми математическими соотношениями. Математическая модель, описывая формализованный процесс функционирования системы, в состоянии охватить только основные, характерные его закономерности, оставляя в стороне несущественные второстепенные факторы.» [Гл.2*12].

При разработке моделей следует учитывать современный «взрыв информации», означающий, что количество информации, которое приходится перерабатывать человеку, удваивается каждые пять лет. При этом, к примеру, народонаселение Земли удваивается лишь через каждые 25 лет. Здесь уместно отметить мнение английского кибернетика Д. Габора, согласно которому решения нужно принимать так, чтобы оставлять «свободу выбора решения» для тех, кто будет принимать следующее решение в последующий момент времени». С этой позицией мы полностью солидарны. Более того, она нашла строго математическое отражение в работе редактора тома [Гл.2*63] по исследованию БТС, при разработке им системного принципа оптимальности (как развитие принципа Беллмана) и при разработке методологии выбора диаграммных критериев в многоуровневой иерархической системе [49-53 и др.]. Подобная «свобода будущего выбора» является краеугольным моментом для формирования КТР. Такая авторская позиция, разумеется солидарна с фундаментальным «информационным подходом» Ивахненко А.Г. в его теории самоуправления [Гл.2*30], направленной «на всемерное уменьше-

ние объёма априорной информации, которая требуется для синтеза прогнозирующей и управляющей модели. Машина синтезирует модель... по небольшой части переменных и по небольшому числу экспериментальных данных. Она по-прежнему действует по указанию человека, но язык диалога «человек — машина» переходит как бы на более высокий уровень абстракции.»

Известно, что для детерминистического подхода к решению задачи синтеза математических моделей характерно утверждение: «чем сложнее модель — тем она точнее». Добавляя новый структурный элемент в схему модели (новое уравнение в их систему или дополнительное слагаемое в уравнение), всегда стремятся этим повысить точность.

Подобный подход следует признать справедливым как для детерминированных, так и для вероятностных моделей, поскольку оба вида моделей основаны на анализе причин и следствий. Поэлементные уравнения в том и другом случае изобретает человек, поэтому точность связана также с субъективностью выбора и использования исходных данных.

Противоположное утверждение характеризует подход, предложенный Ивахненко: «... существует единственная модель оптимальной сложности, определяемый по принципу самоорганизации.»

Иногда имитационным моделям дают название искусственного интеллекта. Это абсурдная позиция, поскольку модель используется только вместе с разумным человеком, носителем естественного интеллекта. Пока не выяснено, что такое «интеллект» вообще, до тех пор желание инженеров и математиков «возвратить» свой продукт до

природных высот с помощью термина «искусственный интеллект» выглядит явно натужным. Хотя, например, достигнуты значительные успехи в создании «шахматного интеллекта», существующие программы уже «играют» на уровне лучших гроссмейстеров. Среди «шахматистов-системщиков» прежде всего следует назвать чемпионов мира Вильгельма Штейница (1836-1900), Эмануила Ласкера (1868-1941) и Михаила Ботвинника (1911-1995), а также Арона Нимцовича (1886-1935), трудами которых гроссмейстеры и мастера всего мира пользуются, порою и не подозревая о имеющемся в них системном подходе. Совсем как в «Двенадцати стульях»: «...А что такое, товарищи, значит идея? Идея, товарищи, — это человеческая мысль, облечённая в логическую шахматную форму. Даже с ничтожными силами можно овладеть всей доской. Всё зависит от каждого индивидуума в отдельности.» Но ведь тоже самое можно сказать о системной форме представления мыслей. Несмотря на весёлый тон от несостоявшихся Нью-Васюков, обратил внимание на серьёзное богатство идей, далеко выходящих за пределы шахматной доски. Принцип Штейница положен автором в основу формирования концептуальной и информационной модели (рис. П.2.5). Следует отметить особое мироощущение шахматистов, которые постоянно принимают реальные решения в нереляционной имитационной битве.

Ласкер особо подчёркивает универсальность принципа Штейница: «...Мир не понимал, что подарил ему Штейниц, не понимали этого и шахматисты. А мысль эта была поистине революционна... Она [мысль] приложима, конечно, не только к шахматной игре, но и ко всякой деятельности, направленной к достижению определённой цели. Этот

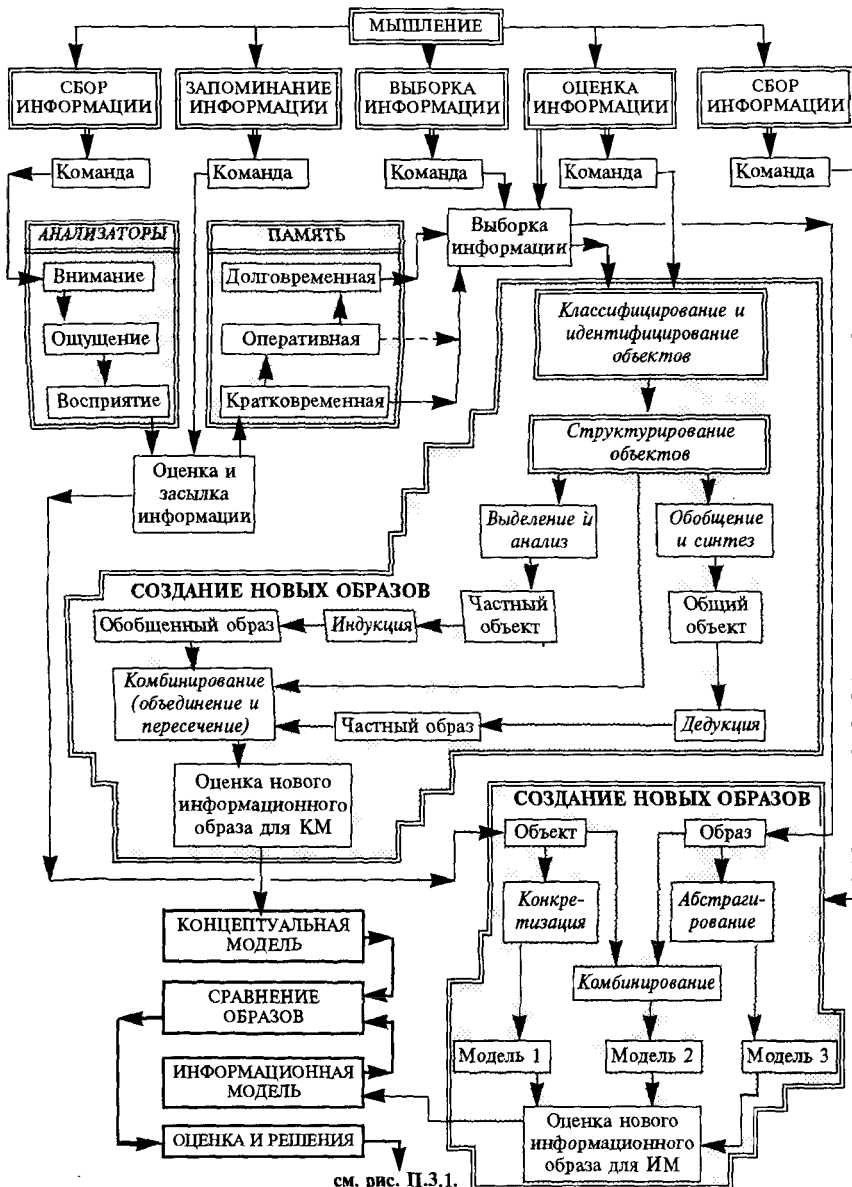


Рис. П.2.5. Схема формирования концептуальной и информационной модели в процессе мыслительной деятельности человека при подготовке решения

основной принцип можно было бы кратко сформулировать следующим образом: план всегда должен основываться на оценке. Оценить — это значит критически обсудить, взвесить.» [34].

Для Ласкера помимо ценности отдельных фигур существует ценность координационного действия их, и в шахматах это очень заметно. Но такой подход часто применяется и при моделировании технических объектов. К сожалению, шахматная игра выявляет принцип Стейница недостаточно выпукло, потому что финал партии имеет всего лишь три варианта: выигрыш, проигрыш, ничья. Несравненно тоньше и глубже проявляется это в жизни с её бесконечными нюансами.

В условиях её современных форм — почти нет объективного критерия для

проверки предварительных оценок, в то время как в шахматах стремятся создать такой критерий, подсчитывая количество выигранных или проигранных партий, устанавливая квалификацию игроков посредством турниров и матчей. Таким образом, шахматы во многих отношениях могут служить объектом для проверки на них путём опыта теории Стейница, ибо в области шахмат применение его теории может претендовать на точность и достигать её. Заметим ещё, что правила, установленные Стейницем, действительно лишь по отношению к безошибочно проведённым партиям; в жизни же мы на каждом шагу должны считаться в возможностью ошибок и заблуждений, как собственных, так и противника.

П.3. ИНФОРМАЦИЯ – ОСОБОЕ СВОЙСТВО СИСТЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

П.3.1. История создания теории информации

Прогрессивное развитие в природе идет от низшего к высшему, при совершенствовании происходит последовательное накопление информации, рост её количества в результате эволюции материи. С развитием разумных существ появились такие свойства информации, как смысл и целевая ценность. Понятие информационной причины развивает понятие целевой причины Аристотеля.

Если не принимать во внимание изобретение письменности, приёмов изобразительного искусства и книгопечатания, то отсчёт начала информатизации человечества можно начинать с изобретения телеграфа, телефона и радиоприёмника. Напомним эти шаги. В 1837 г. Морзе С.Ф.Б. (1791-1872) изобрёл телеграфный аппарат и затем специальную азбуку (1838). Белл А.Г. (1847-1922) в 1876 году получил патент на телефон. Попов А.С. (1859-1906/06) продемонстрировал радиопередачу (7.5.1895). Лауреат Нобелевской премии (1909) Маркони Г. (1874-1937) получил патент (1897) на радиоприёмник. А вскоре начались первые радиовещательные передачи: в СССР (1919), в США (1920), в странах Европы (1922-26).

Начало научно-технической революции можно обозначить десятилетием 1940-1950 гг. В это время нужды военных вызвали всплеск исследований и способствовали становлению генетики, кибернетики, информатики, системотехники. Была осознана необходимость разработки **теории информации** (ТИ), её реализация посредством информатики и практической направ-

ленности на информатизацию науки, техники и других областей жизни. Развитие в 40-х годах общей теории связи, с одной стороны, и вычислительной техники и автоматизации, с другой стороны, создало предпосылки для рассмотрения процессов обработки информации в их единстве и общности. Необходимость такого рассмотрения диктуется потребностью, вытекающей из всего развития техники, и сегодня. Техника нашего времени — и мирная, и военная — характеризуется использованием сложных комплексных объектов, в которых переплетаются многочисленные и разнообразные вещественные, энергетические и информационные потоки, требующие координации, управления и регулирования с быстротой и точностью, не достижимыми для внимания и памяти человека, если он не вооружен автоматическими приборами.

О том, насколько военные системы сложнее трудовых, насколько больше они требуют душевных сил, технической сложности машин и мастерства командиров, писал Богданов А.А. в предисловии ко 2-ой части «Тектологии» (май 1917) [11]: «...Какие задачи ставила война перед вовлечёнными в неё коллективами? Задачи организации и дезорганизации в их неразрывной связи: те задачи, какие должна изучать тектология, и то же их соотношение.

В каком масштабе ставила их война? В масштабе универсальном, в каком ставит их изучение тектология.

Наилучшая координация наличных сил для наибольшего планомерного действия: таков практический вопрос, который решается в любом пункте и в любой момент процесса войны.

...Война суровостью своих требований, жестокостью своей угрозы бытию единиц и коллективов, неуклонно на-

поминает об организационной функции, а тем самым неизбежно побуждает и толкает вперед тектологическое мышление.»

Маршал Жуков Г.К. особо подчеркивал, что в успехе стратегической операции важную роль играют во время и качественно проведенные:

- разведка состояния противника;
- дезинформация о своих планах и положении;
- организационное совершенствование своей системы;
- материально-техническое обеспечение (МТО);
- управление и связь в бою.

Кроме МТО, все остальные процессы являются исключительно информационными. Впрочем и тыловые штабы обрабатывали огромные массивы информации, прежде чем переступить к перевозкам. В частности, Жуков писал [25]: «...При подготовке контрнаступления (под Сталинградом) предстояло провести колоссальные перевозки войск и материально-технических средств для всех фронтов...Надо отдать должное Генеральному штабу и штабу тыла Красной армии. Они блестяще справились с сосредоточением сил и средств для операции.

...Увязывался план взаимодействия авиации и артиллерии и распределялись цели между ними, план и способ взаимодействия с танковыми войсками при прорыве и после входа в этот прорыв. Уточнялись взаимодействия на флангах с соседями, особенно во время ввода в прорыв подвижных войск, и их действия в оперативной глубине обороны противника. ...Вся практическая подготовка контрнаступления проводилась командованием и штабами с исключительной тщательностью и глубокой продуманностью, а в процессе самого контрнаступления

управление войсками во всех звеньях отличалось целеустремленностью, твердостью, умением прдвидеть.»

«...Широкие активные действия на фронте потребовали проведения ряда мер по усовершенствованию организационной структуры войск и их перевооружению новейшей техникой. В Генеральном штабе провели необходимые мероприятия, связанные с дальнейшим улучшением структуры войск Красной Армии, пересматривались и совершенствовались организационные формы фронтов и армий. В их состав дополнительно включались артиллерийские, истребительно-противотанковые и миномётные части. Войска усиливались средствами связи. Стрелковые войска оснащались более совершенным автоматическим, противотанковым вооружением и объединялись в стрелковые корпуса, с тем чтобы улучшить управление в общевойсковых армиях и сделать эти армии более мощными».

«...Для того чтобы разработать план действия войск в районе курского выступа, Ставка и Генштаб должны были организовать тщательную разведку с целью получения сведений о положении войск противника, совершаемых перегруппировках бронетанковых, артиллерийских соединений, бомбардировочной и истребительной авиации и, самое важное, получить данные о намерениях командования войск противника.

...Поистине титаническую работу проедали тылы фронтов, армий и соединений. К сожалению, у нас мало пишут о тылах, работников тыловой службы, которые своим трудом, своей творческой инициативой помогали войскам и командованию всех степеней бороться с противником, громить

его и завершить войну всемирно-исторической победой».

С позиций современной науки эти цитаты можно трактовать как острейшую необходимость организации и управления войсками, что, разумеется, требует оперативной обработки больших массивов информации. Это привело: как известно, к широкому внедрению средств электроники и автоматики, существенно увеличило сложность военной техники. Появились большие технические системы военного назначения.

После окончания Второй Мировой войны в ряде промышленно развитых стран получили поддержку многие направления естественных и технических наук. Толчком для этого послужили проблемы создания новых видов вооружения (см. табл. П.3.1-П.3.3) [29, 38, 41]:

- разработка атомной бомбы,
- создание химического и бактериологического оружия,
- появление ракетного оружия,
- переход авиации на реактивные двигатели,
- создание радиолокационных и других электронных устройств,
- создание электронно-вычислительных машин и др.

Это вызвало быстрое развитие военных ЛА, а увеличение объёмов перевозок грузов и пассажиров, возрастание требований к скорости доставки повлекли интенсивное создание БТС гражданского назначения на базе авиационной техники (см. табл. П.3.4-П.3.9) [43-45]. Сложные системы потребовали автоматизации и информатизации процессов эксплуатации, что положительно сказалось на развитии вычислительной техники и ТИ.

Информатика — дисциплина, изучающая структуру и общие свойства на-

учной информации, а также закономерности её создания, преобразования, передачи и использования в различных сферах человеческой деятельности с применением электронно-вычислительной техники. ТИ занимается общими вопросами передачи, приёма, преобразования и хранения информации. Многие ошибочно считают, что ТИ составная часть кибернетики, однако понятие информации используется не только для управления, применение ТИ гораздо шире. Проникая во многие науки, ТИ часто выступает в качестве методологии. Информатику, ТИ, цели и средства информатизации общества объединяет **информациология** [Гл.2*82]. Информация, являясь свойством материи, существует не только как количественная характеристика материальных объектов. Она вырабатывается в процессе мышления (рис. П.3.1), что не противоречит диалектическому материализму, поскольку сознание — проявление свойств материи. Весьма важной является мотивация сознательной деятельности человека (рис. П.3.2) и её реализация (рис. П.3.3).

В этом плане интерес представляют работы Амосова Н.М. [Гл.2*5]. Он выделяет **внешнюю информацию** — содержание взаимодействия между данным объектом и окружающими; **внутреннюю информацию**, определяемую взаимодействием отдельных внутренних подсистем друг с другом. Познание и мышление рассматриваются им как восприятие, сбор и переработка информации субъектом. Суть гипотезы с информационно точки зрения в том, что по отдельным разрозненным порциям информации, переданной низшими кодами (код разнообразия объекта), находятся вероятные высшие (код отражения, субъективного образа)

Основные события гонки вооружений

Таблица П.3.1

Вид оружия	Год испытаний или развертывания	
	США	СССР
Атомная бомба	1945	1949
Межконтинентальный бомбардировщик	1948	1955
МБ реактивный	1951	1954
Водородная бомба	1952	1953
Межконтинентальная баллистическая ракета	1958	1957
Спутник-шпион с фотоаппаратурой	1960	1962
Атомная подлодка	1960	1964
Твердотопливная МБР	1962	1966
Разделяющиеся головные части	1970	1975

Количество стратегических ядерных боеголовок

Таблица П.3.2

Страна	Год				
	1965	1970	1975	1980	1985
США	5550	7000	8500	10100	11200
СССР	600	1800	2800	6000	9900

Ядерные арсеналы в 1985 году

Таблица П.3.3

Носитель	Количество ракет и бомбардировщиков				Количество боеголовок	
	США	СССР	Англия	Франция	США	СССР
МБР	1023	1398	-	18	2126	6420
БРПЛ	690	967	64	80	5728	2887
Бомбардировщики*	297	300	98	50	3334	600
РСД	236	514	?	?	236	1435
Тактич. оружие	-	-	-	-	9500	8432
Всего**					20924	19774

* Не учтены у США 200 шт. В-52, а для СССР включены самолеты среднего радиуса действия "Бэкфайр" (ТУ-22М/26)

** Сюда не входят 10000 складированных, но не размещенных боеголовок

коды, отражающие сложнейшие связи человека и БТС (рис.П.3.4).

Хотя истоки представлений об информации уходят в глубь веков, но подлинная история ТИ начинается с 1948 г., когда независимо друг от друга Шеннон К.Э., Фишер Р.А., Винер Н. предложили статистическое определение количества информации. С тех

пор развитие теории информации пошло бурными темпами [17, 99]. Особенностью информационных процессов является, во-первых, то, что хотя они и зависят от энергетической стороны взаимодействия, но не определяются ею, т.к. информация не зависит от типа материального носителя. Во-вторых, основная количественная мера

взаимодействия — энтропия источника сообщений — употребляется в том же смысле, как и «мера стоимости» для обозначения одной из функций денег. В этой функции деньги, в отличие от их чувственно воспринимаемой вещественной формы, существуют лишь в идеальной форме. Точно также выражение количества информации в битах в абстрактной схеме связи носит идеальный характер, т.е. осуществляется в нашем представлении, и для этой цели применяется лишь мысленно рассматриваемые двоичные (или любые другие по произвольно выбранному основанию логарифма) единицы информации.

Информация существует постольку, поскольку существуют сами материальные тела и, следовательно, созданные ими неоднородности. Всякая неоднородность несет с собою информацию. Информация может представляться в виде чертежей, рисунков, текста, звуковых и световых сигналов, энергии и нервных импульсов и т.п. По форме представления она может быть непрерывной и дискретной. Передача информации происходит с помощью сигналов какой-либо физической природы, передаваемых по каналам связи от источника к получателю. На её передачу оказывают влияние различные помехи, искажающие информацию и препятствующие её приёму. Совокупность источника информации, передатчика, канала связи, приёмника и получателя называется системой связи.

В теории Шеннона [Гл.2*76] ставилась задача измерения сообщений и сведений, передаваемых по техническим каналам связи, для оценки их пропускной способности и надёжности. Его вероятностно-статистическое

представление количества информации характеризовало лишь часть содержания понятия информации, которая характеризуется вероятностной мерой, неопределенностью.

ТИ используется для измерения сложности, упорядоченности, организованности всех существующих объектов. Формулы для расчета количества энтропии и информации, отличаясь лишь знаком, характеризуют степень неупорядоченности или упорядоченности в материальных системах. Поэтому информацию порой называют негэнтропией. Однако ясно, что термодинамическая энтропия не может выступать в роли такого же общего критерия, как информация. Информационный критерий развития представляется более общим, чем различные вероятностные и термодинамические критерии.

Имеется большое количество работ по информации [см. главы 1 и 2], среди них выделяется фундаментальная монография Урсула А.Д. [Гл.1*151].

В ней рассматривается ряд главных направлений исследования методологических проблем ТИ:

- 1) со стороны всеобщих, универсальных методов;
- 2) в плане общих принципов приложения ТИ в других науках;
- 3) в аспекте общетеоретических вопросов идей самой ТИ;
- 4) философские вопросы ТИ;
- 5) вопросы терминологии, философских категорий и др.

В развитии ТИ важную методологическую роль играют следующие категории философии: необходимость и случайность; конечное и бесконечное; абсолютное и относительное; единичное, особенное и общее; ценность, польза, цель; вероятность, возмож-

Таблица П.3.4

Рост перевозок на первом этапе развития
мировой гражданской авиации

Год	1920	1935	1940	1950	1955	1959
Пассажирооборот, млрд. п-км	0,29	0,975	2,53	28	61	95
Грузооборот, млрд. т-км				3,4	6,8	12

Таблица П.3.5

Рост перевозок на втором этапе развития
мировой гражданской авиации

Год	Общий объем перевозок, млрд. т-км	Пассажиро- оборот, млрд. п-км	Пассажиров, млн. чел.		Грузо- оборот, млрд. т-км	Коэффициент загрузки, %	
			Всего	Межд.		Пассаж.	Груз.
1972	72	560	450	88	15,0	57	52
1975	85	697	534	108	19,4	59	54
1980	131	1089	748	163	29,1	63	58
1982	138	1142	764	170	31,0	64	59
1992	242	1927	1161	300	63,0	65	60

ность и действительность; определенность и неопределенность: симметрия и антисимметрия; система и структура; сложность и организация.

Рассматривая философские вопросы, Урсул А.Д. отмечает [Гл.1*151]: «Отражение — это такое взаимодействие материальных систем (или их частей), которое ведет к установлению определенного тождества между системами (подсистемами), когда содержание одной системы (отражающей) соответствует содержанию другой (отражаемой). В процессе отражения обязательно происходит изменение формы, перекодирование информации. Передача информации от отражаемого к отражающему про-

исходит в форме сигнала, осуществляется лишь при наличии третьего компонента — среды передающей информацию, закодированную в форме сигнала. Сигналов в неживой природе нет они существуют лишь в живой природе, обществе и технике, где информация используется и перерабатывается.»

П.3.2. Космология и информация

На современном этапе развития космология нуждается в проведении фундаментальных экспериментов. Переход астрономии от наблюдательной стадии изучения объектов Вселенной к проведению натуральных экс-

Таблица П.3.6

Динамика показателей отправки грузов и пассажирооборота всеми видами транспорта и темпы роста показателей в СССР по годам

Годы	1917	1940	1950	1960	1970	1980	1985	1990
Отправлено грузов, млрд. т	0,2	1,6	2,8	10,8	18,5	29,6	31,8	33,3
Пассажирооборот, млрд. п-км	23	109	101	255	561	1051	1190	1341
Темпы роста грузоотправления	1	10	19	72	123	197	211	242
Темпы роста пассажирооборота	1	4,7	4,4	11	24	46	51	58
Производство:								
- электроэнергии, млрд. кВт. час	2,2	48,6	91,2	292	741	1294	1544	1726
- стали, млн. т	3,1	18,3	27,3	65,3	116	148	155	154
Численность населения, млн. чел.	163	194,1	178,5	212,4	241,7	264,5	276,3	288,6

Таблица П.3.7

Объем отправлений грузов в СССР всеми видами транспорта общего пользования, млн. т/ грузооборот, млрд. т-км

Годы	Все виды транспорта	В том числе						
		железнодорожный	морской	речной	автомобильный	воздушный	Трубопроводный	
							нефтепровод	газопровод
1940	1579	605	33	74	859	0,06	7,9	-
	494,4	420,7	24,9	36,1	8,9	0,02	3,8	-
1960	10816	1885	76	210	8493	0,70	130	21
	1898,3	1504,3	131,5	99,6	98,5	0,56	51,2	12,6
1970	18522	2896	162	358	14623	1,8	338	143
	3960,6	2494,7	656,1	174,0	220,8	1,88	281,7	1312,4
1980	29626	3728	228	568	24149	3,0	627	323
	6781,1	3439,9	848,2	244,9	432,1	3,09	1216,0	596,9
1985	31819	3951	240	633	25879	3,2	631	482
	7807,8	3718,4	905	261,5	476,4	3,35	1312,5	1130,6
1990	33260	3872	229	669	27263	2,9	611	614
	8322,4	3717,1	944,7	232,5	526,8	3,22	1306,7	1591,4

Таблица П.3.8
 Пассажиروоборот в СССР всех видов транспорта
 общего пользования, млрд. пассажиро-км

Годы	Все виды транспорта	В том числе				
		железнодорожный	морской	речной	автомобильный	воздушный
1940	108,7	100,4	0,9	3,8	3,4	0,2
1960	254,7	176,0	1,3	4,3	61,0	12,1
1970	561,2	273,5	1,6	5,4	202,5	78,5
1980	1051,3	372,2	2,5	6,1	389,8	160,6
1985	1189,6	374,0	2,6	5,9	446,6	188,4
1990	1341,2	417,2	1,9	5,6	480,7	243,8

Таблица П.3.9
 Количество отправленных в СССР пассажиров, млн. чел.

Годы	1940	1960	1980	1985	1990
Воздушный транспорт	0,4	16,0	103,8	112,6	138,0
Железнодорожный, вкл. пригородный	1377	2231	4072	4166	4273
Автобус общего назначения	600	11300	42176	47006	50259
Морской	9,7	26,7	51,7	50,3	45,0

периментов становится возможным благодаря развитию космонавтики. Учитывая актуальность космологических проблем, необходимо их осмысление с системных позиций [33,35,92-95,106,Гл.2*29 и др.]. Пространство и время в абстрактном смысле представляет «место» существования материи. В диалектическом материализме они называются «основными формами всякого бытия, свойствами материи». Они обладают абстрактными свойствами: пространство объективно и безгранично; время объективно, направлено и не имеет начала и конца. Не следует путать начало времени с «космологическим началом Вселенной» (момент Большого Взрыва). Только в инерциальных системах отсчёта пространство однородно и изотропно, а время однородно.

Поведение Вселенной (как изменяющейся единой системы) характеризуется космологическим пространством и временем. Изучение их свойств ведётся на основе теорий Эйнштейна А. и Фридмана А.А. (1888-1925). Имеются три варианта (см. графические схемы на рис.П.3.5) обобщённых фридмановских решений системы уравнений существования Вселенной [92]:

1) $\rho_{\text{факт}} > \rho_{\text{крит}}$ — звёздные скопления замедляют скорость взаимного удаления, гравитационные силы между ними со временем остановят разбегание и заставят сближаться. Пространство безгранично и конечно, время имеет начало ($t_{\text{нач}}$ — Большой Взрыв) и конец ($t_{\text{кон}}$ — Большое Сжатие).

2) $\rho_{\text{факт}} < \rho_{\text{крит}}$ — гравитационные силы не могут остановить разбегание

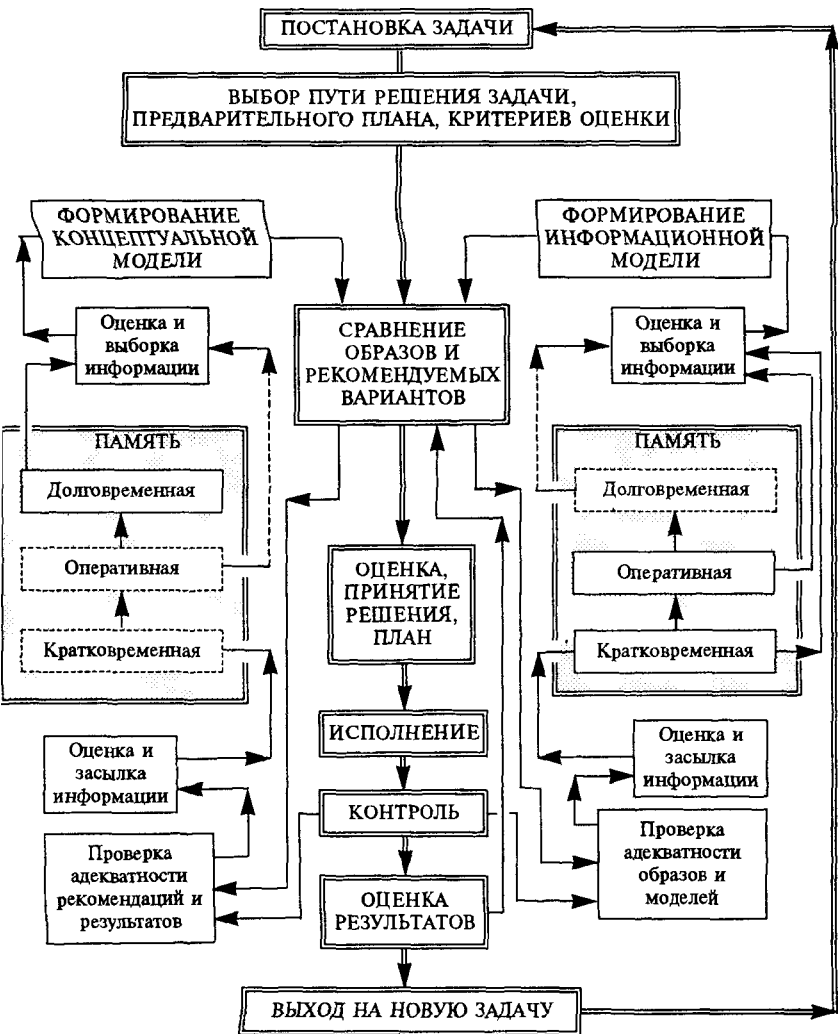


Рис. П.3.1. Схема взаимосвязей психических функций и процессов мыслительной деятельности человека при формировании концептуальной и информационной моделей



Рис. П.3.2. Этапность мотивированных действий



Рис. П.3.3. Основные этапы деятельности оператора

галактик и Вселенная расширяется вечно. Пространство бесконечно, имеется $t_{\text{нач}}$ но нет $t_{\text{кон}}$.

3) $\rho_{\text{факт}} = \rho_{\text{крит}}$ — модель бесконечной плоской Вселенной Эвклида.

Здесь плотность $\rho_{\text{крит}}$ определяется массой всех видов вещества во Вселенной, приходящихся в среднем на единицу объема. Это значение соответствует уравновешиванию кинетической энергии разбегающихся галактик силами тяготения вещества Вселенной, тормозящими это разбегание. Фридман построил (1922) свою космологическую модель нестационарной Вселенной, исходя из релятивистской (неквантовой) теории тяготения и квантовой теории вещества и излучения. Из предположений об однородности и изотропности распределения первичной материи была получена модель расширяющейся Вселенной.

Из анализа приведенных схематических вариантов реализации гипотезы Большого Взрыва можно сделать выводы:

а) существует начало космологического «Пространство—Время»;

б) при $t_{\text{нач}}=0$ радиус Вселенной $R_{\text{Вс}}=0$;

в) плотность равна бесконечности: $\rho(t_{\text{нач}}=0)=\infty$ (сингулярность Большого Взрыва).

Астрофизики и космологи на основе имеющихся в современной физике и астрономии данных о массе и энергии, пролонгируя назад процесс Большого Взрыва, произошедшего около 20 млрд. лет назад, получили характеристики материи для Вселенной, имеющей возраст $t=10^{-43}$ секунды. Полученные приближенные оценки современного состояния дают плотности:

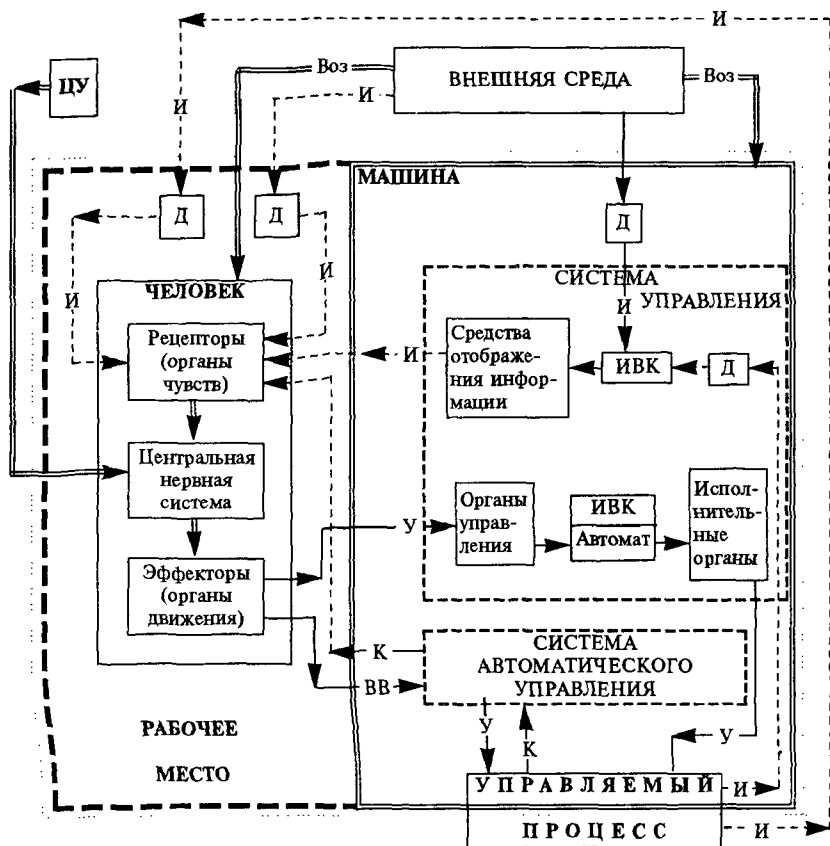


Рис. П.3.4. Информационные взаимосвязи в гибридном комплексе «Целевая установка + Человек-оператор + Машина & Рабочее место + Управляемый комплекс + Внешняя среда»:

- ← - И - - информационные каналы;
- у — управляющие каналы;
- ← - К - - режим «Контроль»;
- ВВ — режим «Включение-выключение»;
- ⇐ Воз = воздействие внешней среды на машину и человека;
- ==== контуры «Машины»;
- - - - контуры «Рабочего места», являющегося частью «Машины»;
- Д - датчики;
- ЦУ - целевая установка;
- ИВК - информационно-вычислительный комплекс.

$\rho_{\text{факт}} = 3 \cdot 10^{-31}$ г/см³ и $\rho_{\text{крит}} = 10^{-29}$ г/см³. Но при этом делается масса экспериментально необоснованных допущений о работоспособности известных современных законов физики при планковских значениях $T_{\text{пл}} = 10^{32}$ ОК и $\rho_{\text{пл}} = 10^{93}$ г/см³. При этом не ясно пока, как учитывать взаимные переходы массы и энергии по формуле Эйнштейна: $E = mc^2$, приводящей к нарушению раздельных законов сохранения массы и энергии. Более сложная картина появляется, если, кроме переходов $m \longleftrightarrow E$, учитывать также и следующие преобразования: $E \longleftrightarrow I$; $m \longleftrightarrow I$. На сегодня имеется аналитическое выражение связи только между массой и энергией. Два последних перехода с участием информации являются гипотетическими и аналитическими зависимостями пока не описаны. Поскольку физика в этом направлении уже себя исчерпала, поэтому дальнейшие поиски надо вести на базе системной методологии и информатологии, подкрепляя экспериментами с помощью космических аппаратов.

Стоит предположить, что происходит возможное уменьшение или увеличение массы вещества во Вселенной, возникающие в результате этих трёх переходов, тогда сразу становится изменчивой фактическая плотность. Более того, возможно изменение по времени и критического параметра плотности. Это порождает новые гипотетические выводы, например, о существовании «дышащей Вселенной». К трём выше упомянутым вариантам фридмановской Вселенной добавятся следующие (см. рис. П.3.4):

4) $(\rho_{\text{крит}})^* = \text{var}(t)$ — Вселенная периодически сжимается до некоторого постоянного радиуса $(R_{\text{Вс}})_{\text{min}} = \text{const}$, а за-

тем расширяется также до граничной величины $(R_{\text{Вс}})_{\text{max}} = \text{const}$;

5) $(\rho_{\text{крит}})^* = \text{var}(t)$, $(R_{\text{Вс}})_{\text{inf}} = \text{var}$ и $(R_{\text{Вс}})_{\text{sup}} = \text{var}$ — Вселенная периодически сжимается и расширяется с варьируемыми диапазонами её радиуса:

$(R_{\text{Вс}})_{\text{inf}} = f_1((\rho_{\text{крит}})^*, t)$ и $(R_{\text{Вс}})_{\text{sup}} = f_2((\rho_{\text{крит}})^*, t)$.

П.3.3. Информационный опыт живой природы

Для перехода на современный уровень разработки новых наукоёмких технологий и проектирования БТС следует максимально использовать «опыт живой природы», накопленный за миллионы лет развития биологических объектов [24, 30, 98, 100 и др.]. Эта потребность объясняется тем, что с усложнением информационного содержания систем увеличивается их стабильность. Человек стремится максимально повысить энергоёмкость технических изделий, но эволюция живой природы шла отнюдь не по пути увеличения энергии в соответствующих системах, а именно по пути увеличения внутреннего разнообразия систем, т.е. по пути информатизации биологических объектов. Здесь интерес представляет ряд вопросов:

- 1) построение структуры,
- 2) установление связей между элементами,
- 3) получение информации из внешней среды,
- 4) контроль за внутренним состоянием объекта,
- 5) управление объектом в изменяющихся условиях и др.

Структура объекта, его состав, взаимосвязи между элементами — главные направления системного проектирования БТС. Многие инженерные задачи в этих направлениях давно ре-

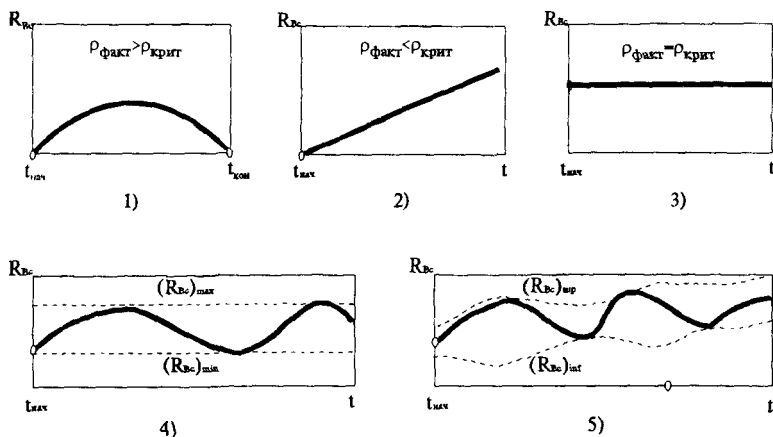


Рис. П.3.5. Варианты изменения нестационарной Вселенной

шены природой, но не всё ещё раскрыто учёными. На вопросы о том, что же такое жизнь и живая материя, наука пока не имеет исчерпывающего ответа. Хотя со времени (1856-63) открытия Грегором Менделем законов биологической дискретной наследственности и обоснования удостоенной Нобелевской премии (1933) хромосомной теории Томаса Моргана (1866-1945), то есть со времён зарождения и становления **генетики**, стало ясно, что разгадка жизни заключена в понимании информационных процессов.

Но ещё раньше Луи Пастер (1822-1895) заложил основы стереохимии (её базой являются информационные процессы), которая исследует пространственную ориентацию молекул и кристаллов в веществе, процессы формирования объёмных структур. Ставя

опыты по кристаллизации при низкой температуре растворённой в воде натриево-аммониевой соли виноградной кислоты, он открыл (1848) различие активности кристаллов одного и того же состава. Один вид кристалла вращает плоскость поляризации света влево, другой — вправо. Первый в органической природе не встречается, а второй совпадает с винной кислотой, полученной при брожении виноградного сока. По современным представлениям все живые организмы состоят из дисимметричных (киральных) молекул «правого» или «левого» вида. Во всей биосфере замечены только «левые молекулы» аминокислот и только «правые молекулы» сахаров. Это свойство получило название **киральность**. В опытах установлено, что пространственные киральные кристаллические структуры, являясь неотъемлемым и

обязательным свойством живой природы, ускоряют полимеризацию, быстрее отвечают на внешние воздействия, лучше усваивают информацию. Они ведут более интенсивный обмен с внешней средой, лучше самоорганизуются и поэтому обладают преимуществом в адаптационных процессах естественного отбора. Созданные человеком наиболее совершенные системы, перерабатывая массу вещества и энергию полей, «производят» информацию, фактически они борются с энтропией. В этой связи, решая задачи оптимизации создаваемых БТС и повышения эффективности их применения, аналоги способов и средств информатизации сложных создаваемых человеком искусственных систем следует искать в наиболее развитых биологических объектах. Способность живого противостоять увеличению энтропии дискутируется уже длительное время и, по-видимому, не укладывается в рамки современных фундаментальных физических теорий, претендующих на исчерпывающее объяснение первичных механизмов взаимодействия основных известных материальных сущностей — поля и вещества. Требуется новая информационная интерпретация процессов.

Важнейшими задачами в управлении любым техническим или производственно-технологическим объектом являются: сбор информации с помощью датчиков; диагностика состояния объекта; контроль исполнения команд. В этих вопросах тоже много интересного для системотехники можно найти, изучая живую природу, как содержащую более сложные объекты. В медицине известность приобрели методы **диагностики** заболеваний по наблюдению за сетчаткой глаз — иридодиагностика. Точки соот-

ветствия для всех органов человека обнаруживаются, например, на подошве. Деятельность всех органов отображается на ушной раковине. Структурные взаимосвязи различных органов человека уже тысячелетия используются китайской медициной применением иглоукальвания. Первая (из дошедших до нас) специальная книга по иглоукальванию «Цзя-и цзин» была написана в III веке н.э. и состоит из 12 томов. Современная медицинская наука метод изучения механизмов иглорефлексотерапии назвала «электропунктура». Полезно рассмотреть с системных позиций некоторые результаты таких исследований, опубликованные в сборнике статей [104]. В частности, полученные Пушкиным В.Н., которые сводятся к следующим основным положениям [Гл.1*103,109]:

1. Участвующие в акупунктуре энергетические процессы взаимодействуют с электронными процессами, осуществляющимися в организме и влияющими на систему информационной энергетики.

2. Электрические параметры точек акупунктуры связаны с работой высших отделов мозга, особенностями трудовой деятельности и интеллектуальными способностями человека.

3. Между биологически активными точками кожи (БАТК) и всей остальной кожей существуют сложные взаимодействия, свидетельствующие о двухкомпонентной функции кожи при информационно-энергетическом обеспечении жизни и поведения. Один компонент (точка) взаимодействует с локальными воздействиями (зарядами); другой (поверхность кожи) с полями.

4. Кожногальванический рефлекс в его двух составляющих может быть

рассмотрен как механизм восстановления информационно-энергетического баланса в связи с предполагаемыми или осуществленными энергетическими затратами на психическую деятельность. и, в частности, интеллектуальную деятельность человека.

5. Воздействие на БАТК электрическим током приводит к изменению структуры психофизиологических параметров.

6. Активная деятельность человека изменяет электрические параметры БАТК в сторону их нормализации.

7. Обнаружена связь между индивидуальными особенностями динамики электрических параметров БАТК и фундаментальными психофизиологическими свойствами человека.

8. Можно предположить, что неудачи молекулярной биологии памяти и вообще, молекулярной биопсихологии связаны именно с учётом тех тончайших физических структур, которые функционируют на глубинном субмолекулярном уровне.

Особый интерес для проектантов представляет «устройство» системы управления организмом. Медицинской наукой доказано, что связи частей и органов тела между собой многообразны — это **внутриорганный и внутрисистемный** связь, через посредство лимфатических и кровеносных сосудов и, особенно, связь через посредство нервной системы, которая является одной из основных, наиболее быстрой, целенаправленной. В покровах тела находятся особые проводники, — меридианы (термин впервые введен Сули Мораном в 1878 г.), оплетающие лимфатические и кровеносные сосуды, мышцы, нервные сплетения, спинной и головной мозг, идущие к внутренним органам. Эта

проводниковая система и является с точки зрения информационных каналов основной, стоящей по своей значимости выше нервной, наиболее целенаправленной, подчинившей себе все остальные в процессе филогенеза. Установлено, что конечные и начальные части меридианов обладают наибольшей энергетической активностью и над ними обнаружено наименьшее электрическое сопротивление кожи [Гл.1*109].

Материалы исследований свидетельствуют о единстве информационных процессов, осуществляющихся в живой клетке вообще и в нервных клетках коры больших полушарий, в частности. Этот вывод о **единстве процессов глубокой регуляторной биологии и информационных процессов мозга** (психическая деятельность) является для общей психологии фундаментальным. Подобного рода единство прямо свидетельствует о том, что психика как система обеспечения поведения организма во внешней среде, есть **специализация и модификация информационной службы**, которая имеет место на уровне живой клетки. В этой связи психика выступает как некоторое свойство, присущее самой жизни, а не привнесенное в жизнь извне.

Следовательно, в психической деятельности реализуется процессуальный динамический механизм общего для организма **цитолого-генетического кодирования**. Если молекулярная биохимия отвечает на вопрос о цепочке молекул, как основе генетического кода, то информационные процессы прямо свидетельствуют об особенностях реализации генетического кода, об осуществлении этого кода как некоторой жизненной функции. Отсюда очевидна

неуместность разговоров о «биоэнергетике».

Обе эти реальности — и электрофизиологическая и психологическая (проявление интеллектуальной сферы), находятся в отношениях соподчинения — подчинены более глубоким информационно-биологическим регуляторным уровням. Таким образом, материальной основой психики оказалась информационная биологическая реальность в сочетании со специфическими физическими процессами, которые являются воплощением функционирования **системы информационно-энергетической регуляции**.

Экспериментально доказано что, в организме существует специальная система информационно-энергетической саморегуляции, одним из проявлений которой являются динамические характеристики психической

деятельности человека. Она тесно связано с индивидуальными особенностями мироощущения, которое формирует личность. Реализация генетического кода в организме и его клетках происходит с помощью функционирования этой же системы. Воздействие на БАТК иглой или электрическим током вызывает рефлекторный ответ этой системы и приводит ее в состояние равновесия.

Выделенные в разделе «подсказки» природы связаны с разгадкой проблем живого, с успехом могут использоваться при создании новой техники и разработке новых технологий. Все «подсказки» связаны с информацией. Современная вычислительная техника, например, уже начинает использовать «биокристаллы», свойства которых формируются с использованием киральности.

II.4. КОСМИЧЕСКОЕ МЫШЛЕНИЕ И СОЗНАНИЕ

Самым сложным и уникальным объектом природы (среди известных нам) является Человек. Именно в этом «информационном инструменте» происходит пересечение двух потоков: объективной информации от органов чувств («датчиков») и идеальной информации, удивительным образом возникающей помимо желаний и специально вырабатываемой в мозгу. В связи с этим выделяются подсознание и сознание. Материальная сторона протекания информационных процессов изучается психологией и нейрофизиологией, идеальная - логикой и информაციологией.

Традиционно под сознанием понимается человеческая способность воспроизводить действительность в процессе мышления. В философии сознание рассматривается как свойство высокоорганизованной материи, как субъективный образ всего окружающего, как осознанное бытие внешнего и внутреннего мира. То есть это свойство, возникая из материального и находясь с ним в единстве, является идеальным.

Считается, что сознание сформировалось в процессе и на основе общественной практики, поэтому оно выступает в двух формах: личной и общественной. Последняя отражает общественное бытие. Основными формами общественного сознания являются: философия, наука, искусство, нравственность, право, политика, спорт, религия.

В более узком смысле сознание - высшая форма психической деятельности (отражения), свойственная общественно развитому человеку и связанная с речью, идеальная сторона целенаправленной деятельности.

Высшая ступень человеческого познания проявляется в мыслительных процессах отражения объективной действительности. Мышление не только обрабатывает информацию, получаемую непосредственно органами чувств, но и позволяет познавать такие объекты, свойства и отношения реального мира, которые человек не может ощущать. При этом человек изобретает приборы для улавливания информации в реальном (физическом) эксперименте или проводит опыт мысленно. Мышление человека (как и сознание), по мнению философов, имеет общественно-историческую природу. Оно неразрывно связано с практической деятельностью.

Следует отметить, что последнее время ведется дискуссия по поводу наличия сознания и мышления у животных. Проводятся обширные лабораторные и полевые испытания на обезьянах и дельфинах, на других животных и даже растениях, изучается «коллективный разум» пчёл и муравьёв, иных насекомых. То есть (вопреки мнению философов и священников) делаются попытки преодолеть антропоцентризм и наделить разумом других представителей животного мира, кроме человека.

Удивительно фантазировал по данному поводу в своей работе «Монизм Вселенной» [Калуга, 1925] Циолковский К.Э. [102]:

«... в математическом же смысле вся Вселенная жива, но сила чувствительности проявляется во всём блеске только у высших животных. Всякий атом материи чувствует сообразно окружающей обстановке.

... Во Вселенной господствовал, господствует и будет господствовать разум и высшие общественные организации. Разум есть то, что ведёт к вечному благосостоянию каждого атома.»

Диалектический материализм трактует разум, как творчество нового знания, в отличие от рассудка как способности оперировать готовым знанием. Гегель под рассудком понимал низшую способность к абстрактно-аналитическому расчленению знания. У Канта рассудок представляет способность рассуждать, образуя понятия, суждения, правила. А разум у него связан с рождением метафизических идей.

Без ответа на вопросы, что такое жизнь и разум, трудно искать живые объекты в космосе или оценивать сигналы и результаты деятельности ВЗЦ.

Вокруг этих понятий (сознание, мышление, разум, рассудок) всё время велась острейшая борьба, разделившая философов на два лагеря: материалистов и идеалистов. Новый всплеск дискуссии возник (при становлении кибернетики и информатики) из проблемы соотношения человека и машины. Появилось научное направление «искусственного интеллекта».

Сегодня актуальность обозначенной философской проблемы связана с космическими задачами, с попытками поиска внеземной жизни и цивилизации. Уже сейчас наступает этап преодоления антропоцентризма и перехода к космическим масштабам.

Будущим учёным предстоит делать оригинальные открытия, изобретать оригинальные технические устройства и способы их применения, с помощью космонавтики коренным образом преобразовать Человечество.

Изобретение (1610) Галилеем телескопа, показав бесконечность Вселенной, обусловило ощущение человеком его малости, затерянности среди беспредельных просторов. Мир стал казаться необъятным, гнетущим своими пугающими бесконечностями. Но это не остановило самых отчаянных и лю-

бознательных, наоборот подстегнуло к шагам в неизвестное.

Как после плаваний Колумба даже фантастам не снилась современная Америка, так и сегодня нельзя предположить, что произойдет за 500 лет после полета Гагарина. Космонавтика породила у многих людей совсем иное мироощущение, оно стало приобретать системный характер.

Важно подчеркнуть это именно сегодня, когда в нашей стране резко упал интерес печати, радио и телевидения к достижениям и пропаганде перспектив космонавтики. Это результат успешной целенаправленной деятельности к низведению первой в мире космической державы до развивающихся и даже слаборазвитых стран. Чтобы противостоять этому процессу следует активно работать с детьми и молодёжью. Редактор тома посвятил этому свою жизнь, но за неимением места сошлёмся лишь на его учебно-методические и информационно-справочные работы [53-83 и др.]. По проблемам аэрокосмического образования в журнале «Земля и Вселенная» [58-82 и др.] постоянно публикуются материалы подобного плана для учеников и учителей.

Анализируя специфику космонавтики, определяя особенности ракетно-космической отрасли, следует представлять связи космонавтики с различными науками, затронуть философскую сторону формирования космического мышления у людей [53]. Дело в том, что преодоление отчуждения человека от Вселенной и возрождение возвышенного отношения к космическим свершениям неотделимы от фундаментальной социально-культурной проблемы, которую можно сегодня обозначить как формирование космического мышления. О важности этого сказано в предисловии. Речь

идет о комплексной мировоззренческой проблеме, потому что космическое мышление — это научный взгляд на строение и эволюцию Вселенной, на появление Человека и развитие Разума. Важным моментом является при этом воспитание высокой морали. Ибо духовность личности неотделима от ощущения человеком неотъемлемости от Природы, Мира, Вселенной, от стремления к высшим ценностям и идеалам Смысла, Истины, Добра, Красоты. Человечество уже находится на стадии такого развития, при котором становятся актуальными проблемы выживания, экологической защиты.

Вселенная веками служила людям объектом регулярных наблюдений, вдумчивого созерцания, постепенного постижения ее тайн, неисчерпаемым источником мироощущений. Существует тесная духовная связь Человека со Вселенной, поэтому древнюю идею о Человеке как микрокосме, представляющем часть макрокосма следует осознавать на новом научном уровне.

Выше говорилось, что любой орган связан с различными «информационными точками» на теле. На подобных связях основаны иридодиагностика и лечение иглоукалыванием. Из генетики явствует информационная связь клетки и целого организма. Условно феномен перечисленных связей можно назвать «принципом голографии» в живой природе. С подобных позиций можно обсуждать связи Человека с Космосом. Между радужной оболочкой глаза и всеми органами человека существует связь. По аналогии можно говорить о связи микрокосма и макрокосма. Особо подчеркнем, что люди — дети Космоса. Поэтому выход на околоземную орбиту и ожидаемые полеты к другим планетам это огромный успех

всего человечества в освоении макромира и познании себя.

Чтобы достигнуть высоких целей, необходимо формировать у людей космическое мышление и сознание, которые объединяют:

— учение о строении и эволюции Вселенной;

— теорию триединства материи, проявляющейся в форме вещества, энергии и информации;

— гипотезу многомерности пространства и неоднородности времени;

— понимание уникальной роли и места Жизни и Разума в Природе;

— биологические, общественные и вселенские функции Человека;

— космическую этику, мораль и нравственность (здесь лежат истоки экологического и ноосферного мышления).

Научным фундаментом космического мышления являются: астрономия, космонавтика, экология, учение о ноосфере.

Эволюционирующая Вселенная выделила Человеку уникальное место и он должен быть достойным его. Человек — это часть Космоса, поэтому и надо с детства воспитывать космическое мышление. Здесь имеется богатая возможность восприятия единства современной науки о мегамире и макром мире. Поскольку ноосфера охватывает лишь Землю и приземные участки космического пространства (атмосфера, ионосфера, радиационные пояса и т. п.), поэтому по мере освоения этой сферы Человек перейдет к освоению Солнечной системы и затем устремится к другим галактикам, то есть начнется этап антропокосмизма. На этом пути придется решать массу философских, педагогических, методических и, к сожалению, организационно-экономических проблем.

П.5. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СИТУАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Чтобы содавать адекватные модели надо правильно ориентироваться в целях и задачах искусственных систем, в связи с этим следует рассмотреть некоторую ситуационную модель существования человека в космическую эру. Находясь в ситуации, в которой на человека действуют внешние условия окружающей среды, он нуждается в удовлетворении определенных потребностей. Среди них особо следует выделить информационное воздействие. Обычно физиологи ему не уделяют должного внимания. Важность информационного воздействия впервые была оценена медиками при проведении экспериментов и тренировок с космонавтами в сурдокамере. Выяснилось, что отсутствие информации отрицательно действует на нервную и другие жизненно важные системы. Человек является, с одной стороны, частью естественной природы. С другой стороны, он — элемент созданной им самим искусственной природы (рис.П.5.1). В результате своей деятельности Человек реализует два типа функций: биологические и общественные. Общество изменяет внешние условия, приспособлявая их к возможностям Человека, и создает средства защиты и труда. Тем самым оно работает на удовлетворение упомянутых потребностей, хотя некоторая их часть (воздух, вода, пища) обеспечивается естественным путем, также как это делал первобытный человек. Жизненный цикл человека условно можно разбить на шесть периодов (рис.П.5.2). Такая хронология облегчает классификацию потребностей, методов, способов и средств их удовлетворения с помощью БТС, в частности,

построенных на базе КА [53, 54].

Сложные системы создаются и реализуются в различных областях производственно-функциональной деятельности (рис.П.5.3), в общественных иерархических структурах (рис.П.5.4). Налицо три типа структур. В них уже в настоящее время используются достижения космонавтики, а в перспективе большинство развитых стран усиливает данную тенденцию. Обычно те, кто с большим энтузиазмом занимаются космонавтикой, обращают основное внимание на техническую специализацию. Однако космонавтика тем хороша как объект изучения, что охватывает многие отрасли и профессии. В её развитии участвуют не только инженеры или астрономы, но и художники, и агрономы, и музыканты, и педагоги т.д.

Схему, приведенную на рис.П.5.3, можно дробить на более мелкие части. Они представляются как места будущего приложения системного подхода для формирования целей и задач космических систем. Коротко осветим использование космонавтики в различных отраслях [15, 23].

ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКЦИИ (товаров и услуг) охватывает множество отраслей, сгруппированных в следующие комплексы (рис.П.5.3а):

1. *Сельское хозяйство.* Сегодня в сельском хозяйстве с успехом используются спутниковые системы для определения урожая, выявления заболевания лесов, обнаружения пожаров, определения границы таяния снегов т.п.

2. *Промышленность.* Машиностроительная промышленность (группы: А — средства производства, Б — средства потребления, В — вооружения) является **изготовителем космических аппаратов и ракет-носителей.** Она производит аппаратуру и монтажные конструкции,

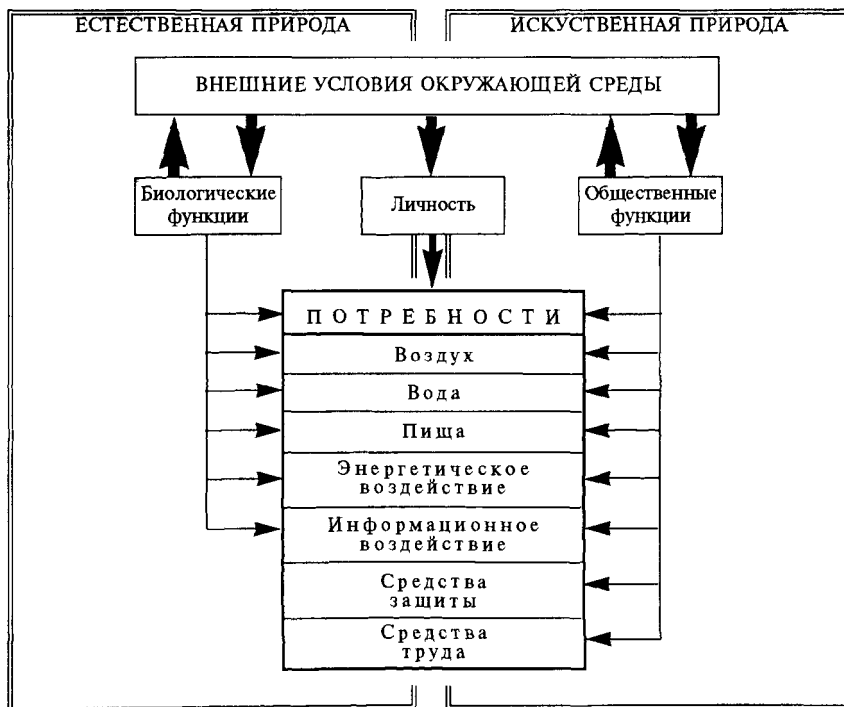


Рис. П.5.1. Схема функционирования человека

Возраст	0	2-3	6-7	16-18	22-24	50-60	70-80
Этапы социальные	Ясли	Детсад	Школа	ВУЗ	Работа	Пенсия	
			Техникум				
			ПТУ	Армия	ФПК		
					Семейная жизнь		
Этапы биологические	Рождение	Детство	Юность	Молодость	Взрослость	Старость	См.

Рис. П.5.2. Жизненный цикл человека

а строительная индустрия возводит здания и сооружения наземных комплексов космических систем. То есть эти отрасли напрямую связаны с созданием космических средств. Для добывающей промышленности важную задачу решают космические аппараты, оказывающие помощь в разведке полезных ископаемых.

3. *Транспорт.* Авиационный и морской транспорт с успехом используют спутниковые навигационные системы, позволяющие хорошо ориентироваться в пространстве и совместно с метеорологическими системами прокладывать наиболее рациональные трассы движения. Сейчас начинается опытное применение навигационных спутников для управления автомобилями.

4. *Энергетика.* В недалеком будущем планируется монтировать на орбите солнечные электростанции для удовлетворения земных потребностей и снабжения энергией орбитальных заводов и поселений [15].

5. *Связь.* Связные задачи, являясь информационными, наиболее приспособлены для широкого использования космических средств. Первые спутниковые системы прикладного назначения были связными, а сегодня с их помощью обеспечивается междугородняя телефонная связь, телевизионное и радиовещание, передаются матрицы газет, организуются базы данных и т.п..

Управление государством, охрану его интересов и защиту прав граждан реализуют ГОСУДАРСТВЕННЫЕ и СИЛОВЫЕ структуры (рис.П.5.36).

На военном использовании космических средств следует остановиться более подробно. Космонавтика, авиация, электроника, и многие другие современные наукоемкие отрасли, быстро развивались исключительно благодаря потребностям военного при-

менения. Если бы в ракетно-космической технике не были заинтересованы военные, то человек полетел бы в космос не ранее 2000-го года. Именно в интересах армии родилась ракетная техника (как средство доставки ядерного оружия). А затем межконтинентальные баллистические ракеты в СССР и в США были приспособлены для выведения КА. Появившиеся КА сразу заинтересовали военных. Были созданы системы боевого обеспечения (разведка, метеорология, связь, навигация, геодезия, топография и др.). После Второй Мировой войны только Корейская война шла без применения обеспечивающих космических средств. Современная армия серьезно относится к РКТ, даже появился новый вид вооруженных сил — Космические войска.

В целом следует отметить прогрессивную роль военных в развитии космонавтики. Созданные для боевого обеспечения системы удовлетворяют самому высокому уровню требований. Поэтому существующие средства РКТ легко было приспособить для решения гражданских задач аналогичного назначения. Так, спутники связные, метеорологические, навигационные, геодезические, топографические без всякой переделки используются для мирных целей. Например, на базе навигационных и связных спутников создана международная система «КОСПАС—САРСАТ», которая уже спасла тысячи потерпевших крушения в воздухе и на море. Даже разведывательная аппаратура нашла удачное применение в исследовании природных ресурсов Земли (ИПРЗ).

3. *Органы государственной безопасности.* Здесь тоже успешно используются спутники для разведки и связи. Американцы начали решительное

Производственные и финансово-рыночные структуры	Госаппарат и силовые структуры	Информационно-социальные структуры
Сельское хозяйство	Совет Федерации	Здравоохранение
Промышленность	Совет Министров	Образование
Транспорт	Аппарат президента	Культура
Энергетика	Армия	Наука
Связь	Госбезопасность	Издательская деятельность
Бытовое и коммунальное хозяйство	Правоохранительные органы	Информационные органы
Банковское хозяйство	Исполнительные органы	
Торговля		

а)

б)

в)

Рис. П.5.3. Фрагмент состава производственно-общественных структур

Министерство образования	Ракетно-космическая отрасль
Республиканское министерство, краевое, областное УНО	Ассоциация (концерн)
Городской, районный отдел народного образования	Производственное объединение (фирма)
Школа	Завод
Ступень	Цех
Класс	Бригада
Звено	Звено
Учебное место	Рабочее место

а)

б)

Рис. П.5.4. Иерархические ступени проявления общественных функций

использование спутников для борьбы с морским и воздушным контрабандным нарушением границ. Очень эффективно можно обнаруживать из космоса посевы опиумного мака и других подобных культур.

Рассмотрим ИНФОРМАЦИОННО-СОЦИАЛЬНЫЕ структуры, детализируя некоторые комплексы внутри них (рис.П.5.3в):

1. *Здравоохранение.* Уже сегодня получают опытные партии лекарств, выработываемых на орбитальной станции «Мир» в условиях невесомости. Космическая медицина и биология дали много новой информации для врачей. Раньше они работали только с контингентом больных. Когда пришлось обследовать здоровых летчиков для отбора в космонавты, то потребовалось

осмыслить нормы и показатели здорового организма. Было изобретено много аппаратуры для съема информации и диагностирования, которая теперь с успехом применяется в клинической практике. Даже лиофилизированные консервы вначале были разработаны для питания космонавтов на орбите.

2. *Образование и воспитание.* Образовательный аспект космонавтики имеет две стороны (прямую и косвенную).

Навечно вошло в историю человечества имя первой космической учительницы Кристи Мак-Олифф (McAuliffe Christa), трагически погибшей (28.01.1986) на американской многоэтажной ступени «Челенджер». Её дело продолжил, проведя серию телеуроков из орбитальной станции «Мир» Герой Советского Союза Серебров А.А. (лётчик-космонавт СССР № 51, в мире № 110) в полётах с Викторенко А.С. (6.09.89-19.02.90) и Циблиевым В.В. (01.07.93-14.01.94). Редактор тома, находясь в ЦУПе, принимал участие в этих уроках и смог лично убедиться по реакции ребят в эффективности аэрокосмического образования [55, 86]. Американцы запустили спутник специально для обучения жителей Индии. Оказалось выгодно и эффективно решать образовательные задачи с помощью спутников. Привлекательна космонавтика как базовая дисциплина для формирования системы аэрокосмического образования, для воспитания космического мышления и сознания у подрастающего поколения, для развития философского мышления, высокодуховного мироощущения [53-56, 86].

3. *Культура* объединяет искусство и развлечения. Широким полем для приложения талантов является куль-

турное направление в космонавтике: большим спросом пользуются космическая фантастика и живопись, имеется богатая почва для журналистики, истории, философии и других гуманитарных направлений.

Говоря об интеллектуальных направлениях космонавтики, не следует забывать, что человек остается животным, которому присущи все инстинкты живой природы: самосохранение, продолжение рода, выживание и адаптация к изменяющимся условиям внешнего мира (рис.П.5.5). На этом рисунке представлены уровни сложности социальных {Soc-j, j=1,...,7} и биологических {Bio-i, i=1,...,7} систем, соотношённые с функциями устойчивости и сохранения объектов и самой Вселенной. Исследователь должен постоянно помнить, что все инстинкты и рефлексы, рождающие прямые и косвенные мотивы, базируются на биологической сути Человека. Это находит продолжение при решении на мотивационной основе проблем нравственности и морали. В биологии детально изучены (см. рис.П.5.5) первые три функции {Fun-i, i=1,2,3} живой природы. Однако с позиций космизма следует особое внимание обратить на функцию {Fun-6} живой природы, направленную на уменьшение энтропии и обеспечение устойчивого равновесия эволюционирующей Вселенной. Возможно, что это самая главная функция живой и разумной материи, о чём подробно сказано в предисловии.

На этом можно завершить представление одного из вариантов упрощенной ситуационной модели обстановки, в которой создаются сложные системы различной природы, в том числе и технические объекты.

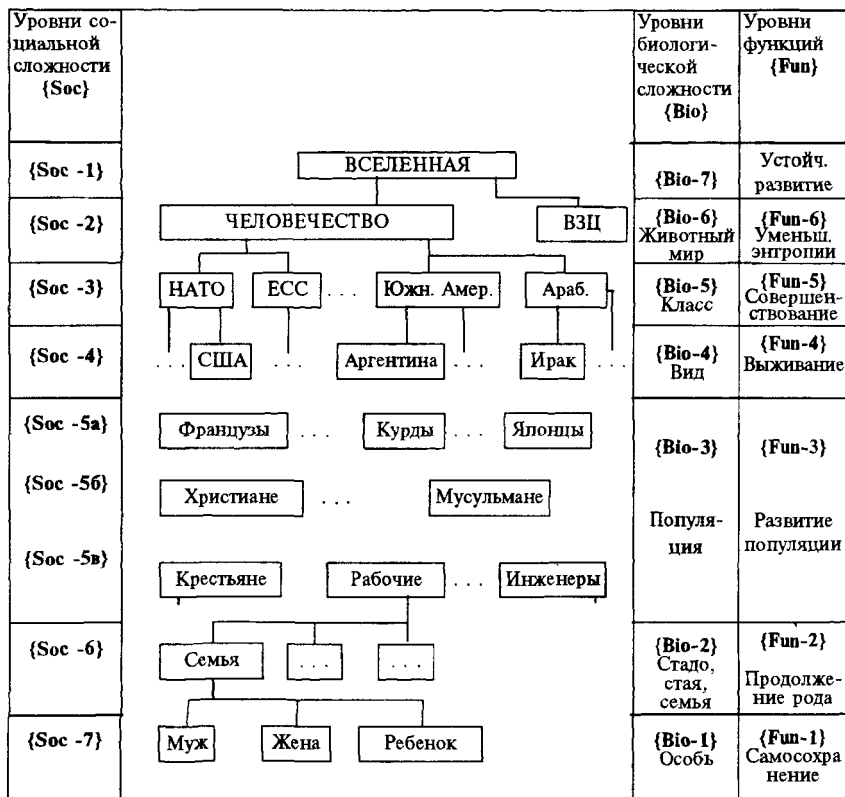


Рис. П.5.5. Иерархические уровни биологических и социальных систем: Soc-1 - Мир Вселенной; 2 - цивилизация (ВЗЦ-внешняя); 3 - объединение стран; 4 - государство; 5 - союзы (5а - национальные, 5б - религиозные, 5в - классовые и др.); 6 - семья; 7 - личность.

Литература

- *1. **Абу Али Ибн Сина.** Канон врачебной науки. Избранные разделы. В трех частях. — М., —Ташкент, 1994.
2. **Адамов А.П.** Моделирование процесса измерения качественной информации о технологичности изделий./Тезисы респ. НТК. —Днепропетровск, 1983.
3. **Асмус В.** Абу Али Ибн Сина (к 1000-летию со дня рождения Авиценны). «Новый мир», 1952, № 6.
4. **Афанасьев В.Г.** Основы философских знаний. Изд.14-ое, — М., Мысль, 1986.
5. **Афанасьев В.П., Селиванов С.Г.** Исследование критериев математического моделирования процесса обеспечения технологичности конструкций изделий на основе системного анализа. /Тезисы Всесоюзной НТК. — Брянск, 1980.
6. **Афанасьев В.П., Селиванов С.Г.** Методика отработки конструкций изделий на технологичность при роботизации производства. Там же.
- *7. **Беллман Р.** Динамическое программирование. Пер. с англ.—М., ИИЛ, 1960.
8. **Богданов А.А.** Основные элементы исторического взгляда на природу. —СПб, Издатель, 1899, 252.
9. **Богданов А.А.** Эмпириомонизм. Статьи по философии. Кн.1-3, —СПб, 1905-1906.
10. **Богданов А.А.** Между человеком и машиной (о системе Тэйлора). —СПб, Прибой, 1913, 16.
11. **Богданов А.А.** Всеобщая организационная наука (тектология). —СПб, ч.1,1913, ч.2,1917; 2 ое изд. —М.—Берлин, 1922; 3-ье изд.,Л. —М.,Книга, ч.1,1925, ч.2,1927, ч.3,1929; М., Экономика, /отв. ред. Абалкин Л.И., кн.1-2, 1989.
12. **Богданов А.А.** Краткий курс экономической науки.Изд.15-ое,1924,364.
13. **Большая Советская Энциклопедия.** Изд. 3-ье, — М., Советская Энциклопедия, 1970-1990.
14. **Борисов Ю.Д.** О взаимосвязи задач выбора эффективных конструктивно-технологических решений и отработке конструкции на технологичность. /Тезисы Всесоюзной НТК. — Брянск, 1980.
15. **Ванке В.А., Лесков Л.В., Лукьянов А.В.** Космические энергосистемы. —М., Машиностроение, 1990, 144.
- *16. **Вернадский В.И.** Живое вещество и биосфера. —М., Наука, 1994,666.
- *17. **Винер Н.** Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. Пер. с англ. — М., Советское радио, 1958.
18. **Гегель Г.В.Ф.** Соч. в 14 томах, М.—Л., 1929-1959.
19. **Гегель Г.В.Ф.** Энциклопедия философских наук. —М., Мысль, 1975.
20. **Грузинцев Гр. А.** Очерки по теории науки./«Записки Днепропетровского института народньої освіти». Т. II, Днепропетровск, 1928.
21. **Диалектика** в науках о природе и человеке./Груды III Всесоюзного совещания по философским вопросам современного естествознания (22-24 апреля 1981, Москва). Кн. 1-4,—М., Наука, 1983.
22. **Дорошенко С.И.** Наукометрические показатели массива советской литературы по системным исследованиям.—М., «Системные исследования», 1978.
23. **Дружинин И.П., Сазонов Б.И., Ягодинский В.Н.** Космос — Земля. Прогнозы.—М., 1974.
24. **Дубинин Н.П.** Диалектика происхождения жизни и происхождения человека. —М., «Вопросы философии», 1979, № 11.

25. Жуков Г.К. Воспоминания и размышления. В 3-х т., 11-ое изд., дополненное по рукописи автора. — М., Новosti, 1992.

*26. Исследования по общей теории систем./Сб. статей, пер. с англ.—М., Прогресс, 1969.

*27. Кизель В.А. Физические принципы дисимметрии живых систем. — М., Наука, 1985, 118.

28. Клир Дж. Наука о системах: новое измерение науки. — М., «Системные исследования», 1983, 61-85.

29. Кохран Т., Аркин У., Норрис Р., Сэндс Дж. Ядерное вооружение СССР/М., ИздАТ, 1992.

30. Космос и эволюция организмов. — М., Наука, 1974.

31. Ксенофонт Афинский. Сократические сочинения. М—Ленинград, 1935.

32. «Начала» Эвклида. Пер. с греч. и комментарий Мордухай-Болтовского Д.Д. Т. 1-3, 1948-1950.

33. Лаплас П.С. Изложение системы мира. — Л., Наука, 1982.

34. Ласкер Эм. Учебник шахматной игры. М.—Л., Госиздат, 1926, 304.

*35. Лейзер Д. Создавая картину Вселенной. Пер. с англ.—М., Мир, 1988.

*36. Ленин В.И. Философские тетради. — М., Политиздат, 1969, 752.

*37. Ленин В.И. Материализм и эмпириокритицизм. Критические заметки об одной реакционной философии. — М., Политиздат, 1969.

*38. Макнамара Р. Курсом ошибок — к катастрофе. Как выжить в первый ядерный век?/«За рубежом», № 5, 1987.

39. Маковельский А.О. Демокрит. — Баку, 1926.

40. Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения. 2-ое изд.—М., Политиздат, 1956-1981, т. 3, 12, 19, 20, 21, 23.

*41. Милитаризм: Цифры и факты./Под ред. Фарамазяна Р.А. —М., Политиздат, 1983.

42. Морозов В.И., Воронин Е.Б. Комплексная оценка и управление технологичностью конструкций горных машин. / Тезисы Всесоюзной НТК. - Брянск, 1980.

43. Народное хозяйство СССР за 70 лет//Юбилейный статистический ежегодник./Госкомстат СССР. - М.: Финансы и статистика, 1987.

44. Народное хозяйство СССР в 1988 г. // Статистический ежегодник//Госкомстат СССР.- М.: Финансы и статистика, 1989.

45. Народное хозяйство СССР в 1990 г.// Статистический ежегодник//Госкомстат СССР. - М.: Финансы и статистика, 1991.

46. Носков Н.Н., Полтавец Г.А., Филатов В.В. Уникальный опыт красноярцев. /Аэрокосмическое образование // Журнал «Земля и Вселенная», 1995, №2, 41-46.

47. Основы марксистско-ленинской философии./Под ред. Константинова Ф.В. 6-е изд., - М., Политиздат, 1982, 448.

48. Полное собрание творений Платона. В 15 томах. Под ред. Жебелева С.А., Карсавина Л.П., Радлова Э.Л. - М. - Ленинград, 1923-1936.

*49. Полтавец Г.А. Применение методов системного анализа при проектировании изделий больших технических систем с учетом производственно-технологических аспектов. // X всесоюзное совещание по проблемам управления (Алма-Ата, сентябрь-октябрь 1986 г.). Тезисы докладов, книга II. - М., 1986.

*50. Полтавец Г.А. Модель развития структуры экологически чистой системы. // Четвёртый научный семинар «Методы синтеза и планирования развития структур сложных систем» (13-15 октября 1987 г.). Тезисы докладов.— Ташкент, 1987.

*51. Полтавец Г.А. К вопросу оценки динамической эффективности при моделировании сложных систем. // Третья республиканская конференция «Методологические и прикладные аспекты систем автоматизированного проектирования» (26-27 ноября 1987 г.). Тезисы докладов, часть II. Ташкент, 1987.

*52. Полтавец Г.А. Миф об оптимизации по векторным критериям. Тезисы докладов Международной конференции «Нетривиальные методы оптимизации». — Красноярск, 1992.

53. Полтавец Г.А. Новые области применения перспективной космической техники и требования к образованию. // В сб.: Международный проект «Космос и одарённость» // Разработки, доклады, информация. Вып.1. Красноярск, 1993, 14-22.

54. Полтавец Г.А., Левитан Е.П. Системный подход к работе с одарёнными детьми и талантливой молодёжью. // В сб.: Международный проект «Космос и одарённость» // Разработки, доклады, информация. Вып.2. Красноярск, 1994, 12-29.

55. Полтавец Г.А. Задачи и проблемы аэрокосмического образования. / Тезисы XXXI научных чтений К.Э. Циолковского.— М., РАН, 1996.

56. Полтавец Г.А. Учёба и наука в деятельности Всесоюзного молодёжного аэрокосмического общества. // В сб.: Материалы учредительной конференции ВАО «Союз».— М., ЦК ВЛКСМ, Главкосмос СССР, 1989.

57. Полтавец Г.А. Новый подход к профориентационной работе с учащимися средних общеобразовательных школ. // В сб.: Методические указания по организации научно-практической работы студентов исследовательских специальностей. — М., изд-во МАИ, 1990, 22-30.

58. Полтавец Г.А., Кирдоло Н.С. Космический радиоконкурс. / Малая космонавтика // Журнал «Земля и Вселенная», 1988, № 2, 65-66.

59. Полтавец Г.А. Заочная школа юных космонавтов. / В Федерации космонавтики СССР (Малая космонавтика) // Журнал «Земля и Вселенная», 1988, № 3, 95-96.

60. Полтавец Г.А. Всесоюзная радишкола «Юный космонавт». / Малая космонавтика // Журнал «Земля и Вселенная», 1988, № 4, 81-82.

61. Полтавец Г.А. Радишкола: анализ решения задачи. / Малая космонавтика // Журнал «Земля и Вселенная», 1988, № 4, 83-85.

62. Полтавец Г.А. Радишкола: новый учебный год. / В Федерации космонавтики СССР (Малая космонавтика) // Журнал «Земля и Вселенная», 1988, № 5, 99.

63. Полтавец Г.А. Всесоюзная радишкола: второй год обучения. // Журнал «Земля и Вселенная», 1988, № 6, 60-61.

64. Полтавец Г.А. Аэрокосмическое образование / Радишкола: очная сессия. // Журнал «Земля и Вселенная», 1989, № 1, 73-75.

65. Полтавец Г.А. Радишкола: статистика пилотируемых полётов (рекорды). / Информация // Журнал «Земля и Вселенная», 1989, № 2, 74-75.

66. Полтавец Г.А. Радишкола: статистика пилотируемых полётов (старты). / Информация // Журнал «Земля и Вселенная», 1989, № 3, 10-11.

67. **Полтавец Г.А.** Аэрокосмическое образование/ Как вступить в общество «Союз»: учиться космонавтике с юных лет. // Журнал «Земля и Вселенная», 1989, № 4, 54.
68. **Полтавец Г.А.** Аэрокосмическое образование/ Радиошкола: накопленные опыта космических путешествий. // Журнал «Земля и Вселенная», 1989, № 5, 15.
69. **Полтавец Г.А.** Аэрокосмическое образование/ Всесоюзная радиошкола: готовимся к полёту на Марс. // Журнал «Земля и Вселенная», 1989, № 6, 74-75.
70. **Полтавец Г.А.** Аэрокосмическое образование/ Снова в «Ястребке». Заботясь о завтрашнем дне космонавтики. // Журнал «Земля и Вселенная», 1990, № 2, 79-81.
71. **Полтавец Г.А.** Аэрокосмическое образование/ Всесоюзная радиошкола: формируем орбиту спутника Венеры. // Журнал «Земля и Вселенная», 1990, № 5, 78-79.
72. **Полтавец Г.А., Семенов В.В.** Ответы на вопросы читателей/ Статистика пилотируемых полётов: астронавты США. // Журнал «Земля и Вселенная», 1990, № 5, 79-85.
73. **Полтавец Г.А.** Аэрокосмическое образование/ Всесоюзная радиошкола: задачи и вопросы. // Журнал «Земля и Вселенная», 1990, № 6, 68.
74. **Полтавец Г.А.** Продолжаем Всесоюзный конкурс «Вперёд, на Марс!». /Информация // Журнал «Земля и Вселенная», 1991, № 6, 60.
75. **Полтавец Г.А.** Продолжает работать заочная радиошкола «Вперёд, на Марс!». // Журнал «Земля и Вселенная», 1992, № 1, 90.
76. **Полтавец А.Г., Полтавец Г.А.** В помощь лектору: космонавты СССР. /В помощь лектору // Журнал «Земля и Вселенная», 1992, № 1, 91-96.
77. **Полтавец Г.А.** Полёт станции «Мир» продолжается (первое полугодие 1995 г.). / Из новостей российской космонавтики // Журнал «Земля и Вселенная», 1995, № 5, 33-40.
78. **Полтавец Г.А.** Статистика пилотируемых полётов: астронавты США (часть 2). / В помощь лектору // «Земля и Вселенная», 1995, № 6, 76-86.
79. **Полтавец Г.А.** Полёт станции «Мир» продолжается (второе полугодие 1995 г.). / Из новостей российской космонавтики // Журнал «Земля и Вселенная», 1996, № 3, 66-70.
80. **Полтавец Г.А.** Аэрокосмическое образование/ Конкурс «Космос» продолжается. // Журнал «Земля и Вселенная», 1996, № 4, 69-75.
81. **Полтавец Г.А.** Полёт станции «Мир» продолжается (1996 г.). / Из новостей российской космонавтики // Журнал «Земля и Вселенная», 1997, № 2, 30-32.
82. **Полтавец Г.А.** Полёт станции «Мир» продолжается: одиннадцать лет на орбите. /Досье любознательных // Журнал «Земля и Вселенная», 1997, № 3, 90-100.
83. **Приказ** Госкомитета СССР по народному образованию № 486 от 11 июля 1990 г. // Об утверждении Положения о средних общеобразовательных школах (классах) аэрокосмического и конструкторско-технологического профиля «Аэрокосмическая школа».
84. **Розин В.М.** Этапы генезиса математических знаний (до «Начал» Эвклида). —М., «Системные исследования», 1986, 426-440.
85. **Семенов А.А.** Абу-Али Ибн-Сина (Авиценна). 2-ое изд., —Душанбе, 1953.
86. **Серебров А.А., Калмыков А.С., Полтавец Г.А.** Многообразие форм аэрокосмического образования. / Тезисы XXXI научных чтений К.Э. Циолковского. —М., РАН, 1996.

87. **Синтез** современного научного знания.-М., Наука, 1973, 640// Ахундов М.Д., Борисов В.И., Тюхтин В.С. Интегративные науки и системные исследования. стр.224-249//.

88. **Советская историческая энциклопедия.** — М., Советская Энциклопедия, 1961-1990.

89. **Сыроватченко П.В., Кузьменко Ю.Ф.** Системный подход к проблеме обеспечения технологичности изделий./ Тезисы республ. НТК.— Днепропетровск, 1983.

90. **Фёдоров Е.С.** Симметрия правильных систем фигур.—СПб, 1890, 148.

91. **Федосеев П.Н., Фролов И.Т., Лекторский В.А., Швырёв В.С., Юдин Б.Г.** Материалистическая диалектика: краткий очерк теории. — М., Политиздат, 1985.

*92. **Физика космоса.** Маленькая энциклопедия. 2-ое изд. — М., Советская Энциклопедия, 1986, 784.

*93. **Физический словарь.** Т. 1-5, — М., ОНТИ НКТП СССР, 1936-1939.

94. **Философский энциклопедический словарь.** Изд. 2-ое, — М., Советская Энциклопедия, 1989.

95. **Философская энциклопедия.** В 5 томах, — М., Советская Энциклопедия, 1960-1970.

96. **Фофанов В.П.** Социальная деятельность как система.—Новосибирск, Наука, 1981.

97. **Уёмов А.И.** Логическая основа метода моделирования. —М., Мысль, 1963.

98. **Уотсон Дж.** Молекулярная биология гена. —М., 1967.

99. **Урсул А.Д.** Природа информации. Философский очерк. —М., Политиздат, 1968.

100. **Урсул А.Д.** Философские проблемы теории информации./Дисс. д-ра философских наук. —М., 1969,

101. **Урсул А.Д.** Информатизация общества. Введение в социальную информатику. АОН при ЦК КПСС, 1990.

102. **Циолковский К.Э.** Грёзы о земле и небе: Научно-фантастические произведения. -Тула, Приокское кн. изд-во, 1986, 448.

103. **Шеллинг Ф.** Система трансцендентного идеализма («System des transszendentalen Idealismus.», Tub.,1800). Пер.с нем. и комм.Колубовского И.Я. Л.—М., Соцэкгиз, 1936.

104. **Электропунктура** и проблемы информационно-энергетической регуляции деятельности человека./ Сб. статей под ред. Никифорова В.Г. и Пушкина В.Н./ ЦНИИ ЭИНТИ угольной промышленности. Минуглепром СССР. — М., 1976.

105. **Энергия** и энтропия. //Алексеев Г.Н.- М., Знание, 1978, 192.

*106. **Эрден-Груз Т.** Основы строения материи. Пер. с нем.,—М., Мир,1976.

107. **Klir George J.** An approach to general systems theory. New York—London, 1969,324.

108. **Klir J., Valach M.** Cybernetic Modelling. — London. 1967, 438.

109. **Systems: Research and Design//** Proceedings of the First Systems Symposium at Case Institute of Technology.— Ed.by prof. Eckman D.P. Wiley. N.-Y.,1961.

Основные сокращения			
АП	— авиационное происшествие;	ОТС	— общая теория систем;
АРКТ	— авиационная, ракетная и космическая техника;	ПН	— полезная нагрузка;
АТ	— авиационный транспорт;	ПСК	— поисково-спасательный комплекс;
АТС	— авиационная транспортная система;	РКТ	— ракетно-космическая техника;
БОЭС	— большая организационно-экономическая система;	РН	— ракета-носитель;
БПТС	— большая производственно-технологическая система;	РС	— разгонная ступень;
БТС	— большая техническая система;	СА	— системный анализ;
ВС	— воздушное судно;	СГК	— спускаемая грузовая капсула;
ДОС	— долговременная орбитальная станция;	СД	— системное движение;
ДПЛА	— дистанционно пилотируемый летательный аппарат;	СИ	— системные исследования;
ЖЦ	— жизненный цикл;	СК	— стартовый комплекс;
ИСЗ	— искусственный спутник Земли;	СП	— системный подход;
ИП(КИП)	— (командно-) измерительный пункт;	СПК	— стартово-посадочный комплекс;
КА	— космический аппарат;	ТЗ	— техническое задание;
КИК	— командно-измерительный комплекс;	ТКА	— транспортно-космический аппарат;
КТР	— конструкторско-технологическое решение;	ТКК	— транспортно-космический корабль;
ЛА	— летательный аппарат;	ТКС	— транспортно-космическая система;
ЛКИ	— лётно-конструкторские испытания;	ТОПР	— технологическое обеспечение проектирования;
ЛТХ	— лётно-технические характеристики;	ТПП	— технологическая подготовка производства;
МБР	— межконтинентальная баллистическая ракета;	ТТО	— транспортно-техническое обеспечение;
МКБ	— межорбитальный космический буксир;	ТТТ	— тактико-технические требования;
МТКК	— многоразовый транспортно-космический корабль;	УВД	— управление воздушным движением;
НИОКР	— научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;	уде	— условная денежная единица;
ОС	— орбитальная ступень;	ФБС	— функциональная бортовая система;
		ФО	— функциональный отказ;
		ЦНК	— целевой наземный комплекс;
		ЦУП	— центр управления полётами;
		ЧМС	— человеко-машинная система;

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ: СИСТЕМНОСТЬ В МИРООЩУЩЕНИИ (Касаев К.С.)	5
ВВЕДЕНИЕ (Полтавец Г.А.)	10
Глава 1. КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ ИСТОРИИ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ (Полтавец Т.Г.)	12
1.1. Предыстория системного движения	12
1.2. Зарождение системных исследований в тектологии Богданова	16
1.3. Учение Анохина о функциональных системах	20
1.4. Организация и становление системных исследований в США	25
1.5. Системное движение в Советском Союзе	28
Литература	32
Глава 2. МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ (Полтавец Г.А.)	39
2.1. Специфика системных исследований	39
2.2. Роль и место информации в сложных объектах	46
2.3. Сущность системного подхода	50
2.3.1. Системность Вселенной и её объектов	50
2.3.2. Строение и свойства систем	52

2.4.	Системотехника	55
2.4.1.	Большая техническая система	55
2.4.2.	Жизненный цикл большой технической системы	60
2.4.3.	Принципы декомпозиции и оптимальности большой технической системы	63
2.4.4.	Системный анализ проблем создания большой технической системы	69
2.4.5.	Классификация сложных систем и технологий	76
2.5.	Моделирование сложных системных объектов	79
2.5.1.	Основы метода моделирования	79
2.5.2.	Математическое моделирование	81
2.5.3.	Имитационное моделирование	85
2.5.4.	Классификация моделей	87
2.6.	Оценка эффективности сложных систем	90
2.6.1.	Характеристики, параметры, показатели, критерии	90
2.6.2.	Методология оценки эффективности сложных систем	95
2.6.3.	Критерии эффективности и оптимальности сложных систем	100
2.6.4.	Оценка динамической эффективности при моделировании сложных систем	106
2.7.	Глобальная модель управления сложной системой	111
2.7.1.	Постановка задачи оптимального управления	111
2.7.2.	Теоретико-множественное описание управления в сложной человеко-машинной системе	114
2.7.3.	Модель управления развитием структуры экологически чистой системы	119
2.7.4.	Организационно-экономическая модель человеко-машинной системы	121
	Литература	123

Глава 3. БОЛЬШИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	126
3.1. Классификация ЛА и уровни сложности систем (Касаев К.С., Полтавец Г.А., Полтавец В.А.)	126
Литература	134
3.2. Авиационные системы (Полтавец В.А.)	134
3.2.1. Создание и развитие авиационных систем	134
3.2.2. Авиационно-транспортные систем	139
Литература	150
3.3. Ракетные системы (Гусейнов А.Б.)	150
3.3.1. Уровни сложности ракет и систем	150
3.3.2. Структура и основные характеристики ракетных систем и комплексов	152
3.3.3. Основные типы ракетных систем и их особенности	154
Литература	169
3.4. Космические системы (Полтавец Г.А.)	169
3.4.1. Решаемые задачи, особенности, состав и структура космических средств	169
3.4.2. Проблемы и пути развития космонавтики	194
Литература	199
Глава 4. КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ (Полтавец Г.А.)	201
4.1. Схема формирования конструкторско-технологических решений	201
4.2. Классификация конструкторско-технологических решений	205
4.3. Системный анализ трибомеханических КТР (Прокопенко А.К.)	210
Литература	214

Глава 5. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ (Полтавец Г.А.)....	215
5.1. Космическая система транспортно-технического обеспечения	215
5.2. Иерархическая структура критериев транспортно-космической системы	222
5.3. Методика расчёта весовых характеристик космических аппаратов	231
5.3.1. Начальный вес невозвращаемого космического аппарата	231
5.3.2. Весовая отдача невозвращаемого космического аппарата	233
5.3.3. Начальный вес возвращаемого космического аппарата	234
5.3.4. Весовая отдача возвращаемого космического аппарата	239
5.3.5. Параметрические исследования весовых характеристик КА	240
5.4. Техничко-экономический анализ РКТ (Григорьев А.Е.)	244
5.4.1. Принципы и методы технико-экономического анализа.	244
5.4.2. Техничко-экономические показатели	246
5.4.3. Социальные и экономические аспекты разработки и использования средств ракетно-космической техники	246
5.4.4. Оценка стоимости разработки ракетно-космической системы	247
5.4.5. Стоимость изготовления космических аппаратов	252
5.4.6. Оценка стоимости выведения КА на орбиту	255
5.5. Методика расчёта стоимостных характеристик	256
5.5.1. Оценка затрат на транспортную операцию	256
5.5.2. Методика параметрического анализа стоимости КА	259
5.6. Модели оценки рациональной надёжности КТР	261
5.6.1. Методология построения моделей рационального резервирования бортовых систем ТКА	261
5.6.2. Модель оптимизации диаграммы «коэффициент полезной нагрузки-надёжность»	266

5.6.3.	Модель оптимизации диаграммы «коэффициент экономической отдачи-надёжность»	269
5.6.4.	Модель оптимизации диаграммы «эффективность транспортной подсистемы-надёжность»	272
	Литература	276
Глава 6.	ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА	277
6.1.	Системный подход к решению вопросов надёжности и безопасности полётов при создании летательных аппаратов (Неймарк М.С.)	277
6.1.1.	Становление системного подхода в решении проблем надёжности	277
6.1.2.	Технология проведения работ по обеспечению заданных требований по надёжности и безопасности полётов	289
6.1.3.	Задание контрольных уровней по надёжности функциональных бортовых систем самолёта	290
6.1.4.	Определение контрольных уровней по безотказности функциональных бортовых систем для обеспечения требований по безопасности полётов	292
6.1.5.	Определение контрольных уровней по безотказности функциональных бортовых систем для обеспечения требований по регулярности полётов	293
6.1.6.	Получение полного перечня функциональных отказов	294
6.1.7.	Анализ функциональных отказов бортовых систем	298
6.1.8.	Определение последствий для самолёта от возникновения функциональных отказов бортовых систем	302
6.1.9.	Система обеспечения надёжности, безопасности полётов и эксплуатационной технологичности пассажирских самолётов	307
6.1.10.	Эффективность применения системного подхода к повышению надёжности самолётов «Ил»	315
	Литература	320

6.2.	Системный подход к применению комплексной технологии в производстве ракетно-космической техники (Булавкин В.В.)	321
6.2.1.	Системность процесса создания РКТ	321
6.2.2.	Концепция комплексной технологии	328
6.2.3.	Методология формирования комплекса конструкторско-технологических решений	332
6.2.4.	База комплексной технологии: новые наукоёмкие конструкторско-технологические решения	335
	Литература	354
6.3.	Применение системного подхода к обеспечению безопасности полётов на этапе эксплуатации (Полтавец В.А.)	355
6.3.1.	Основные положения и определения	355
6.3.2.	Уровень безопасности полетов	357
6.3.3.	Системные принципы обеспечения безопасности полетов	362
6.3.4.	Структура системы обеспечения безопасности полетов	368
6.3.5.	Системный подход к расследованию авиационных происшествий, связанных с отклонениями в работе экипажа	374
6.3.6.	Системный подход к расследованию авиационных происшествий, связанных с отклонениями в работе технических средств АТС	379
6.3.7.	Предотвращение авиационных происшествий	382
	Литература	391

ПРИЛОЖЕНИЯ.

	ФИЛОСОФИЯ И ИНФОРМАЦИОЛОГИЯ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ (Полтавец Г.А.)	392
--	--	-----

П.1.	Материальность системных объектов	392
П.1.1.	Материальное единство Вселенной	392
П.1.2.	Материальные объекты	393

П.1.3. Количественные характеристики материи	394
П.1.4. Специфика живой природы	397
П.2. Специфика системных исследований	401
П.2.1. Основы методологии	401
П.2.2. Системность Вселенной и её объектов	402
П.2.3. Системность общества	408
П.2.4. Метод моделирования сложных систем	409
П.3. Информация – особое свойство системных объектов ...	415
П.3.1. История создания теории информации	415
П.3.2. Космология и информация	420
П.3.3. Информационный опыт живой природы	426
П.4. Космическое мышление и сознание (Левитан Е.П.)	431
П.5. Системный анализ ситуационной модели	434
Литература	440
Основные сокращения	445

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НОВЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕХНИКЕ

Энциклопедия. Т. 10

ISBN 5-87892-072-9

Системный подход к сложным техническим объектам

Редакторы: Касаев К.С., Полтавец Г.А.

Переплет художников Новикова А.Ю., Голицыной Т.Н.

Компьютерное макетирование

Власова В.Н., Коломенский А.И., Полтавец Г.А., Семенов В.Н.

Н/К

Лицензия ЛР № 61088 от 21.04.1992

Сдано в набор 25.09.1996. Формат 60×88¹/₁₆. Печать офсетная.

Подписано в печать 04.09.1997 г.

Бумага № 1. Усл. печ. листов 28,5. Уч.-изд. листов 29,0.

Тираж 1000 экз. Гарнитура TimesET. Заказ № 2040.

Оригинал-макет изготовлен в ТОО «Пулат».

(141090, Болшево-1, Московская обл.)

ЗАО «НИИ ЭНЦИТЕХ», 3-ий проезд Марьиной Рощи, д. 40.

АООТ «Политех-4».

129110, Москва, Б. Переяславская, 46.