

Е.И. Юревич

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

СПб. 2001

УДК 621.865.8

Проектирование технических систем. Учебное пособие. Е.И.Юревич.
СПбГТУ. СПб. 2001.

Изложены общие теоретические и методические основы проектирования технических объектов и систем различного назначения. Рассмотрены особенности проектирования человеко-машинных и автоматических систем. Особое внимание уделено проектированию изделий робототехники и мехатроники.

Основное назначение книги быть учебным пособием для соответствующих дисциплин по специальностям направления «Мехатроника и робототехника».

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ....	5
1.1. Общие понятия о проектировании технических систем.....	5
1.2. Теоретические основы проектирования технических систем.....	14
1.3. Техническое творчество.....	23
1.4. Методы проектирования технических систем.....	27
1.5. Автоматизация проектирования технических систем.....	33
ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ТИПОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	36
2.1. Проектирование систем автоматического управления (САУ).....	36
2.2. Проектирование автоматизированных систем управления (АСУ)....	38
2.3. Проектирование мехатронных систем.....	40
2.4. Проектирование робототехнических систем.....	41
2.5. Проектирование унифицированных технических систем.....	46
2.6. Проектирование больших систем.....	49
ГЛАВА 3. ПРИМЕРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	52
3.1. Введение.....	52
3.2. Системы управления мягкой посадкой космических аппаратов.....	52
3.3. Система управления ручной стыковкой космических аппаратов.....	60
3.4. Аппаратура контроля систем «солнечная батарея-аккумулятор» космических аппаратов.....	68
3.5. Системы контроля герметичности космических аппаратов.....	71
3.6. Система бортовых манипуляторов для космического корабля «Буран».....	74
3.7. Модульные роботы для Чернобыльской АЭС.....	86
3.8. Пневматические промышленные роботы и технические комплексы на их основе.....	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	109
ЛИТЕРАТУРА.....	110

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие предназначено для завершающего курса инженерной подготовки, обобщая специальные курсы по отдельным аспектам этой подготовки в общую систему знаний по созданию новой техники.

Пособие ориентировано прежде всего на специальности по робототехнике и мехатронике, однако может быть использовано и при подготовке по другим инженерным специальностям.

Пособие написано по материалам лекций, читаемых автором на кафедре «Робототехника и техническая кибернетика» ЦНИИ РТК СПбГТУ.

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

1.1. Общие понятия о проектировании технических систем.

Сформулируем некоторые основные понятия, которые будут использоваться в дальнейшем.

Технический объект – это объект, создаваемый человеком для удовлетворения своих потребностей.

Техническая система (ТС) – это совокупность технических объектов, реализующая законченный технологический процесс, например, производства конкретного изделия. Разновидность таких систем, в функционировании которых принимают непосредственное участие люди, называются *биотехническими системами*.

Функции ТС (или технического объекта). Они определяются потребностью, которую предназначена удовлетворять система, т.е. назначением (автомобиль перевозит грузы, робот манипулирует различными предметами и т.д.).

Структура ТС. Она определяет состав системы из функциональных частей, например, в виде агрегатов, блоков, узлов и т.п. Такая структура называется функциональной. Применяется еще понятие потоковая структура, которая описывает потоки преобразования вещества, энергии или информации.

Показатели (критерии) качества ТС. Они бывают функциональные, технологические, экономические, антропологические. Функциональные критерии – это производительность, точность, надежность и т.п., технологические – трудоемкость, технологические возможности, используемые материалы и т.п., экономические – затраты материалов, энергии и т.д., антропологические – эргономичность, экологичность, безопасность и т.п.

Законы (закономерности) развития ТС. Они определяют устойчивые изменения во времени основных показателей качества ТС и других показателей, характеризующих ТС (конструктивных и т.п.).

При изучении законов развития ТС используют понятие цикличности развития техники (в виде сочетания последовательностей эволюционных и революционных этапов) и показателей техники. На их базе осуществляется прогнозирование развития техники методами моделирования, экстраполяции и экспертных оценок [1].

Эволюционные изменения показателей развития техники описываются экспериментальными S-функциями вида

$$K = L / (a + e^{be-\beta t}),$$

где постоянные L , a , b , β определяются статистически (рис.1,а). На рис.1,б показан примерный график развития показателя качества

техники, состоящей из трех S-функций. Каждая из этих функций описывает эволюционный рост рассмотренного показателя качества для одного из трех сменяющих друг друга качественно различных поколений

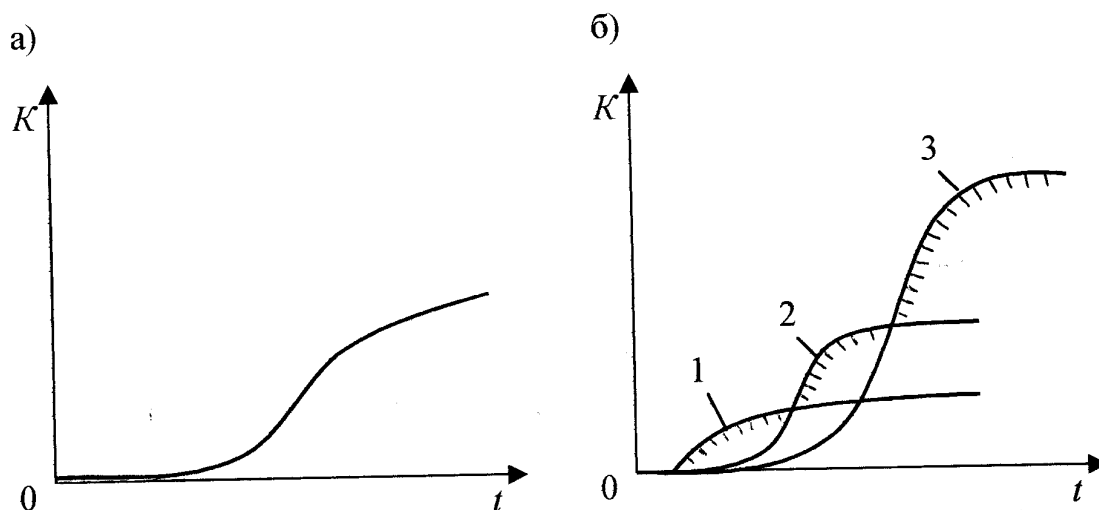


Рис.1. Графики показателей качества техники.

данной техники. Подобным образом, например, описывается развитие скорости самолетов. Примерно до 1930 г. рост скорости самолетов шел по кривой 1. К тому моменту, когда она достигла примерно 300 км/ч, были отработаны новые высокооборотные двигатели (кривая 2), переход на которые позволил к 1945 г. довести скорости самолетов примерно до 700 км/ч. Затем произошел переход к турбокомпрессорным воздушно-реактивным двигателям (кривая 3), которые привели к следующему качественному скачку в развитии самолетостроения, позволившему в 1970 г. превзойти скорость 4000 км/ч. Результирующая характеристика роста скорости самолетов состоит из отрезков этих кривых и отмечена штриховкой. На этом очевидно развитие самолетостроения не закончится – впереди гиперзвуковые орбитальные скорости. Аналогично выглядят характеристики показателей развития роботов, включающие три их поколения [2]. Роботы первого поколения с программным управлением появились около 1960 года и совершенствуясь господствовали в робототехнике до 1980 года, когда начали выпускаться роботы второго поколения с адаптивным управлением. Примерно к 2000 году сформировалось следующее поколение – интеллектуальные роботы, которые вобрав в себя все функциональные возможности роботов предыдущих поколений добавили к ним искусственный интеллект. Последующий качественный прогресс робототехники, по-видимому, будет связан с микротехникой (микро- и наноробототехника). С революционными этапами развития техники связано понятие научно-технической революции.

Проектирование технических систем – это процесс создания нового изделия в виде его проекта.

Проектирование технических систем входит в более общее понятие – *инновационная деятельность*, т.е. разработка и реализация инновационных проектов. Инновация – это нововведение в виде новых изделий, технологий и любых других новшеств в любых сферах человеческой деятельности от научно-технической до экономической и социальной. В последние годы сформировалось соответствующее новое научное направление – инноватика, предмет которого разработка общей теории и методов инновационной деятельности [4].

Укрупненно процесс проектирования изделия включает формулировку технического задания на разработку изделия, его идеи – физического принципа действия, разработку плана выполнения проекта и, наконец, его реализацию.

Проект изделия – это совокупность технических документов, по которым оно может изготавливаться и эксплуатироваться. Проект может быть выполнен традиционно на бумаге или на электронных носителях информации. Состав технической документации регламентирован стандартами. В нашей стране они объединены в единую систему конструкторской документации (ЕСКД), а состав программной документации (ее часто выделяют из технической документации) – в единую систему программной документации (ЕСПД). В техническую документацию входят схемная, конструкторская, монтажная, текстовая, технологическая и эксплуатационная документации.

Этапы проектирования и всего жизненного цикла созданного изделия:

- разработка технического задания;
- предварительное проектирование;
- эскизное проектирование;
- техническое проектирование;
- производство;
- эксплуатация.

Рассмотрим содержание этих этапов.

1. *Техническое задание (ТЗ)* на проектирование изделия. ТЗ является основанием для проектирования. Оно составляется разработчиком на основе исходных данных, предоставленных заказчиком и содержащих прежде всего основные технические требования к создаваемому изделию. ТЗ утверждается заказчиком при согласующей подписи разработчика.

Состав ТЗ:

- основание для разработки (приказ вышестоящей организации, совместное решение с заказчиком и т.п.);
- область применения создаваемого изделия;
- технические требования к изделию (ТТ) или тактико-технические требования (ТТТ) для военной техники (охватывают габариты, массу, точность, надежность, энергопотребление и т.д.);

- условия эксплуатации (режим и продолжительность эксплуатации, климатические условия, механические и другие внешние воздействия, условия хранения и транспортировки, требования к обслуживанию и ремонту и т.д.);
- стоимость;
- требуемое количество изделий (серийность) и условия производства;
- сроки и стоимость разработки;
- возможные особые условия производства и эксплуатации.

Важной частью технических требований является установление перечня (номенклатуры) технико-экономических и тактико-эксплуатационных показателей, характеризующих технический уровень подлежащего разработке изделия, и их численные значения. В дальнейшем в ходе проектирования именно на основе этих показателей формируются критерии качества, используемые на различных этапах проектирования. Существует теория обоснования и измерения этих показателей и критериев качества техники – квалиметрия [5].

От качества ТЗ существенно зависит результат проектирования. Составление ТЗ – это всегда результат компромисса между заказчиком и разработчиком, цели которых во многом далеко не идентичны.

Иногда этап разработки ТЗ называют этапом поискового проектирования и трактуется как первая часть НИР.

2. *Предварительное проектирование (ПП).* Этот этап разработки является основной частью НИР. Все последующие этапы относятся уже к ОКР.

Результаты предварительного проектирования оформляются в виде технического предложения или аванпроекта.

На этом этапе производится:

- выбор прототипов и их сравнительный анализ с определением плюсов, которые, очевидно, следует по крайней мере сохранить, и минусов, которые надо преодолеть;
- выбор (синтез) возможных вариантов разрабатываемого изделия, включая принцип действия, структуру (состав), основные технические средства ее реализации, элементную базу;
- сравнительный анализ основных характеристик этих вариантов и отбор из них нескольких (в пределах одного) рабочих вариантов, подлежащих дальнейшей разработке;
- выбор методов проектирования.

3. *Эскизное проектирование.* Назначение этого этапа – детальная проработка возможностей создания изделия, удовлетворяющего ТЗ. На этом этапе производится выбор окончательного варианта разрабатываемого изделия путем многократного их синтеза и анализа с постепенным уменьшением вариантов и увеличением глубины проработки.

Результатом этого этапа является эскизный проект (ЭП), в который входят:

- пояснительная записка, включающая, в частности, теоретическое и расчетное исследование, результаты математического и, если необходимо, физического моделирования;
- эскизная техническая документация на изделие;
- общее заключение о его соответствии ТЗ, т.е. о реальности выполнения последнего.

Эскизная документация – это временная документация, предназначенная для изготовления лабораторных и экспериментальных образцов изделия или его отдельных частей, требующих экспериментального исследования. На этапе эскизного проектирования для таких испытаний часто требуется создавать еще и специальные испытательные стенды и другую аппаратуру. Иногда это может представить не меньшую трудность, чем создание самого изделия. Часто на этапе эскизного проектирования требуется также создавать габаритно-массовые и тепловые макеты будущего изделия для испытаний на объекте заказчика, в состав которого будет входить проектируемое изделие.

Эскизный проект защищается разработчиком перед заказчиком и утверждается им (или возвращается на доработку). Предварительно он направляется к заказчику для изучения и выдачи замечаний. При утверждении эскизного проекта в случае необходимости на основании содержащихся в нем материалов может быть откорректировано (уточнено) ТЗ.

4. *Техническое проектирование.* Оно осуществляется на основании эскизного проекта и материалов его защиты, включая замечания заказчика и возможные изменения ТЗ. Результат этапа технического проектирования – комплект технической документации на изделие, включая конструкторскую, программную, технологическую и эксплуатационную. В конструкторскую документацию входят:

- схемы структурные, функциональные, электрические, монтажные, подключения и расположения;
- графические документы в виде чертежей общего вида, габаритных, сборочных, узлов и деталей;
- текстовая документация: общие технические условия (ТУ) на изделие, частные технические условия (ЧТУ) на его части, техническое описание (ТО) всего изделия и его частей.

В программную документацию согласно ЕСПД входят текст и описание программ, описание применения, руководства оператора и системного программиста и т.д.

Технологическая документация включает технологические инструкции, технологические (маршрутные) карты, чертежи на техническую оснастку и приспособления. Эта документация разрабатывается применительно к конкретному производству с учетом

его возможностей и особенностей. Это должно учитываться, разумеется, и при разработке конструкторской документации.

В эксплуатационную документацию (по ГОСТ 2.601-95) входят руководство по эксплуатации (РЭ), инструкция по монтажу, пуску и т.п. (ИМ), формуляр (ФО), паспорт (ПС), ведомость ЗИП – запасных частей, инструмента и приспособлений.

Руководство по эксплуатации включает описание изделия и его использование по назначению, техническое обслуживание, текущий ремонт, правила хранения и транспортировки и т.п.

На этапе технического проектирования осуществляются изготовление и испытания опытных, а затем и серийных образцов изделия с последующей корректировкой документации по результатам этих испытаний.

В общем случае в этом этапе различают два самостоятельных этапа – разработку технического проекта (ТП) по эскизному проекту и разработку рабочего проекта (РП) по техническому проекту. В последний и входит вся перечисленная выше рабочая документация. Однако часто, когда изделие не слишком сложное, эти этапы объединяются в один.

Не останавливаясь на этапах производства и эксплуатации, рассмотрим особенно важную для разработчика проблему испытаний.

Различают следующие виды испытаний:

- Лабораторные испытания. Они проводятся на всех этапах проектирования причем в более жестких условиях и в большем диапазоне изменений внешних воздействий, чем те, что указаны в ТЗ и ТУ.
- Совместные испытания. Они проводятся, как следует из их названия, разработчиком и заказчиком совместно обычно в объеме лабораторных испытаний с тем, чтобы определить запасы по сравнению с требованиями, указанными в этих документах. (Перед этим разработчик проводит свои лабораторные испытания в более широких пределах изменения варьируемых параметров, чтобы получить уверенность в положительных результатах предстоящих совместных испытаний.)
- Приемно-сдаточные испытания. Проводятся при производстве изделия на соответствие ТУ.
- Натурные испытания. Эти испытания проводятся как до сдачи изделия в серийное производство и в эксплуатацию, так и на серийных изделиях и максимально приближены к реальным условиям работы изделия при комплексном воздействии большинства реальных возмущений.
- Выборочные (типовые) испытания. Эти испытания проводятся в процессе серийного производства (наряду с приемно-сдаточными) для уточнения результатов предыдущих испытаний опытных образцов изделия и для оценки их надежности.

В ходе производства и эксплуатации изделия накапливаются статистические данные, на основании анализа которых осуществляется корректировка технической документации. Этот процесс идет все время пока изделие производится и позволяет окончательно «довести» изделие, а затем постоянно улучшать его технический уровень, в том числе с учетом возможных изменений требований потребителей. Таким образом процесс создания изделия продолжается в течение всего времени его производства. При серийном производстве это осуществляется прежде всего изготовителем изделия, который ведет перевыпущенную им техническую документацию при авторском надзоре разработчика изделия.

На рис.2 приведена типовая структура всего процесса проектирова-

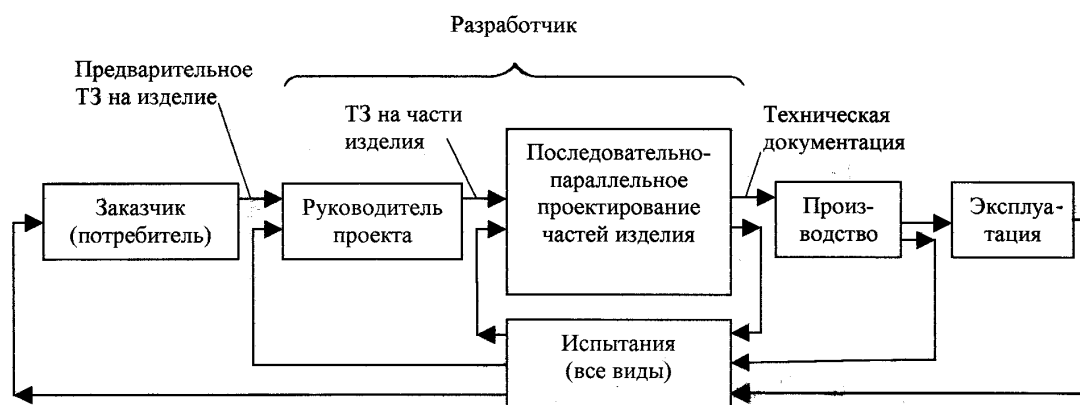


Рис.2. Структура процесса проектирования

ния. Наряду с рассмотренными выше последовательными этапами этот процесс «запараллеливается» путем декомпозиции общей задачи на частные задачи, которые можно решить параллельно. При этом структура решения каждой такой частной задачи в свою очередь содержит все перечисленные выше типовые этапы проектирования. Эти частные задачи решаются по частным ТЗ – ЧТЗ отдельными коллективами специалистов (группы, лаборатории, отделы, специализированные организации) под общим руководством руководителя всего проекта (главный или генеральный конструктор, технический руководитель).

Процесс проектирования наряду с последовательно-параллельной структурой имеет обратные связи (на рис.2 не показаны), являясь итеративными, т.е. с неоднократным уточненным повторением уже пройденных этапов. К таким обратным связям относятся, в частности, и упомянутые выше корректировки технической документации по результатам испытаний и эксплуатации изделия..

Проектирование нового изделия – это всегда противоречивая задача для разработчика: с одной стороны, существует естественное стремление

использовать все последние достижения науки и техники в данной области, а с другой этому препятствуют многочисленные ограничения по срокам, стоимости, материальным ресурсам и др., оговоренные в ТЗ и еще реально существующие вне их. Выход здесь один – это компромисс в виде оптимальной преемственности с ранее созданными подобными изделиями и их компонентами. Основным средством для этого является, как известно, унификация. Иногда в ТЗ прямо оговаривается степень (процент) унификации.

Что касается творческой части проекта, то она заключается в изобретательстве, т.е. в предложении и использовании новых технических идей – способов и устройств для более эффективного решения стоящих инженерных задач.

Хотя изобретательство как всякий творческий процесс не поддается формализации, однако общий порядок и отдельные этапы этого процесса могут быть формализованы, что существенно повышает его эффективность.

Общий порядок изобретательства можно представить так:

- определение к какому роду изделий относится подлежащее созданию новое изделие (индукция) и построение обобщенной модели изделий этого рода;
- выделение из этого рода прототипов того же или близкого назначения и анализ их достоинств и недостатков;
- собственно изобретение – поиск новых вариантов искомого изделия (дедукция);
- сравнительный анализ этих вариантов и прототипов и формулировка новизны окончательного решения рассматриваемой технической проблемы.

Хотя творческий процесс идет подсознательно, можно назвать следующие три типа интуитивного мышления, часто отмечаемые крупными проектантами-практиками:

1. Формирование технических систем с требуемыми новыми свойствами на основе комбинаций известных решений.
2. Поиск нужных идей на основе ассоциаций в окружающем мире, включая живой, т.е. использование решений, существующих в других известных сферах.
3. Создание на основе воображения и фантазии идеализированных образцов желаемых изделий и нахождение путей их реализации. К этому типу творчества относится, в частности, и известные приемы изобретателей представлять себя в роли частей изделия, трансформировать известные изделия, изменяя их размеры, связи, инвертировать виды движений и т.д.

Изобретения могут иметь различную степень новизны, различный уровень от усовершенствования известного прототипа до новой идеи и открытия. Последнее уже выходит за рамки инженерного творчества и относится к творчеству научному. Между научным и инженерным

творчеством, как уже упоминалось, имеется принципиальное различие. В науке – это открытия новых фактов и закономерностей, а в инженерно-технической области – это создание на основе этих закономерностей новых образцов техники. Правда, нередко при этом получаются и новые научные данные вплоть до открытий. Наиболее часто это происходит при создании принципиально новых видов техники, что сами по себе должно рассматриваться как научная деятельность, поскольку такие разработки не могут полностью базироваться на научно обоснованных методах расчетов, конструирования и т.д.

1.2. Теоретические основы проектирования технических систем.

С позиций кибернетики и прежде всего теории управления проектирование можно рассматривать как процесс управления и соответствующую ему систему управления. Такой системный подход к проектированию технических систем предложено было даже назвать «инженерной кибернетикой» [5]. Для теоретического осмысления процесса проектирования и разработки на этой основе инженерных методов проектирования технических систем могут быть применены математический аппарат и методология этих наук: математическое моделирование, методы оптимизации решений, методы управления и исследования больших систем. Действительно, как можно видеть из рис.2, система проектирования может рассматриваться как система управления с общей и местными обратными связями, параллельными прямыми каналами и несколькими иерархическими уровнями.

Модель такой системы может быть в простейшем случае детерминированной и даже одноконтурной и стационарной, а может быть сетевой, вероятностной, теоретико-игровой, информационной, эвристической.

Сетевые модели, в частности, широко используется для планирования процесса проектирования во времени. Основа сетевых моделей (сетевых графиков) – теория графов. Сетевые модели удобны для оптимизации процесса проектирования (путем сокращения критического, т.е. наиболее длинного пути и выравнивания длин всех параллельных путей). Основные принципы такой оптимизации: распараллеливание работ, распределение ресурсов между ними в пользу критических путей, организационные и технологические изменения работ с целью сокращения их длительности. В информационных моделях процесс проектирования трактуется как процесс переработки информации. В основе эвристических моделей лежат неформализуемые эвристические методы и приемы.

Наиболее важная задача при разработке модели системы проектирования – разбиение ее на части, образующие структурную схему системы проектирования (см.рис.2). Здесь необходим системный подход к создаваемому изделию. Прежде всего анализируются все

внешние связи изделия и формализуются в виде входных и выходных воздействий, как положено в теории автоматического управления. Затем выделяются функциональные части изделия с учетом их взаимодействия. В результате составляется **структурная схема системы проектирования изделия**, включающая все его части и все перечисленные выше этапы процесса проектирования.

Следующая задача – разработка **алгоритма процесса проектирования**, соответствующего структуре схемы проектирования. Как говорилось выше, этот алгоритм будет обязательно интерактивным. На каждом шаге итерации разработчик ищет возможно наиболее совершенное решение, постепенно уточняя и усложняя задачу. В начале он работает в рамках содержания ТЗ, а заканчивает наиболее полным представлением о модели создаваемого изделия в виде рабочего проекта.

Следующая задача процесса проектирования – разработка укрупненного плана решения задачи в виде последовательности действий (этапов) от ТЗ до готового проекта, т.е. разработка **стратегии проектирования**. Для каждого такого действия должна быть выбрана методика. В результате стратегия проектирования представляется в виде совокупности последовательно применяемых методик.

Существует пять основных типов стратегий: линейная, циклическая, разветвленная, адаптивная и случайная. **Линейная стратегия** состоит из цепочки последовательных действий (этапов), каждое из которых зависит только от результата предыдущего действия и не зависит от последующих. Это наиболее простая стратегия, соответствующая одноконтурной структуре системы проектирования без обратных связей.

Циклическая стратегия реализует итеративный процесс синтеза, когда после получения результатов очередного действия осуществляется возврат к одному из предыдущих действий и его уточненное повторение. В структуре системы проектирования этому соответствуют местные обратные связи. Это более сложная стратегия по сравнению с линейной. Наличие замкнутых контуров может создать для проектировщика «порочный круг», выход из которого потребует изменения самой структуры системы.

Разветвленная стратегия включает параллельные и конкурирующие действия (этапы), т.е. операции «и» и «или», по результатам которых производится изменение стратегии, т.е. структуры.

Адаптивная стратегия предполагает определение сначала только первого действия, а выбор последующего осуществляется в зависимости от результата первого действия и т.д. Структура системы проектирования при такой стратегии является самоорганизующейся. Это наиболее совершенная, но и сложная стратегия. Ее недостаток – в непредсказуемости сроков и соответственно стоимости проекта.

Случайная стратегия основана на случайном поиске решения и не имеет плана действий.

Реальные стратегии проектирования и соответствующие им системы проектирования обычно представляют собой комбинацию перечисленных выше типовых стратегий и структур системы.

На всех этапах проектирования частей изделия и изделия в целом разработчик обычно в разной последовательности выполняет следующие типовые процедуры: синтез, анализ, принятие решения, создание моделей. При этом на каждом последующем этапе эти процедуры уточняются и углубляются.

Процедура синтеза – это формирование принципов действия и технических решений задачи.

Анализ – это в данном случае прежде всего проведение и оценка результатов математических и экспериментальных исследований.

Принятие решения – типовая процедура при проектировании нового изделия, заключающаяся в выборе наилучшего, неизбежно компромиссного решения из некоторого множества вариантов (альтернатив). Наилучшее решение – это решение оптимальное по определенным критериям качества в рамках заданных в ТЗ ограничений на характеристики изделия. Как правило, критериев и ограничений несколько. Именно поэтому принятие решения – задача всегда компромиссная.

Если варианты решения можно описать математически, появляется возможность формализовать задачу принятия решения на базе теории оптимизации и применения ЭВМ. Для этого используют известные методы оптимизации (поисковые, аналитические, численные, комбинаторные, теоретико-игровые, стохастические, эвристические).

На практике часто возникает проблема оптимизации качественных характеристик. В этом случае, чтобы применить количественные методы оптимизации, необходимо предварительно решить задачу оценки этих характеристик. Для этого составляется множество допустимых оценок, а затем в его рамках определяется оценка каждого рассматриваемого объекта. Делается это с помощью опроса специалистов (экспертиза, анкетирование и т.п.) и специальной обработки результатов их оценок (например, методами математической статистики с использованием дисперсии оценок как меры согласованности мнений экспертов и т.п.).

Разновидностью определения множества допустимых оценок является задача ранжирования. Здесь множество объектов упорядочивается в систему путем расстановки их по убыванию или возрастанию некоторого количественно неизмеряемого признака. Ранг объекта – это его место в этой последовательности.

Существует ряд методов экспертных оценок: Дельфи, ПАТТЕРН, методы, основанные на теории нечетких множеств и др. Так, в методе Дельфи, разработанном в 1963 г. в корпорации РЭНД (Хелмером и Далки), используется идея обратной связи путем анонимного ознакомления экспертов с мнениями их коллег, высказанными на предыдущих турах опроса. По методу ПАТТЕРН или прогнозного графа,

разработанного той же фирмой, на основе экспертных оценок строится дерево решений как модели сложной сети взаимосвязей. После этого сложная задача разбивается на более простые подзадачи, каждая из которых отрабатывается на ЭВМ.

Именно корпорация РЭНД ввела в 1948 году термин «системный анализ», под которым понимались методы исследования сложных систем, для которых формальные математические методы недостаточны и их необходимо дополнить эвристическими методами, основанными на интуиции и опыте. В дальнейшем понятие системный анализ приобрело более широкий смысл, охватив все и математические и эвристические методы, объединенные концепцией системного подхода к анализу и ориентированные прежде всего на сложные системы.

Моделирование технических систем – это основное средство как анализа, так и синтеза проектируемых систем. Существуют три основных типа моделей: эвристические, физические и математические.

Эвристические модели формируются в воображении проектантов в виде совокупности некоторых образов и аналогий, выражающих проектные идеи общего образа будущей технической системы. Эвристические модели – это основа новых технических решений и постановки задач проектирования.

Физическая модель может иметь ту же или другую физическую природу по сравнению с проектируемым изделием. В первом случае моделирование основано на теории подобия и заключается в изменении масштаба изделия. Например, при проектировании дамбы, защищающей Санкт-Петербург от наводнений, была создана ее физическая модель. При проектировании электроэнергосистем используются их физические модели, построенные из электрических машин, трансформаторов и других компонентов небольшой мощности.

Создание моделей другой физической природы чем у проектируемого изделия основано на понятии изоморфизма, т.е. взаимном соответствии физически различных явлений, когда протекающие в них процессы имеют одинаковое математическое описание. Пример изоморфизма – колебательные процессы физически разной природы (механические, электромагнитные и др.), которые подчиняются общей теории колебаний.

Физическое моделирование особенно важно при рассмотрении процессов, которые недоступны для наблюдения или невоспроизводимы из-за масштабности, энергетики, продолжительности и т.п.

При физическом моделировании достаточно сложных технических систем часто применяют оба типа моделей для различных частей системы – без изменения и с изменением физической природы. Так, например, при упомянутом выше моделировании энергосистем отдельные части системы такие как турбины моделируются с помощью устройств другой физической природы.

Математическое моделирование основано на математическом описании рассматриваемого изделия, пригодном для его решения на современных ЭВМ, что и является его математической моделью. Каждый объект моделирования может иметь множество математических моделей, описывающих определенные свойства этого объекта. Например, электрический двигатель может иметь математические модели как объекта управления в составе привода, модель его механических свойств (механические напряжения, деформации, прочность и т.п.), тепловую модель (температурные поля, условия охлаждения и пр.), массо-габаритную модель (для исследования компоновки объекта, куда входит этот двигатель) и т.д..

Существуют три основных типа математических моделей, ориентированные на моделируемые объекты различной сложности:

- аналитические,
- имитационные,
- семиотические.

Аналитические модели применимы для достаточно простых объектов, например, для упомянутого выше электрического двигателя. Они основаны на математическом описании реальных физических процессов, происходящих в объекте. Адекватность модели объекту устанавливается сопоставлением ее с результатами экспериментального исследования объекта. Эта операция называется идентификацией и для нее разработаны соответствующие методики [6].

Имитационные модели применяются для более сложных объектов, для которых отсутствует аналитическое их описание или оно слишком сложно для использования в ЭВМ. Имитационная модель адекватно описывает зависимость выходных переменных от входных, включая возмущения. При этом объект рассматривается как «черный ящик» с неизвестным принципом действия и структурой.

Вариантом имитационной модели является ассоциативная модель [7], которая имитирует принцип действия мозга при формировании моделей объектов внешней среды путем обучения. Модель автоматически синтезируется в ассоциативном запоминающем устройстве в результате накопления в нем снимаемых с моделируемого реального объекта множества дискретных значений выходных реакций на конкретные входные воздействия. Такая ассоциативная модель позволяет выполнять интерполяцию и распознавать ситуацию на входе по неполному набору составляющих входного воздействия.

Для технических систем с известной структурой имитационные модели составляются для отдельных ее частей. Если для некоторых из этих частей возможно получить аналитическую модель, в целом получится комбинированная имитационно-аналитическая модель системы.

Семиотические модели применяются для наиболее сложных объектов, когда возможно только лингвистическое их описание [8].

Типичный пример таких объектов – системы, включающие людей. Для таких моделей необходимы специальные языки близкие к естественному, но допускающие их использование в ЭВМ.

Семиотические модели создаются на основе экспертных оценок, по которым составляется таблица соответствий выходных реакций системы и возможных ситуаций (состояние системы, входные воздействия). По существу, здесь тот же подход к моделируемому объекту как к «черному ящику», что и при имитационном моделировании, однако вместо математического используется лингвистическое описание. Семиотическое моделирование основано на методах искусственного интеллекта и воспроизводит процессы в мозгу человека по формированию моделей объектов внешней среды при ее изучении и выработке поведенческих реакций на внешние ситуации. Поэтому семиотические модели можно даже выделить из математических моделей в отдельный тип моделей.

При разработке математических моделей сложных систем используют алгоритмические и эвристические методы системного анализа, рассмотренные в следующем параграфе.

Математическое моделирование вместе с натурными экспериментами на макетах, а затем и образцах создаваемого изделия – основной арсенал средств на всех этапах проектирования. Наиболее эффективно их комплексное применение, которое позволяет получить результаты недостижимые для каждого из этих средств в отдельности. В качестве примера на рис.3 показана функциональная схема комплекса комбинированного физического и математического моделирования, предназначенного для наземных испытаний космических объектов с имитацией условий невесомости. Основное назначение комплекса –

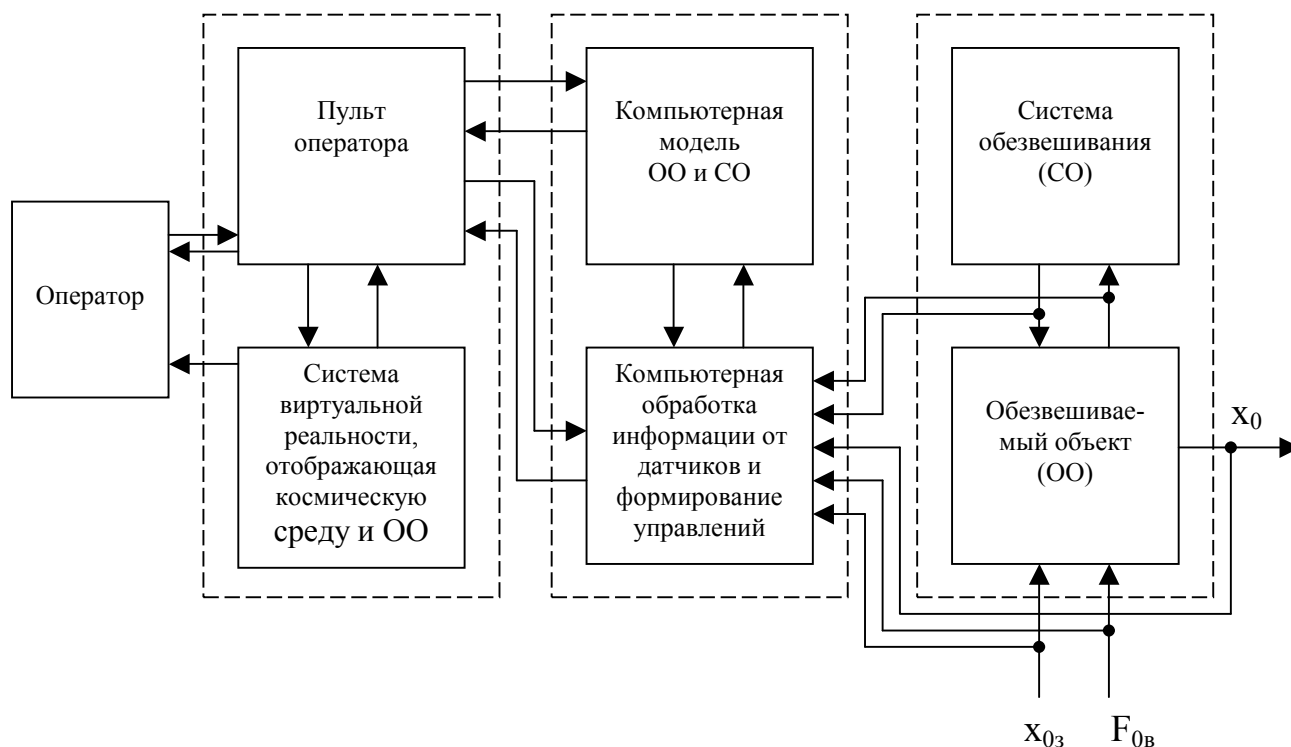


Рис.3. Функциональная схема комплекса комбинированного математического и физического моделирования объектов космической техники: X_0 – вектор координат обезвешиваемого объекта (ОО), X_{03} – вектор задающего управляющего воздействия на систему управления ОО, F_{0B} – вектор внешнего возмущающего силового воздействия на ОО.

отработка бортовых манипуляторов многоразового космического корабля «Буран» (см. параграф 3.6). Комплекс включает систему обезвешивания (СО), являющуюся физической моделью условий невесомости для обезвешиваемого объекта, и компьютерную систему математического моделирования этого объекта в космосе. В комплекс входит так же система компьютерной обработки получаемой первичной информации и управления комплексом, в том числе со стороны оператора.

Основные функции компьютерной системы комплекса следующие:

1. Отработка программ натуральных исследований и методики этих исследований.

До начала работы на компьютерной модели выполняется и отлаживается вся намеченная программа испытаний. В результате помимо уточнения программы и отладки методики натуральных испытаний испытатели получают полный протокол ожидаемых результатов.

2. Замена части натуральных исследований компьютерным числовым экспериментом.

Это, во-первых, повышает производительность испытаний в целом за счет интерполяции на модели результатов отдельных натуральных испытаний, количество которых может быть соответственно существенно сокращено. Во-вторых, это существенно расширяет перечень операций, режимов и диапазоны изменения варьируемых

параметров как объекта испытаний, так и исследуемых операций (скорость и величина перемещений, типы траекторий и т.п.) сверх технических возможностей физической части комплекса за счет экстраполяции результатов натуральных исследований.

3. Сопровождение натуральных испытаний компьютерным моделированием в реальном масштабе времени с целью контроля правильности функционирования и точности получаемых результатов с возможностью подстройки системы управления системой обезвешивания, а также проверки и повторения сомнительных из них.

4. Контроль (оценка) технического состояния физической части комплекса, диагностика неисправностей и сопровождение ремонтных и наладочных работ.

5. Обучение и тренировка операторов для управления испытываемыми объектами.

Для выполнения последней функции компьютерная модель состыковывается с натуральным пультом управления этим объектом. Кроме того, оператор имеет возможность наблюдать на экране в реальном времени движение объекта, а также при необходимости и имитированную окружающую объект среду.

Для реализации перечисленных функций компьютерная модель дополнена следующими программами:

1. Автоматическая настройка варьируемых параметров системы управления системой обезвешивания по заданным критериям оптимальности.

2. Автоматическое сопоставление натуральных и компьютерных результатов в реальном масштабе времени с оценкой их расхождения и выдачей сигнала при выходе последних за установленные пределы.

3. Запоминание и обработка получаемых результатов испытаний с последующей выдачей протоколов испытаний с таблицами и графиками первичных и вторичных (после обработки) данных.

Описанный комплекс демонстрирует принципиально новые возможности комплексирования физического и вычислительного экспериментов. Эти возможности включают также удаленное использование таких комплексов, в том числе с пространственным распределением и децентрализацией как вычислительных так и физических их составляющих. Так, модель сложной физической системы может быть составлена из пространственно разнесенных натуральных и физических моделей частей системы, дополненных на местах компьютерными моделями до полного состава моделируемой системы и связанных общей компьютерной сетью. В результате открывается возможность организации распределенных вычислительно-физических экспериментов и создания соответствующих исследовательских комплексов. К проблемам, при решении которых рассматриваемый комплексный подход может дать принципиально новые возможности, в частности относятся:

- авиационные и ракетнокосмические системы;
- интеллектуальные робототехнические системы;
- комплексные испытательные стенды новой сложной техники, в том числе для сопровождения ее натурных испытаний в естественных особенно экстремальных условиях (космос, глубины океана и т.п.);
- глобальные эксперименты по проблемам экологии, телекоммуникаций, энергетики.

Область применения и значение подобного комплексного вычислительно-физического эксперимента при исследовании сложных объектов в ближайшее время будет быстро расширяться не только в связи с усложнением создаваемых технических систем, но и по мере совершенствования вычислительной и телекоммуникационной техники.

1.3. Техническое творчество.

Как было отмечено в предыдущем параграфе, процесс проектирования новой техники – это прежде всего процесс творческий, основа которого интуиция. Рассмотрим это понятие, как его трактуют психологи. Интуиция есть результат совместной работы двух полушарий головного мозга – правого образного и левого логического мышления. У новорожденных левое полушарие работает как правое параллельно с ним, но постепенно оно специализируется на анализе образов внешней среды, выделяемых правым полушарием (латерализация). Постепенно полушария начинают функционировать последовательно циклически доминируя: когда одно полушарие активизируется в ходе решения какой-либо задачи, другое притормаживается (реципрокность).

Каждое полушарие имеет свой язык, свою память, свою модель мира в ней (внешнего и своего внутреннего), по своему преобразуют информацию.

Язык правого полушария образный, а левого вербальный (словесный).

Память хранит и упорядочивает информацию и имеет иерархическую структуру. В правом полушарии память ситуативная – это образы объектов и явлений мира. А в левом память категориальная – это понятия, знания, семантика.

Эта информация ассоциативно связана в правом полушарии по месту и времени, а левом – по сходству по абстрактным признакам (принадлежность к классу) и логическим причинно-следственным связям. Запоминание справа часто произвольной, а слева сознательное. Память правого полушария позволяет быстро узнавать, а левого – определять свойства и экстраполировать ситуации.

Модели мира – правая и левая так же иерархические. Наряду с фактической позитивной информацией о мире они содержат систему стереотипов и запретов (психологических, социальных,

профессиональных, возрастных и т.д.), которые негативно влияют на творчество, поскольку ограничивают и сдерживают мысль.

Верхний уровень в иерархии моделей мира составляет система мотивов поведения личности. Она формируется всю жизнь по мере накопления опыта и составляет основу личности. В нее входят идеалы и моральные ценности, сознательные цели (в левом полушарии) и неосознанные установки (в правом) для действий в определенных ситуациях.

Каждая точка одного полушария морфологически связана с соответствующей точкой другого по горизонтали, т.е. на своем иерархическом уровне.

Обработка информации, мышление в правом полушарии осуществляется зрительно в виде действий с реальными объектами путем их целостного восприятия с выделением характерных для образного мышления признаков, определяющих их структуру и связь частей. Это – форма (скелет, каркас), регулярность (прежде всего симметрия), сложность, сходство. Для этого осуществляются определенные свойственные только правому полушарию пространственные преобразования (сжатие, параллельный перенос, вращение и т.п.).

Такие же действия осуществляются в правом полушарии и с полученными из левого полушария абстрактными образами – изображениями, символами. (Так, например, появились модели атома и ДНК.). Наиболее обобщенный оператор правостороннего мышления – это образная чувственная идея. Для передачи другим людям ее необходимо переработать в левом полушарии, исключив чувственную окраску.

В левом полушарии обработка информации заключается в ее вторичном преобразовании с целью вскрытия логических отношений вне времени и пространства путем выделения локальных классификационных признаков (контур и т.д.), их многоуровневого обобщения, собственно классификации объектов и явлений. При этом используются операции анализа, синтеза, обобщений, абстрагирования.

В процессе мышления каждое полушарие принимает задачу от другого и продвигает ее решение в соответствии со своей моделью мира до исчерпания своих возможностей. После этого оно передает ее опять другому полушарию. Так циклически доминируя полушария совместно решают задачи.

Общая типовая схема интуитивного решения задачи включает три следующих этапа. Вначале в левом полушарии осуществляется сознательная постановка задачи, ее анализ и попытка решения. Эмоциональная неудовлетворенность отрицательным результатом последнего приводит к доминированию правого полушария, переводя там задачу в подсознание. В результате последующего ее решения возникает положительная эмоция, которая приводит к доминированию

левого полушария, выявлению там решения и его последующего логического оформления. Возможны варианты этого процесса. Например, задача может возникнуть образно в подсознании правого полушария под действием какой-то эмоции. При этом в зависимости от характера задачи ее решение может быть получено как там же, так и в левом полушарии.

Основа творческого процесса – образное мышление правого полушария. Хотя этот подсознательный процесс непосредственно не наблюдаем, по косвенным признакам в нем можно выделить следующие базисные операции поиска решений: конденсация, смещение и символическая трансформация [9].

Конденсация – это операция объединения различных элементов в обобщенный образ путем типизации (например, образ собаки, автомобиля).

Операция смещения заключается в переносе внимания с основных свойств объекта на второстепенные, на детали.

Символическая трансформация – это операция психологически обратна смещению: сложный объект обобщенно представляется некоторым эмоционально окрашенным символом, который возбуждает память на активизацию всего, что так или иначе может быть связано с этим объектом.

Проведение этих операций над постановкой, исходными условиями и целью задачи увязывают их, порождая контекст, ассоциативную среду для генерации гипотез ее решения на основании аналогий. Операции смещения и символической трансформации при этом выделяют из памяти множество ассоциаций, а операция конденсации путем случайных комбинаций синтезирует из этих компонентов варианты решений, подготавливая решение по аналогии.

Опираясь на перечисленные базисные операции разработаны следующие практические приемы активизации творчества по общей подготовке правого полушария к интуитивной деятельности и по созданию условий для выполнения каждой из базисных операций.

Правое полушарие надо тренировать для развития целостного и образного восприятия. **Восприятие целостности** развивается в поиске и вскрытии в объектах упорядоченности и закономерности в виде периодичности, регулярности, гармоничности, соразмерности. Это позволит оперировать объектами любой сложности, представляя их на основе этой общей закономерности.

Образность тренируется приведением словесных задач в зрительную форму (в картинку, схему, план). Образность важна для творчества, т.к. образ всегда имеет эмоциональную окраску, стимулирующую творчество.

Важным аспектом развития творческой активности правого полушария является преодоление названных выше различных подсознательных психологических запретов, стереотипов и штампов,

которые постепенно на основе опыта формируются в моделях мира. В стандартных ситуациях они облегчают жизнь, но в творчестве они мешают, создавая искусственные преграды. Для преодоления этих преград разработаны различные психологические приемы. В частности, рекомендуется расширять кругозор, преодолевать профессиональные догмы, учиться критически относиться как к авторитетам, так и к своим идеям.

Подготовка правого полушария перед решением конкретной задачи заключается сперва в концентрации внимания на задаче, а затем в расслаблении (релаксации) путем переключения внимания на мышечное состояние тела. Это создает необходимые условия для доминирования правого полушария. Для этого полезны методы аутотренинга.

Второе направление активизации творчества – это создание благоприятных условий для выполнения перечисленных выше базисных операций, подсознательно выполняемых правым полушарием.

Операция конденсации требует гармонического сочетания знаний узко профессиональных и более широких в смежных областях.

Операция смещения тренируется специальными методиками и играми, развивающими «боковое зрение», т.е. перенос внимания на эмоционально кажущиеся несущественными части задачи и умение по новому взглянуть на нее пусть даже фантастически.

Операция символической трансформации требует развития обратного переноса доминанты на эмоционально наиболее значимые части задачи, чтобы включать субъективные логически необоснованные ассоциации.

Поскольку творческий процесс, как показано выше, требует активного участия и левого полушария, его также надо готовить и тренировать для повышения эффективности творчества в целом. Для этого существуют, в частности, следующие рекомендации:

- уметь трансформировать постановку задачи, выявляя ее различные аспекты;
- учиться ставить неординарные, неожиданные вопросы по постановке задачи, чтобы по новому на нее взглянуть;
- развивать дивергентное мышление, тренируясь на решении соответствующих неоднозначных задач, - основы любого творчества;
- заниматься моделированием – физическим (учиться «думать руками») и компьютерным;
- периодически отходить от решаемой задачи, переключаясь на другую;
- учиться «принимать удары» (неудачи, критика и т.п.) и прежде всего смелости.

В целом для развития творческих способностей важно развивать наблюдательность, игру воображения, умение сосредотачиваться.

Творческие способности – основа самовыражения и самореализации человека. И хотя в своей основе они являются врожденными их можно

существенно развить, используя разработанные для этого различные методы и приемы, некоторые из которых были названы выше. В этой связи представляет также интерес как в психологии сопоставляются творческие способности (креативность) и понятие интеллекта, как общей умственной способности к познанию и решению задач. (Интеллектуал – это эрудит и человек общей высокой культуры.). Между этими понятиями нет однозначной зависимости. С одной стороны, можно быть интеллектуалом и не быть творцом. Более того, считается, что эрудиция может даже угнетать творческое начало. Однако, с другой стороны, как показывают многочисленные тесты, ниже определенного уровня интеллекта творчество вообще невозможно и уровень творческих достижений коррелирован с уровнем интеллекта. Однозначным является положение, что необходимым и определяющим для творческой активности является мотивизация. Совершенно очевидно, что творчество невозможно по обязанности и приказу. Оно требует сильного эмоционального стимула и чем он сильнее тем интенсивнее будет творческий процесс. Таким образом, интеллект – это, все таки, необходимое условие для творчества, которое однако не предопределяет его, а является только его потенцией. Изложенное также следует иметь в виду при решении задачи развития творческих способностей.

1.4. Методы проектирования технических систем.

Эти методы непрерывно совершенствуются в соответствии с развитием и усложнением как объектов проектирования, так и средств проектирования, включая ЭВМ, испытательные средства и т.д. В частности, в настоящее время все более актуальной становится задача развития новых методов автоматизированного проектирования на базе ЭВМ в виде САПР.

Напомним коротко историю развития методов проектирования. Первые методы проектирования – это методы создания изделий кустарями и ремесленниками (кустарный промысел). Ремесленник создавал свои изделия (телега, лодка, изба, храм и т.п.) без чертежей и эскизов. И хотя здесь, конечно, тоже происходило совершенствование методов создания различных изделий, все они имеют следующие общие черты:

- отсутствие чертежей и эскизов;
- решения отрабатываются непосредственно в процессе изготовления изделия (метод проб и ошибок);
- хранилищем информации об изделии является оно само, навыки ремесленников и иногда некоторые технологические приспособления (лекала и т.п.).

Сегодня основным методом проектирования является чертежный метод, при котором создаются сначала чертежи изделия, а затем по ним

осуществляется его изготовление. Такое проектирование с использованием чертежей появилось в XVIII веке. В России преподавание чертежей было введено в технических школах Петром I. Именно такую школу окончил, в частности, И.И.Ползунов.

Особенности чертежного метода:

- Создание проекта изделия отделено от его изготовления. Это позволяет, во-первых, «экспериментировать» на чертежах, а не на самом изделии и, во-вторых, осуществлять разделение труда разработчиков и изготовителей с отделением их друг от друга.
- Резко возросшие благодаря такому разделению труда темпы создания и изготовления изделий.
- Возможность создания изделий, которые принципиально не могут быть созданы одним ремесленником (большие суда, здания и т.п.).

Именно на этом этапе появились такие профессии, как проектант, конструктор, расчетчик, испытатель и т.д.

Наряду с указанными прогрессивными особенностями чертежный метод проектирования имеет существенный недостаток, ограничивающий области его применения. Речь идет о том, что над чертежом всего изделия в начальный период его создания, по-прежнему, работает только один человек. Как раньше ремесленник, он сначала вынашивает идею и общий вид изделия, а затем переносит все это на бумагу. Только после этого возможно подключение других специалистов. Это не позволяет привлекать несколько умов к наиболее ответственному и творческому этапу работы и поэтому ограничивает не только сроки и технический уровень разработок, но и, что имеет принципиальное значение, степень сложности изделий, которые могут быть созданы таким методом, основанном в значительной степени на знаниях и опыте одного человека.

Последнее обстоятельство является одной из основных причин поиска новых методов проектирования, основанных на коллективном творчестве. Для этого, по-видимому, необходимо, во-первых, чтобы руководитель проекта, поскольку такая личность во всех случаях должна сохраниться, стал как бы «мыслить вслух», чтобы другие специалисты могли следить за его мыслями и принимать участие в творческом процессе. Во-вторых, необходимо получить возможность уже на этом этапе разбивать сложные задачи на более простые, решаемые параллельно. Определенный опыт создания и применения новых методов проектирования такой направленности уже имеется, однако эта проблема находится еще в стадии решения, а основным методом проектирования, по-прежнему, остается пока чертежный метод.

Дадим краткую характеристику некоторым из таких новых методов проектирования, которые появились и развиваются в рамках традиционного чертежного метода, имея целью преодоление указанного

его недостатка. Все эти методы можно разбить на две группы – алгоритмические и эвристические [3, 5].

Алгоритмические методы – это формализованные методы, доведенные до математических алгоритмов процедуры проектирования. К ним относятся методы:

- морфологических карт;
- графов зависимостей;
- сеток связей;
- «через разделение к целому»;
- элементарных комбинаций;
- исключения избыточности;
- структурных карт;
- феноменологических и математических моделей;
- прямой минимизации при косвенном ограничении;
- сложной оптимизации и др.

Метод морфологических карт имеет целью расширить область поиска решений. Последовательность действий по этому методу такова:

- определяется перечень максимально независимых функций, которые должно выполнять изделие;
- составляется перечень возможных технических реализаций каждой из этих функций в виде таблицы – морфологической карты, в первом столбце которой перечисляются функции, а в каждой строчке – способы их осуществления.

Если для каждой функции выбрать какое-нибудь одно наиболее приемлемое решение, то их совокупность даст одно из возможных решений задачи в целом. В таблице этому решению будет соответствовать последовательность клеток сверху вниз, соответствующих выбранным решениям для отдельных функций. Таким образом может быть синтезировано несколько возможных решений, из которых затем надо выбрать наилучшее. На этой же карте показываются и уже существующие решения задачи как прототипы, если они известны. При выборе частных решений для отдельных функций учитывается необходимость их совместимости, а также техническая эффективность (стоимость, массогабаритные характеристики и т.д.).

Общее число теоретически возможных решений, охватываемых этим методом, может быть очень велико: так, например, таблица из 10 строк и 10 столбцов содержит 10 миллиардов комбинаций. Это и является, как сказано выше, основной целью метода морфологических карт – максимально расширить области поиска.

Для сложных комплексов, состоящих из нескольких технических систем метод морфологических карт, может иметь развитие в виде следующей двухэтапной процедуры. На первом этапе описанным выше исходным методом для каждой составляющей комплекс системы находится по несколько вариантов технических решений. На следующем этапе ищется наилучшее общее решение путем выбора тех из этих

вариантов решений, которые дают возможность осуществить в наибольшей степени унификацию и объединения их функциональных компонентов.

Для этого составляется таблица, в левой колонке которой заносится перечень составляющих комплекс технических систем, а в строках справа дается перечень компонентов, соответствующих выбранным вариантам реализации каждой системы. Анализ этой таблицы позволяет выбрать наилучшие варианты технического решения для каждой системы по указанному выше критерию унификации и объединения их функциональных компонентов.

В [10] предложена методика, основанная на использовании морфологической структуры системы в виде древовидного «графа входимости». На графе дается функциональный состав системы в виде иерархических узлов – уровней: 1-ый уровень – подсистемы, 2-ой уровень – их составляющие части, 3-ий – узлы последних и так до элементов, которые уже неделимы. Эта морфологическая структура системы дополняется данными о технических характеристиках и стоимости входящих в нее компонентов. Основное назначение этого метода – решение задач проектирования не отдельной технической системы, а типоразмерного ряда систем, обеспечивающего потребности определенного поля заявок (в отрасли, в стране и т.д.). Основным критерием оптимальности при этом обычно берется стоимость. При этом обязательно должна решаться задача унификации основных компонентов систем в рамках всего их ряда. Метод дает возможность определить оптимальное число членов этого типоразмерного ряда, их характеристики и характеристики унифицированных компонентов.

Метод графов зависимостей – это графический метод построения графа поиска решения в виде «дерева решений» и применения к нему определенных правил поиска искомого пути решения. Правила эти формализованы в виде задачи на оптимум выбранного критерия качества решения (Если поиск не формализован, тогда этот метод будет относиться уже к рассмотренным ниже эвристическим методам).

Большинство других алгоритмических методов также основано на теории оптимизаций, т.е. на математических методах нахождения оптимума функций и функционалов, выражающих критерии качества искомого решения.

Эвристические методы основаны на предпосылке, что процесс проектирования – это творческий процесс и как таковой он в принципе неформализуем и базируется на накопленном и упорядоченном в мозгу человека опыте и на интуиции. К таким методам относятся:

- метод мозговой атаки (мозгового штурма);
- метод синектики;
- метод элементарных вопросов;
- принцип «синергии»;
- метод наводящих операций и др.

Напомним наиболее известные из этих методов. Метод мозговой атаки имеет основной целью осуществить генерацию возможно большего числа идей по решению поставленной задачи для их последующего анализа. Он может применяться на всех стадиях проектирования.

Основные этапы этого метода:

- Отбирается группа лиц для генерации идей.
- Устанавливается для них основное правило: не критиковать идеи друг друга, а подхватывать их, максимально развивая и комбинируя.
- Участники разбиваются на несколько групп, члены которых за несколько минут записывают на карточках свои идеи по решению поставленной задачи. Затем эти идеи читаются вслух. При этом участники на своих карточках записывают появившиеся под влиянием услышанного новые идеи.
- Проводится классификация и оценка всех идей. Главную ценность при этом представляют не сами конкретные идеи, а выявленные новые направления поиска.
- Результаты передаются специалистам по данной проблеме для анализа и дальнейшего поиска в предложенных направлениях.

Метод синектики заключается в поиске новых идей путем стимулирования спонтанной деятельности мозга на основе использования аналогий. Для этого формируется группа специалистов разных профессий (группа синектики), которая в порядке свободных бесед, направляемых руководителем группы, генерирует всевозможные аналогии требуемому изделию – прямые (например, из биологических систем), субъективные (путем представления себя или частей своего тела в роли изделия и т.п.), символистические, абстрактные, фантастические. Конечным результатом работы группы должен быть образ, макет изделия. Обычный срок существования группы – несколько недель.

Довольно часто разработчик сталкивается с тупиковыми ситуациями, когда область поиска, в которой он ищет решение, не дает приемлемого решения. Для выхода из подобных положений предложен ряд **методов преодоления тупиковых ситуаций**. Все они могут быть сведены к следующим трем типам методов [11]:

- правила преобразований, применяемые к полученному неудовлетворительному решению;
- поиск новых взаимосвязей между частями неудовлетворительного решения;
- переоценка проектной ситуации.

Пример метода первого типа: записываются новые синонимы к словам, определяющим имеющееся неудовлетворительное решение, и на их основе ищутся новые идеи. Пусть, например, стоит задача поиска способа быстрой ликвидации луж на тротуаре после дождя. Возьмем заведомо неудовлетворительное решение – дожидаться их естественного

испарения и запишем различные синонимы для ключевого слова «испариться»: скрыться, улетучиться, рассосаться, исчезнуть, выветриться и т.д. Каждое из этих слов может натолкнуть на новые идеи решения задачи: слово «скрыться» – на решетчатое или перфорированное покрытие тротуара, слово «улетучиться» – на отсасывание воды уборочной машиной, «рассосаться» – на использование пористого покрытия, «выветриться» – сдувание сжатым воздухом и т.д.

Суть второго метода поиска новых взаимосвязей – в переборе совокупностей отдельных частей изделия с целью поиска возникающих при этом ассоциаций для новых решений. Например, при решении задачи усовершенствования телефонного аппарата следует рассмотреть попарно его части с целью выяснения возможностей их установки друг в друга, перемены местами, объединения и т.д.: трубка и наборный диск, микрофон и наушник, шнур и наборный диск, рычаг и наушник, наконец, весь аппарат и столик, на котором он должен стоять. В результате может возникнуть большое количество комбинаций для изобретения новых вариантов телефонных аппаратов.

Пример метода переоценки проектной ситуации: разработчик пишет предложение, выражающее суть тупика, в который он попал, и ищет синонимы употребленных при этом понятий, которые могут вызывать новые идеи для решения задачи.

Другой вариант этого метода – возврат к основной первичной функциональной потребности, которая должна быть удовлетворена, с целью поиска новых решений, свободных от недостатка ранее выбранного варианта, который привел к тупиковой ситуации. Например, при проектировании туннелей для автотранспорта возникает проблема отвода выхлопных газов, которая может привести в тупик. Однако, если вместо решения этой проблемы вернуться к первоначальной задаче туннеля и в ее рамках поискать решение, свободное от этой проблемы, можно, например, предложить транспортировку автомашин на платформах, работающих на двигателях, не выделяющих вредных газов [11].

Практика создания новой техники и изобретательства накопила большое количество методик и отдельных приемов решения инженерных задач наряду с перечисленными выше. Этот опыт получил сравнительную оценку и обобщения в литературе, в том числе в учебной [3,5,10,11,12,13,14,15]. Для инженеров-творцов новой техники – это важнейший источник профессиональной подготовки.

Мы рассмотрели современное состояние и тенденции развития методов проектирования технических систем. Следующий принципиальный шаг в развитии этих методов связан с автоматизацией проектирования процесса на основе применения ЭВМ, т.е. с САПР, и переходом в перспективе к безбумажному проектированию. Это будет рассмотрено в следующем параграфе 1.5. Дальнейший шаг в этом

направлении – это объединение на основе сквозной системы электронной документации САПР с гибкой автоматизацией производства в единую систему гибкого автоматизированного производства (ГАП).

В заключение повторим общий порядок методического обеспечения задачи проектирования технических систем. Он включает три этапа:

- 1) Постановка общей задачи проектирования.
- 2) Разработка общего плана, т.е. стратегии проектирования.
- 3) Выбор методов решения.

Этап постановки задачи включает формулировку задачи проектирования, ее анализ и поиск возможных путей решения.

Формулировка задачи заключается в составлении перечня и описании функций создаваемой технической системы, а затем технических требований к ней.

Анализ задачи предполагает определение компонентов задачи, т.е. заданных параметров (внешние условия и т.д.), варьируемых параметров, подлежащих определению разработчиком, и диапазонов их возможных изменений, т.е. их ограничения.

Поиск путей решения задачи включает:

- поиск существующих технических систем, пригодных для выполнения заданных функций, в том числе и при условии доработки этих систем;
- поиск существующих технических систем, которые могут служить аналогами создаваемой системы;
- выработку на этой основе путей решения задачи создания требуемой системы.

Второй этап разработки общего плана проектирования заключается в создании укрупненного плана решения задачи проектирования на основе использования известных типов стратегий. Для этого путем анализа функций системы осуществляется ее разбиение на части, которые затем делятся на еще более мелкие части и т.д. На этой основе путем наложения связей на части системы и введения внешних воздействий осуществляется синтез структуры системы.

На базе синтезированной схемы системы производится разработка плана ее создания, т.е. общей стратегии проектирования в виде совокупности типовых стратегий.

Третий этап выбора методов решения выполняется отдельно для каждого этапа проектирования. В результате получается совокупность методов проектирования системы в целом. На этой основе далее осуществляется сам процесс проектирования в виде синтеза вариантов создаваемой системы и выбора из них оптимального.

1.5. Автоматизация проектирования технических систем.

Автоматизация проектирования – одно из важных направлений применения ЭВМ в инженерном деле. Реализуется оно в виде САПР – человеко-машинных систем автоматизированного проектирования, где человек решает прежде всего неформализуемые творческие задачи, а ЭВМ – все остальные, т.е. алгоритмизируемые задачи [3,16].

В тех случаях, когда САПР заменяет часть разработчиков и повышает производительность их труда, целесообразность и эффективность применения таких систем обосновывается экономически. Однако САПР создают и принципиально новые возможности проектирования объектов такой сложности, создание которых, тем более в реальные сроки старыми методами чертежного проектирования невозможно. Именно поэтому, учитывая постоянное усложнение техники и сокращение сроков ее создания, с САПР связывается очередной этап развития методов и систем проектирования – переход от чертежного к безбумажному проектированию.

Быстро развивается процесс использования ЭВМ для решения не только рутинных, но и творческих задач. Сегодня ЭВМ весьма эффективно используются при решении таких задач в диалоговом режиме, снабжая человека систематизированной информацией, обрабатывая и анализируя ее по заданным правилам и критериям. Однако в перспективе особенно в переходе к ЭВМ с искусственным интеллектом, САПР будут решать самостоятельно все более сложные творческие задачи, оставляя человеку выдачу заданий и контроль за ходом и результатами решения.

Сегодня применение САПР находится на этапе все более широкого внедрения в инженерную деятельность, обеспечивая выполнение следующих функций проектирования:

- разработка структуры изделия и его конструкции;
- расчет параметров изделия;
- изготовление чертежей;
- разработка технологических карт;
- разработка программного обеспечения;
- планирование производства.

САПР включает технические средства, математическое, программное, информационное, а также методическое и организационное обеспечения.

Техническое обеспечение – это ЭВМ и смежное оборудование для хранения, передачи и обработки данных, включая графопостроители, дисплеи и другие средства общения проектировщика с ЭВМ.

Непосредственное взаимодействие проектировщика с ЭВМ осуществляется в САПР с помощью терминалов пользователя в виде АРМ – автоматизированных рабочих мест. (В их составе микро- или мини-ЭВМ, дисплеи, графопостроители.) Основные типы АРМ у нас –

это АРМ-Р для проектирования радио- и микроэлектронной аппаратуры; АРМ-М для проектирования механических и оптических изделий; АРМ-Т для технологической подготовки производства; АРМ-П для программирования; АРМ-У для административного управления.

Математическое обеспечение САПР – это совокупность математических моделей объектов проектирования, методов и алгоритмов различных проектных процедур.

Программное обеспечение реализует на языке ЭВМ алгоритм автоматизированного проектирования.

Информационное обеспечение – это базы данных и знаний по теме выполняемых проектов, включая сведения о прототипах и аналогах, используемых в них компонентах и т.п.

Методическое и организационное обеспечение – это набор документов по эксплуатации САПР и организации процесса проектирования в целом.

Основными функциональными частями современных САПР являются системы автоматизированного (компьютеризированного) конструирования и технологической подготовки производства. По международной терминологии – это системы CAD (Computer Aided Design) и CAM (Computer Aided Manufacturing). Кроме того, в САПР может входить еще система автоматизированного инженерного анализа проекта (проверка расчетов и решений) – CAE (Computer Aided Engineering). Совокупность этих систем обозначается CAD/CAM/CAE.

В ходе бурного внедрения компьютерно-сетевых технологий во все сферы человеческой деятельности начинают создаваться системы сквозного информационного обеспечения разработок, производства и эксплуатации изделий, которые охватывают все этапы жизненного цикла изделий. Первая такая система, разработанная Министерством обороны США для своей продукции машиностроения и приборостроения, получила название CALS (Continuous Acquisition and Life – Cycle Support). Основа CALS-технологии – электронная (компьютерная) модель изделий с трехмерной динамической визуализацией и использованием технологии виртуальной реальности.

Наряду с указанными выше системами САПР в CALS входит еще система управления процессом проектирования изделий и всей информацией о них, их производстве, поставках, эксплуатации и т.д. – PDM (Product Data Management). Таким образом в целом CALS-технология охватывает комплекс систем CAD/CAM/CAE/PDM.

На базе подобных технологий создаются виртуальные предприятия, возникающие в результате присоединения к некоторому базовому предприятию других организаций – партнеров по разработкам, поставщиков, сбытовиков, заказчиков, объединенных общим информационным пространством с общей системой управления и базой данных.

Опыт применения CALS-технологии показывает, что она позволяет сократить сроки и стоимость разработок новой продукции и освоения ее в производстве, повысить качество и уровень технического обслуживания поставляемых изделий в эксплуатации. Учитывая эти достоинства CALS-технологии потребители все чаще начинают выставлять в качестве обязательного требования к приобретаемой продукции ее соответствие этой технологии. Прежде всего это относится, конечно, к наиболее сложной и наукоемкой продукции.

ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

2.1. Проектирование систем автоматизированного управления (САУ).

Рассмотрим применение изложенных выше общих положений к некоторым конкретным типам технических систем. Начнем это рассмотрение с систем автоматического управления. Их характерная особенность состоит в том, что главной задачей при их проектировании является синтез структурных схем системы, а конструирование чаще всего имеет подчиненное значение.

На всех этапах проектирования САУ (предварительное, эскизное, техническое и рабочее) повторяются, уточняясь, следующие типовые процедуры [15,17]:

- Синтез в виде последовательности топологического, структурного и параметрического синтезов с разработкой соответствующей документации.
- Конструирование аппаратуры в виде последовательности решения задач компоновки, размещения и трассировки с разработкой конструкторско-технологической документации.
- Разработка программного обеспечения.

К этому, разумеется, добавляются еще такие специфические обязательные этапы как математическое и физическое моделирование и испытание образцов.

Синтез САУ рассматривается в рамках теории автоматического управления, поэтому здесь на нем останавливаться не будем. Напомним только, что в его основе лежит та же рассмотренная выше общая идея всякого синтеза, заключающаяся в разбиении системы на части (принцип декомпозиции).

Конструирование САУ заключается в объемном размещении аппаратуры системы с учетом заданных в ТЗ ограничений прежде всего объема и массы. Первая задача при этом – **компоновка системы**. Она начинается с деления частей системы на иерархические уровни от элементарно простого (микросхемы и другие элементы схем) до все более сложного (плата печатного монтажа, блок, прибор) путем объединения элементов одного уровня в элемент следующего уровня. После этого осуществляется собственно процесс компоновки, заключающийся в размещении конструктивных элементов нижнего уровня в элементах следующего уровня. В результате создается «конструкторская архитектура» системы, определяющая ее форму, размеры и массу. Качество компоновки оценивается такими критериями, как плотность геометрической упаковки (число частей системы в единице объема), заполнение объема (относительный объем, занимаемый активными материалами, которые принципиально необходимы для осуществления реализуемого системой физического процесса) и относительная масса

(масса активных материалов по сравнению с общей массой, включая вспомогательные и конструкционные материалы).

Кроме этих критериев при проектировании систем управления учитываются (минимизируются) такие показатели, как число блоков, число соединений между ними, величина задержки сигналов, затраты на техническое обслуживание. По этим показателям также составляются критерии качества систем.

В целом компоновка – это оптимизационная задача размещения определенного количества взаимосвязанных элементов в ограниченном (минимизируемом) объеме с использованием перечисленных выше критериев. Существуют соответствующие методы решения этой задачи, в том числе на ЭВМ (с помощью САПР).

Размещение – следующая после компоновки задача конструирования системы управления, заключающаяся в размещении блоков одного уровня иерархии в монтажном пространстве блока следующего уровня.

Трассировка – это третья и, пожалуй, самая трудоемкая задача конструирования системы управления. Она заключается в синтезе монтажных соединений между выводами блоков в соответствии с принципиальной схемой системы.

В начале этого параграфа было сказано, что конструирование аппаратуры САУ обычно имеет подчиненное значение, выполняясь после структурного и параметрического синтеза схемы системы. Соответственно выше и был рассмотрен порядок такого конструирования САУ при заданной его схеме. Однако в ряде случаев такая декомпозиция процесса проектирования на два независимых этапа неприемлема и синтез схемы САУ необходимо проводить с учетом зависящих от нее конструктивных параметров. Типичный случай – это, когда на первое место среди критериев качества выступает минимизация массо-габаритных параметров системы. Это, прежде всего, относится к бортовым САУ ракетно-космических, авиационных и т.п. объектов. При достаточно жестких ограничениях на габариты и массу аппаратуры приходится даже принцип действия системы выбирать, исходя из этих ограничений. Другой тоже типичный случай – экстремальные внешние воздействия (механические, температурные, электромагнитные и т.д.), которые так же могут накладывать ограничения не только на элементную базу аппаратуры, но и физический принцип действия системы. Например, в условиях невесомости неприменимы отдельные типы гидроскопов, датчиков ускорения.

Такие же ограничения могут создавать повышенные требования и по многим другим параметрам системы – по надежности, ресурсу, ремонтпригодности, серийности производства, стоимости и т.д. В следующей главе будут приведены соответствующие примеры.

2.2. Проектирование автоматизированных систем управления (АСУ).

Особенность этих систем по сравнению с САУ состоит в том, что это человеко-машинные системы, в которых человек обычно входит в контур управления и должен работать в реальном масштабе времени. Последним они принципиально отличаются, например, от таких человеко-машинных систем как САПР. На рис.4 показаны два основных типа таких систем. Пунктиром выделена управляющая часть системы, с которой взаимодействует опера-

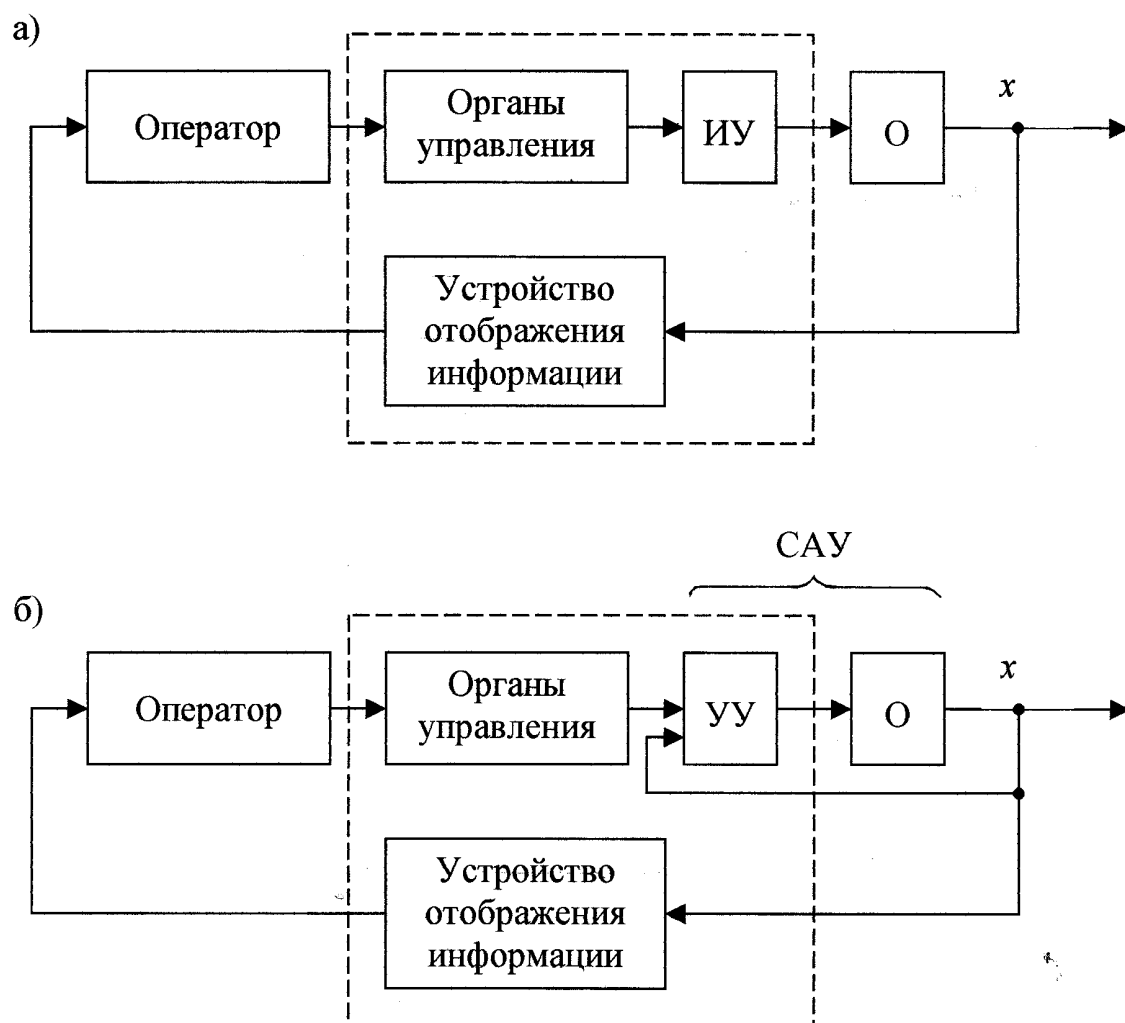


Рис.4. Функциональные схемы АСУ: О – объект управления, УУ – устройство автоматического управления, ИУ – исполнительное устройство.

тор. Схема на рис.4,а соответствует системе, где весь процесс управления осуществляется через оператора, а схема 4,б – двухуровневой системе, где оператор реализует верхний уровень управления над нижним в виде САУ. Оператор, осуществляя контроль над САУ и эпизодически по мере необходимости вмешиваясь в ее работу реализует адаптивный уровень управления.

Человек-оператор в первом приближении может быть представлен звеном чистого запаздывания со временем запаздывания в десятые доли секунды. Более точно оператор описывается нестационарным нелинейным звеном, поскольку в действительности задержка его реакции состоит из двух составляющих – первая в виде латентного (скрытого) периода реакции, т.е. чистого запаздывания реакции оператора от появления воздействия на его органы чувств до начала двигательной реакции и вторая в виде моторной компоненты, охватывающей время ответного движения. Длительность латентного периода непостоянна и различна для разных органов чувств. Она зависит от интенсивности входного воздействия, уменьшаясь с его ростом. Однако очень сильное воздействие, наоборот, может вызвать так называемое охранное торможение реакции. Моторная компонента тоже является функцией интенсивности внешнего воздействия, его характеристик и условий работы.

Параметры оператора существенно зависят от его состояния и обучения. Состояние (работоспособность) оператора изменяется в процессе работы, проходя три фазы: обучение, установившийся режим и утомление. Наконец, оператор может просто ошибаться, что означает отказ системы управления. Надежность оператора характеризуется статистически средней интенсивностью ошибок. Эта величина помимо состояния оператора зависит от количества различных операций, выполняемых оператором: с ростом их числа интенсивность ошибок, вначале сохраняясь неизменной, затем начинает расти вплоть до перехода оператора в состояние полной неработоспособности. В соответствии с этим разработчик системы при значительном числе операций, подлежащих выполнению человеком, должен определить оптимальное число требующихся операторов и осуществить распределение операций между ними [18].

Инженерами-психологами разработаны рекомендации по конструированию пультов оператора, включая размещение устройств отображения информации и органов управления, и по оптимальному распределению функций между человеком-оператором и машиной (ЭВМ) с учетом рассмотренных выше особенностей оператора как звена системы управления, его памяти и органов чувств.

Вследствие сложности учета всех особенностей человека-оператора как звена человеко-машинных систем при их проектировании помимо математического моделирования особенно большое значение имеет физическое моделирование, т.е. экспериментальное исследование системы управления с реальным человеком в ее контуре.

2.3. Проектирование мехатронных систем.

Мехатронные системы – типичный пример технических систем, требующих системного подхода и не допускающих их проектирования на основе декомпозиции. Как новое научно-техническое направление мехатроника возникла в результате органического слияния механики и

микроэлектроники, откуда и ее название. Аналогичным образом в свое время возникла электромеханика в результате интеграции механики и электротехники. Типичные объекты электромеханики – электрическая машина, реле и т.п. динамические объекты не могут быть созданы путем сотрудничества механиков и электротехников. Для этого необходимы принципиально новые синтетические специалисты – электромеханики. И технические требования и, соответственно, критерии оптимизации для таких объектов не могут быть разбиты на механические и электротехнические. Главным обоснованием мехатроники как самостоятельного научно-технического направления является аналогичное наличие именно таких объектов нового типа, которые требуют системного подхода и критериев, охватывающих образующие ее науки – механику возникшую в недрах электротехники электронику. В этой связи в соответствии с общей тенденцией развития техники одним из основных направлений развития мехатроники в ближайшие годы станет, по-видимому, микротехника на основе освоения микроэлектроникой трехмерных (3D) структур с подвижными частями. Именно в микротехнике электромеханика превратилась в микроэлектромеханику, т.е., по существу, в мехатронику. Из микротехники уже сегодня можно назвать целый ряд истинно мехатронных объектов. К ним относятся некоторые типы гироскопов, аксельрометров и других микромеханических сенсорных систем, микроэлектромашин, микротурбины и т.п. изделия микротехники.

Наряду с такого типа изделиями объектами мехатроники, могут быть и близкие им по физической природе и принципу действия устройства, которые однако допускают декомпозицию при проектировании и, поэтому, строго говоря, не являются мехатронными в указанном выше смысле, однако именно специалисты по мехатронике могут их наиболее качественно создавать. Таким образом, с точки зрения предмета мехатроники можно говорить о ее объектах в указанном выше узком и в широком смысле.

Важными методическими следствиями системного подхода к проектированию мехатронных систем являются следующие принципы их создания:

1. Децентрализация управления вплоть до конструктивного встраивания устройств управления отдельными частями механической системы в эти части. Последнее позволяет удешевить всю систему в целом, повысить ее надежность и быстродействие за счет сокращения связей, распараллеливания и иерархического построения информационных процессов и процессов управления. Для таких систем разработаны различные варианты структур с сильными и со слабыми связями (распределенные системы). А также методы их проектирования.

2. Обеспечение значительно большей надежности управления, чем обычно считается приемлемым для других типов объектов. Это вызвано тем, в этих системах отказ управления, как правило, ведет к аварии всей

системы. Разработаны и совершенствуются соответствующие программные методы решения этой задачи.

3. Широкое применение компьютерного моделирования без чего такие сложные системы, как правило, не могут быть созданы на современном научно-техническом уровне.

Наряду с мехатроникой аналогичный системный подход к проектированию требуют многие технические системы. К ним, прежде всего, относятся автоматические системы, процесс проектирования которых нельзя разделить на проектирование сперва объекта управления, а затем устройства управления для него. К таким системам, в частности, относятся системы автоматического управления статически и динамически неустойчивыми, т.е. неработоспособными без системы управления объектами, такими как ракеты и некоторые другие летательные аппараты, электрические машины, и включающие их энергетические системы, работающие в режиме так называемой искусственной устойчивости, некоторые установки химической промышленности. Кроме того, такой системный подход принципиально позволяет получить более высокое качество проектируемой любой технической системы чем при проектировании по частям на основе декомпозиции.

В параграфе 2.5 будет продолжено рассмотрение системного подхода к проектированию применительно к более сложным системам.

2.4. Проектирование робототехнических систем.

Предмет робототехники включает собственно средства робототехники и основанные на них робототехнические системы [2].

Рассмотрим вначале особенности средств робототехники как объекта проектирования. При разработке технических требований к роботам и последующем анализе путей их реализации необходимо системно исследовать взаимодействие робота с другим работающим совместно технологическим оборудованием и объектами манипулирования с целью выявления возможностей за счет достаточно несущественных изменений последних облегчить требования к роботу и тем самым получить общую технико-экономическую выгоду для всей системы совместно работающих машин. Наибольший технико-экономический эффект при этом может быть достигнут, когда все это оборудование проектируется одновременно с роботом. Чаще всего это имеет место при проектировании роботов, выполняющих основные технологические операции.

Одновременно с той же целью необходимо исследовать возможности создания так называемой околороботной оснастки и других средств упорядочения и упрощения внешней среды робота. В качестве иллюстрации на рис.5 приведена качественная зависимость стоимости

собственно робота и стоимости его вместе с такими средствами в функции от степени упорядочения внешней среды. Как следует из этих графиков, существует некоторая оптимальная для каждой конкретной задачи степень упорядочения внешней среды, при которой достигается минимальная суммарная стоимость робота и околороботной оснастки (устройство подачи и позиционирования объектов манипулирования, удобная для робота их маркировка и т.п.)

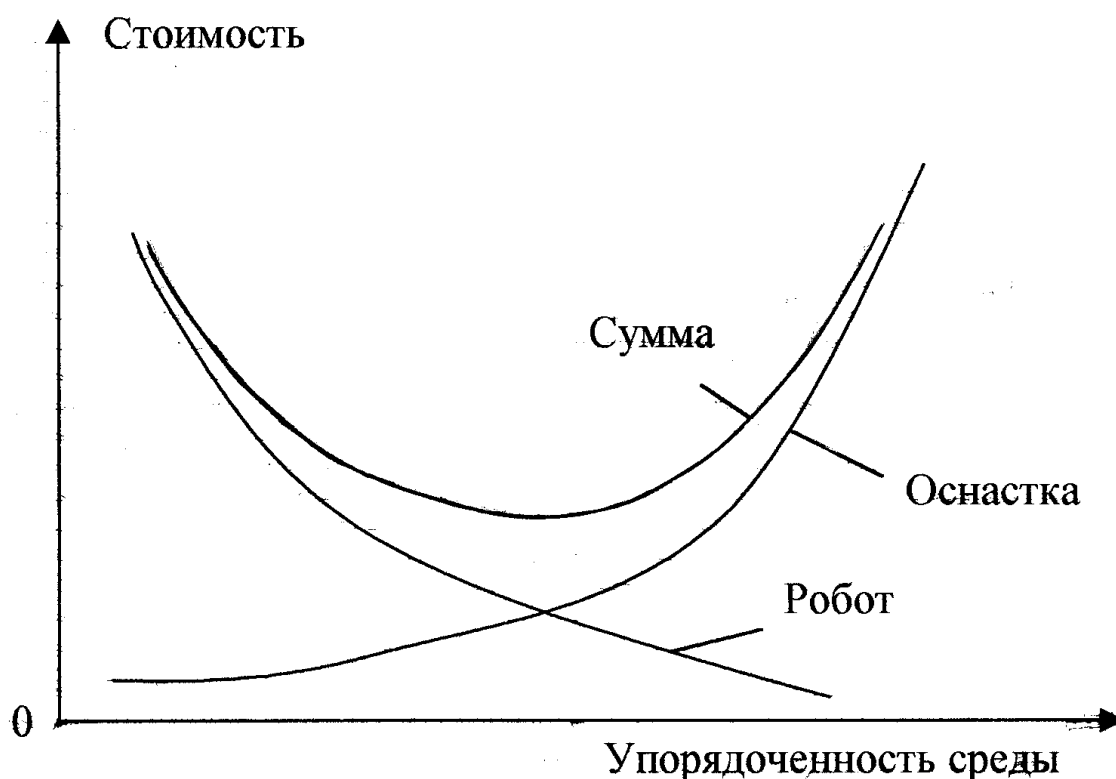


Рис.5. Стоимость робота и околороботной оснастки.

Только после такого системного рассмотрения взаимодействия робота с внешней средой и оптимизации технических требований к роботу и объектам этой среды следует переходить к проектированию собственно робота. Основной принцип здесь — декомпозиция, т.е. распараллеливание всей задачи проектирования на несколько более простых подзадач.

Робот, как и другие средства робототехники, состоит из двух основных функциональных частей — исполнительных систем (манипуляторы и системы передвижения) и устройства управления ими. При этом последнее в свою очередь распадается на аппаратную и программную части. В соответствии с этим на первом этапе проектирования после составления функциональной схемы робота должно быть проведено его разбиение на три указанные части — механическую систему, аппаратуру управления и программное обеспечение, проектирование которых требует специалистов разного профиля. В основе



Рис.6. Декомпозиция ТЗ на робот.

решения этой задачи лежит разделение функций робота и технических требований к нему между этими тремя взаимосвязанными частями. Эта задача неоднозначна и наиболее ответственна при проектировании робота. Поскольку ее решение в значительной степени предопределяет результат всей дальнейшей работы по созданию робота.

При распределении функций робота между названными тремя его частями прежде всего выделяют функции, которые полностью или в основном определяются одной из этих частей и соответственно приписываются им. (Например, грузоподъемность и геометрия рабочей зоны определяются механической системой, параметры энергопитания и диапазон температуры внешней среды существенны в основном для аппаратуры управления, язык программирования относится к программному обеспечению.

Остальные функции необходимо по возможности оптимально распределить между частями робота на основании определенных критериев. При этом следует учитывать еще наличие взаимовлияний

между некоторыми из этих функций, что дополнительно усложняет задачу и может привести к тому, локальное улучшение характеристик одной из частей робота ухудшит эффективность робота в целом. Например, известная взаимосвязь точности и быстродействия не позволяет независимо распределить требования к каждому из этих показателей между частями робота. На рис.6 показана общая последовательность процесса распределения требований ТЗ на робот между его частями.

На основании изложенного составляется схема процесса (системы) проектирования, состоящая из указанных выше параллельных ветвей, каждая из которых содержит общие этапы (техническое предложение, эскизный, технический и рабочий проекты, производство и эксплуатация) с итерациями в виде обратных связей (см.рис.1).

Общая последовательность этапов проектирования робота применительно к промышленным роботам (ПР) выглядит следующим образом:

1. Формулировка заказчиком исходных данных для разработки ПР, включающих назначение ПР, параметры объекта манипулирования (масса, размеры, форма, физико-химические свойства), технические требования к перемещениям, скоростям, точности, к конструкции, комплектующим, условия эксплуатации (температура, состав атмосферы. Механические и другие воздействия), требования к надежности, ремонтпригодности, наладке и регулировке, квалификации обслуживающего персонала, требования по технике безопасности, экономической эффективности, требования к околороботной оснастке и совместно работающему оборудованию.

2. Разработка ТЗ.

3. Выбор прототипов.

4. Разработка календарного графика работы на проектом, например, в виде сетевого графика.

5. Разработка технического предложения.

В результате выполнения последнего этапа должны быть определены следующие параметры робота:

- грузоподъемность (в соответствии со стандартизированным рядом при некотором (примерно на 10%) превышении заданной массы объекта манипулирования);
- размеры рабочей зоны (в соответствии с рабочим местом робота, совместно работающим оборудованием, оснасткой);
- число степеней подвижности (исходя из требуемых траекторий рабочего органа с учетом препятствий, требуемой точности и быстродействия);
- система координат (в том числе с учетом необходимости минимизации числа степеней подвижности);
- кинематическая схема манипулятора (на основании предыдущих пунктов и выбранной геометрии звеньев манипулятора);

- скорость перемещения рабочего органа (исходя из требуемой производительности);
- погрешность позиционирования рабочего органа манипулятора (в соответствии с требуемой точностью выполнения манипуляционных операций с учетом точности устройств, подающих объекты манипулирования, и другой оснастки);
- режимы работы приводов (исходя из массы объектов манипулирования, времени работы, типовых траекторий).

По этим данным далее должен быть осуществлен:

- выбор серийных приводов и их размещение или формулировка технических требований к подлежащим разработке новым приводам;
- выбор серийного устройства управления или формулировка технических требований к новому устройству управления;
- выбор или проектирование рабочих органов (захватных устройств или рабочего инструмента);
- составление полной кинематической схемы манипулятора (как результат выполнения предыдущих пунктов);
- статический расчет этой схемы (методами кинетостатики определяются передаточные отношения для механизмов передачи движений, выбираются механизмы уравнивания);
- расчет погрешностей;
- динамический расчет (усилий и деформаций);
- синтез алгоритмов управления манипулятором;
- заключение о выполнении ТЗ и сравнении с прототипами.

6. Разработка эскизного проекта.

7. Разработка технического и рабочего проектов.

В последних двух этапах повторяются пункты, перечисленные выше, но с последовательным их углублением и уточнением, в том числе с помощью математического и физического моделирования.

В случае подвижного робота в приведенный выше перечень этапов проектирования включаются соответствующие пункты по проектированию системы передвижения робота.

Проектирование робототехнических систем, основанных на применении средств робототехники не имеет существенных особенностей по сравнению с того же назначения техническими системами других типов.

2.5. Проектирование унифицированных технических систем.

Рассмотрим особенности проектирования совокупностей технических систем, объединенных близостью принципа действия и назначения. Естественным технико-экономическим подходом к их проектированию является унификация основных компонентов и проектирование на основе системного анализа. Примеры таких задач: размерные ряды

металлорежущих станков и другого технологического оборудования, семейства автомобилей, самолетов, вычислительных машин.

В машиностроении и приборостроении при проектировании таких множеств технических систем применяются следующие три принципа их построения:

- принцип базового изделия,
- принцип агрегатного построения,
- принцип модульного построения.

Принцип базового изделия заключается в создании семейства (гаммы) определенного типа изделий в виде типоразмерного ряда, основанного на определенной апробированной компоновке. Пример такого семейства – известные промышленные роботы типа ИРБ фирмы АСЕА (Швеция), отличающиеся назначением и грузоподъемностью, но имеющие одинаковую оригинальную кинематическую схему манипулятора. Вначале был создан один такой робот на среднюю грузоподъемность, а затем после того как он завоевал популярность, были разработаны его близнецы на меньшую и большую грузоподъемности. Другие примеры: семейство самолетов Антонова, семейства подъемных кранов и автомашин.

Принцип агрегатного построения заключается в создании изделий различной компоновки и назначения из набора унифицированных сборочных единиц определенного функционального назначения – агрегатов. Этот принцип был разработан в нашей стране первоначально в машиностроении в 40-е годы, когда остро стояла проблема форсированного развития отечественного станкостроения. Решением стала унификация и серийный выпуск основных узлов станков, с тем чтобы иметь возможность компоновать из них различные станки – токарные, фрезерные, сверлильные, расточные и др.

Для реализации этой идеи была проведена типизация соответствующих технологических процессов, на этой основе – типизация требуемого для них технологического оборудования (разработана их номенклатура) и затем членение его на унифицированные функциональные сборочные единицы-агрегаты (в виде типо-размерных рядов). Агрегаты делятся на движущие (вращательного и поступательного движения) и корпусные (станины, тумбы, колонны, кронштейны, плиты, стойки и т.д.).

Агрегатный принцип конструирования металлорежущих станков, поскольку он сводится к компоновке из хорошо отработанных серийных агрегатов, позволил сократить сроки и трудоемкость разработки в 2-5 раз, снизить сроки освоения промышленного выпуска новых станков, повысить их качество и особенно надежность, резко облегчить техническое обслуживание и ремонт. По существу, агрегатный принцип составил теоретическую и методическую основу развития отечественного станкостроения.

В дальнейшем этот принцип конструирования был распространен и на другие виды технологического оборудования в машиностроении (сварочное, кузнечно-прессовое и т.д.). В последствии он был использован

в приборостроении и вычислительной технике в виде модификации, получившей название «агрегатно-блочный принцип». Он был использован, в частности, при создании агрегатной системы вычислительной техники (АСВТ) и средств телемеханики (АССТ).

Модульный принцип построения технических систем является наиболее общим принципом системной унификации. Он заключается в комплектовании технических систем из иерархического набора не только функционально, но и конструктивно унифицированных частей – модулей, охватывающих все их компоненты – механические, аппаратные и программные.

Иерархическое построение системы модулей разделяет их на уровни, где модули одного уровня состоят из модулей предыдущего уровня и т.д. вплоть до неразборных узлов и деталей. Модульный принцип как наиболее общий из трех рассматриваемых основных принципов построения технических систем из унифицированных компонентов принципиально позволяет реализовывать любые компоновки, созданные на базе двух других принципов – базового изделия и агрегатного построения. Однако каждый из этих принципов имеет свои особенности и соответственно свои области применения, где они обеспечивают наибольшую технико-экономическую эффективность (например, меньшие массо-габаритные параметры, стоимость и т.д.). Поэтому для отдельных видов техники разработаны различные комбинации этих принципов. Например, в машиностроении существует система агрегатно-модульного построения.

Принцип модульного построения впервые появился, по-видимому, в строительстве. Затем он был заимствован судостроителями («модульное судостроение»). Компоновка судов из унифицированных модулей конструктивных (панель, секция, блок) и функциональных (носовая и кормовая оконечности, надстройки в сборке со всем оборудованием) позволяет создавать суда различного назначения и размеров. Для судостроения особенно важно при этом сокращение времени на проектирование и постройку, затрат и возможность более быстро реагировать на запросы рынка.

Модульный принцип построения является основой общей научно-технической концепции современной робототехники [2]. Это объясняется тем, что в условиях непрерывно и быстро расширяющейся сферы применения средств робототехники и соответственно их номенклатуры модульное построение – единственный путь оперативного создания и промышленного выпуска новых типов этих средств с обеспечением необходимого технического уровня. Принцип модульного построения средств робототехники впервые был предложен и реализован в 1980-1982 годах в нашей стране в ЦНИИ РТК [2]. Были созданы системы унифицированных электромеханических, пневматических, аппаратных и программных модулей. В качестве примера в табл.1 приведен перечень модулей этой разработки. В настоящее время все ведущие фирмы, произво-

Таблица 1. Унифицированные модули роботов.

Уровни	Наименование	Функции
1	Моноблок: пневматический, гидравлический, электромеханический	Конструктивные, привод-ные, информационные функции для степеней подвижности робота. В его состав входят модули более низких уровней
2	Модуль-привод: пневматический, гидравлический, электромеханический	Конструктивные и приводные функции одной степени подвижности. При компоновке робота требуется добавлять информацион-ный модуль и модули 4-го и 5-го уровней
3	Исполнительный модуль: пневматический, гидравлический, электромеханический Аппаратный модуль Информационный модуль	Функции исполнительного устройства Функции блока управления приводами модулей 1-го и 2-го уровней Информационные функции
4	Механизм	Предназначен для передачи и преобразования движения
5	Элементы: сборка, деталь	Неприводные механические или аппаратные простейшие узлы. Неразборные составные части робота

дящие роботы, базируют их выпуск на подобных унифицированных модулях, в том числе с использованием международной кооперации.

2.6. Проектирование больших систем.

«Большая система» – это термин, определяющий системы такого уровня сложности, которая требует особенного подхода к их теории и методам проектирования. Сложность системы определяется количеством и характером ее частей, связей между ними и с внешней средой. Факторами, усложняющими систему, являются, в частности, наличие в ее составе человека (биотехнические системы) и сильных связей с внешней средой. (Системы, у которых обмен с внешней средой (информацией, энергией, материалами) не просто необходимо учитывать при их рассмотрении, а является определяющим в их функционировании, называются открытыми системами.) На сложность системы влияет также степень изменяемости и знания ее структуры и параметров. Сложные системы, как правило, имеют иерархическую структуру и ее части сами представляют собой системы (подсистемы). Наиболее сложные системы – это отраслевые,

многоотраслевые, государственные и, наконец, глобальные системы – транспортные (авиационные, железнодорожные, водные), энергетические, информационные (системы связи, компьютерные сети).

Большие системы – это настолько сложные системы, что их описание нельзя свести к формальной математической модели, а оно включает принципиальные, т.е. не от недостатка знания, неопределенности и неоднозначности, которые допускают только лингвистическое представление.

Теория больших систем и методы их проектирования, рассматриваются в общей теории систем, системотехнике и системном анализе [5, 18]. В их основе – теория информации, исследование операций, кибернетика и различные чисто эвристические приемы.

Особенность проектирования больших систем сводится к следующим положениям:

1. Системный подход. Применительно к более простым системам типа мехатронных он был рассмотрен в параграфе 2.3. В данном случае системный подход также означает рассмотрение технической системы как единого целого, состоящего из взаимосвязанных частей, и с учетом взаимодействия с внешней средой. При этом свойства системы не сводятся к сумме свойств ее частей, а их совокупность создает качественно новые свойства (эмергентность систем), определение которых и требует системного подхода.

Системный подход означает необходимость использования общесистемных показателей качества, охватывающих все аспекты системы – функциональный (распределение функций системы между ее частями), организационный (структура системы, ее части) и компонентный (анализ частей). По этим показателям качества формируются критерии качества, используемые в процессе проектирования системы и при оценке ее уровня.

Наряду с системным подходом при рассмотрении отдельных сторон функционирования больших систем используется, когда это возможно, и принцип декомпозиции. При этом цели и соответствующие функции системы распределяются между ее частями (подсистемами), которые затем синтезируются автономно. После этого уже в порядке анализа исследуются их взаимовлияния и корректируются ранее независимо найденные решения. В целом такая декомпозиция возможна в пространстве «по горизонтали» (на подсистемы и далее) и «по вертикали» (по иерархическим уровням) и во времени (временное и частотное разделение процессов).

Использование принципа декомпозиции, конечно, упрощает проектирование («разделяй и властвуй»). Однако, как было отмечено, он неизбежно приводит к снижению качества создаваемой системы и поэтому может использоваться только, когда это снижение будет допустимым в рамках требований ТЗ или когда системный подход встречает непреодолимые трудности.

Правда, иногда при создании технических систем специально требуется обеспечить автономность отдельных ее подсистем по условиям

эксплуатации. В этом случае такая автономность достигается специальными мерами путем введением взаимных компенсирующих воздействий и применение принципа декомпозиции становится оптимальным подходом к проектированию системы.

2. Программно-целевой метод. Это метод реализации системного подхода путем соответствующей организации процесса проектирования технической системы и управления этим процессом. Основные этапы программно-целевого метода организации и управления:

- На основе системного анализа задания определяются цели и подцели проекта (дерево целей).
- Определяются организационная структура их достижения, исполнители, распределение ресурсов между ними и план (сетевые графики) выполнения проекта.
- Осуществляется централизованное руководство и контроль за выполнением этого плана. В основе – иерархическое распределение функций: централизация принятия стратегических решений с привлечением экспертов при полной самостоятельности принятия и реализации частных оперативных решений на более низких уровнях управления.

3. Эволюционный подход. Сложность, а, следовательно, и дороговизна и большая длительность жизненного цикла больших систем требует при их проектировании учитывать перспективы дальнейшего совершенствования системы путем модернизации вплоть до перехода к следующему поколению. Возможности этого должны быть заложены в проекте системы. Основой такого эволюционного подхода к проектированию больших систем – теория технической эволюции, включая инженерное прогнозирование [5]. Ответственный момент при таком учете перспектив развития создаваемой техники – это во время руководствуясь принципом «лучшее – враг хорошего» остановиться в процессе повышения технического уровня создаваемой системы на ее реальном варианте, заложив при этом в него возможности конструктивно простого и экономного дальнейшего эволюционного развития.

Рассмотренный в параграфе 1.2. кибернетический принцип управления процессом проектирования, дополненный системным и эволюционным подходами можно рассматривать как развитие системного подхода и его можно назвать инженерно-кибернетическим [5].

ГЛАВА 3. ПРИМЕРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

3.1. Введение.

В этой главе даны примеры выполнения проектов и описан последующий жизненный цикл различных технических систем как из области машиностроения, так и приборостроения. Эти примеры должны проиллюстрировать и расширить основное содержание предыдущих глав.

Даны примеры разработок, требующих различного объема НИР от создания принципиально новых типов систем, для которых необходимо провести цикл научных исследований с целью получения расчетных формул и общей методики инженерного проектирования, до разработки проектов по уже хорошо отработанным методикам. Приведены также примеры разработок, которые иллюстрируют особенности проектирования некоторых типов систем, описанные в главе второй.

Все рассмотренные проекты разработаны в ЦНИИ РТК. Это дает студентам возможность более детально ознакомиться с ними в лабораториях и библиотеке института, включая отчеты, и получить консультации непосредственно у разработчиков проектов, в том числе при прохождении практики, выполнении учебных НИР и курсовых и выпускных проектов.

3.2. Системы управления мягкой посадкой космических аппаратов.

В состав парашютно-ракетной системы спуска на Землю отечественных космических аппаратов входят пороховые двигатели мягкой посадки (ДМП), которые включаются непосредственно перед приземлением снижая скорость спуска в момент касания аппаратом поверхности земли до величины, соответствующей допустимой силе удара его об эту поверхность. Для этого необходимо включать ДМП на определенной высоте, которая зависит от скорости спуска в этот момент. Для этого требовался высоотомер с коррекцией по скорости.

Основные технические требования, сформулированные в ТЗ на эту систему:

- высоты, на которых требуется выдача сигнала на включение ДМП, – 0,5-10 м;
- скорости спуска – 4-14 м/с;
- погрешность измерения – 2,5 %;
- масса – до 5 кг;
- потребляемая энергия – до 10 Вт;
- вероятность безотказной работы – 0,9999.

Кроме того, в ТЗ оговорены допустимые углы наклона аппарата при приземлении, величина горизонтальной составляющей скорости, величины внешних воздействий (механических и электромагнитных и т.д.), диапазон изменения температуры, параметры электропитания.

Система должна обеспечивать требования ТЗ при любой поверхности приземления («подстилающей поверхности»), включая воду, лед, снег и т.д., и при любых погодных условиях, включая дождь, снежную и песчаные бури и т.д. Система размещается внутри аппарата и должна работать через его днище.

Анализ существующих высотомеров (радиотехнических, лазерных, ультразвуковых и др.) и другого назначения измерителей расстояния показал, что ни один из них по разным причинам не годится для решения поставленной задачи. Поэтому необходимо было провести поисковую НИР по исследованию возможных физических принципов решения задачи. В результате решение было найдено в создании высотомера, использующего жесткое гамма-излучение. Высокая проникающая способность такого излучения позволяет обеспечить работу через днище аппарата, практически абсолютную всепогодность и достаточно малую зависимость величины принимаемого сигнала от свойств подстилающей поверхности.

Поскольку был предложен принципиально новый тип высотомера до создания его инженерного проекта, были проведены теоретические и экспериментальные исследования условий прохождения гамма-излучений через различные среды, взаимодействия с ними, способы регистрации. В результате были разработаны методы расчета и конструирования этого типа приборов.

В 1966-1968 года был создан первый такой прибор – система «Кактус». На рис.7 показано размещение этой системы в спускаемом аппарате, а на рис.8 – ее внешний вид. Система состоит из передатчика и

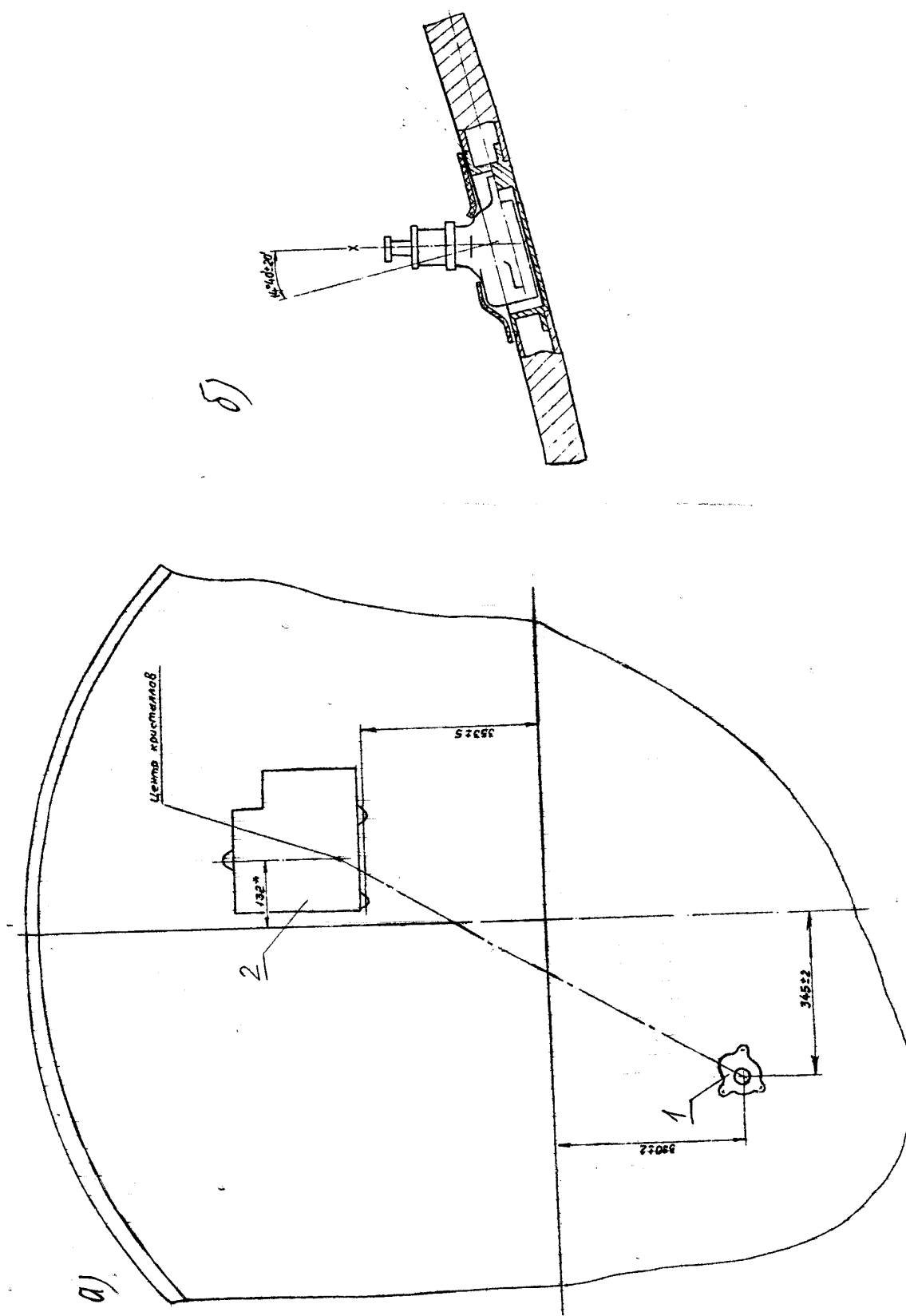


Рис.7. Размещение системы «Кактус-1В» на днище спускаемого аппарата: а – вид сверху; 1 – передатчик, 2 – приемник; б – вид сбоку на передатчик.

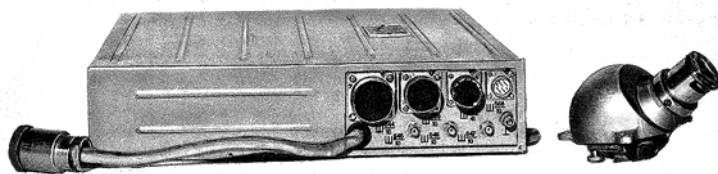


Рис.8. Передатчик (справа) и приемник системы «Кактус».

приемника. Передатчик представляет собой корпус из обедненного урана со вставленной в него пробкой с источником гамма-излучения в виде изотопа Цезий-137 (рис.9). Корпус передатчика с одной стороны защищает экипаж и аппаратуру от ионизирующего гамма-излучения, а с другой формирует диаграмму направленности гамма-излучения, направленную вниз в сторону подстилающей поверхности. Приемник состоит из трех параллельно работающих одинаковых каналов, каждый из которых включает детектор, который воспринимает гамма-излучение, обратно рассеянное от облучаемой поверхности и измеритель интенсивности этого излучения, в виде частоты импульсов от гамма-квантов, которая является мерой высоты. Детектор состоит из сцинтиллятора, преобразующего гамма-кванты в световые вспышки и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), который преобразует эти вспышки в электрические импульсы. Эти импульсы представляют собой случайный процесс, описываемый законом Пуассона. Принцип действия системы основан на том, что средняя частота зарегистрированных детектором гамма-квантов является функцией расстояния до подстилающей поверхности, возрастающей с его уменьшением.

Трехканальная схема приемника выбрана из условия обеспечения требуемой надежности: выходной сигнал, подаваемый на ДМП формируется по мажоритарной системе голосования «2 из 3», т.е. для включения ДМП необходимо срабатывание по крайней мере двух каналов из трех.

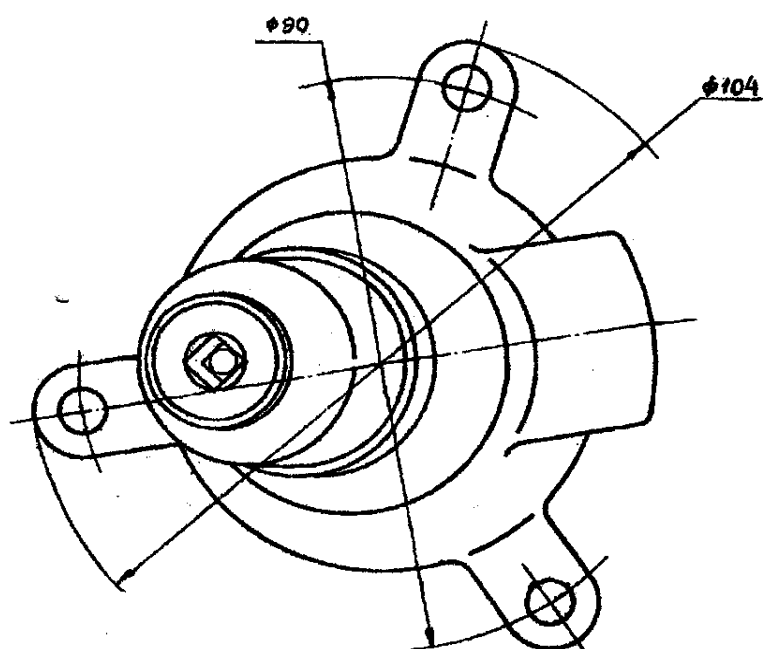
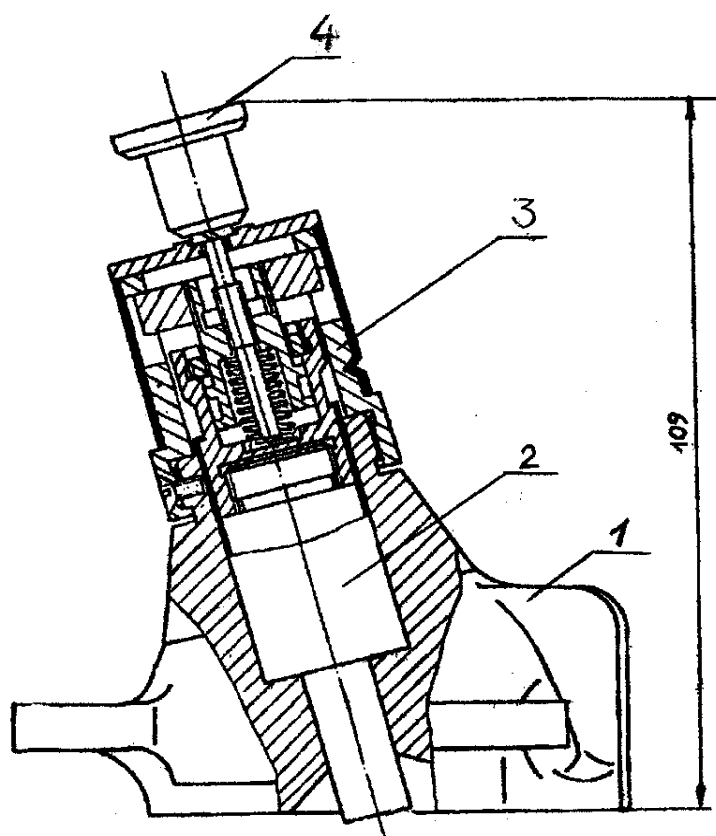


Рис.9. Передатчик системы «Кактус»: 1 – корпус, 2 – пробка с изотопным источником, 3 – байонетный замок, 4 – винт, фиксирующий пробку.

Общий порядок синтеза высотомера включает следующие этапы:

1. Выбор оптимальных физических и геометрических параметров по минимуму массы при заданных ограничениях на точность, быстродействие (инерционность), мощность экспозиционной дозы гамма-излучения за защитой передатчика, указанных в ТЗ.
2. Синтез оптимального алгоритма функционирования приемника.
3. Синтез электрической схемы приемника.
4. Разработка конструкции передатчика и приемника.

На первом этапе прежде всего выбирается тип изотопа, материал защиты передатчика и тип сцинтиллятора. Затем определяются их количественные параметры, включая активность изотопного источника, размеры защиты излучателя и сцинтиллятора, расстояние между приемником и излучателем (база), форма диаграммы направленности передатчика (угол коллимации).

Для этого в результате аналитических и экспериментальных исследований были выведены математическое выражение для подлежащей минимизации суммарной массы передатчика и приемника, где основной вклад дают защита передатчика и сцинтилляторы приемника, и выражение для среднеквадратичной погрешности определения высоты. В последнем основное значение имеют активность источника и площадь сцинтиллятора: погрешность по высоте обратно пропорциональна квадратному корню из произведения этих величин. Составляющие этой погрешности: статистическая, определяемая принципом действия системы, оперирующей случайными сигналами, методическая, определяемая внешними возмущениями и вариациями внешних условий (отражающая способность (альбедо) и профиль подстилающей поверхности, плотность атмосферы, наклон аппарата) и аппаратная, определяемая схемной реализацией приемника. Необходимо подобрать входящие в эти выражения перечисленные выше варьируемые параметры так, чтобы получить минимум массы системы при заданном значении погрешности по высоте. Это делается путем последовательных итераций на ЭВМ,

Следующий этап синтеза системы – определение структуры и алгоритма приемника. Синтез структуры приемника на минимум суммарной погрешности позволяет определить алгоритм обработки информации, выдаваемой сцинтилляционным детектором. В простейшем случае небольших флюктуаций скорости спуска и других внешних факторов такой алгоритм сводится к усреднению во времени частоты регистрируемых гамма-квантов с помощью интегрирующего звена с постоянной времени, зависящей от скорости спуска.

При возможных существенных изменениях скорости в алгоритм необходимо вводить составляющую по величине скорости. Аналогично обстоит дело и с учетом качки спускаемого аппарата. В системах

рассматриваемого типа сигнал по скорости наиболее просто получать по предварительно полученной информации о высоте. Поскольку в данном случае требуется не непрерывная информация о скорости, а ее дискретное значение непосредственно перед включением ДМП, это делается путем измерения интервала времени между двумя фиксированными значениями высоты. Для их определения служат два отдельных измерителя частоты гамма-квантов, показанные на схеме рис.10.

Следующие этапы проектирования системы – разработка принципиальной электрической схемы приемника и конструкции приемника и передатчика выполняются традиционными методами. В результате был выполнен эскизный проект системы и создан ее макетный образец. Его экспериментальное исследование позволило подтвердить результаты расчетов, включая прежде всего точности, в том числе в условиях изменений скорости спуска. Для выполнения этих исследований был создан специальный стенд. Он состоял из подъемного крана, с которого с высоты около 20 метров производился спуск с фиксированной скоростью днища спускаемого космического аппарата «Союз», и измерительного комплекса. Функции последнего – измерять скорость спуска днища и значение высоты, на которой передатчик системы выдает исполнительный сигнал для ДМП.

После этого была выполнена разработка конструкторской и другой документации, входящей в состав технического проекта. По этой документации на серийных заводах была выпущена опытная партия

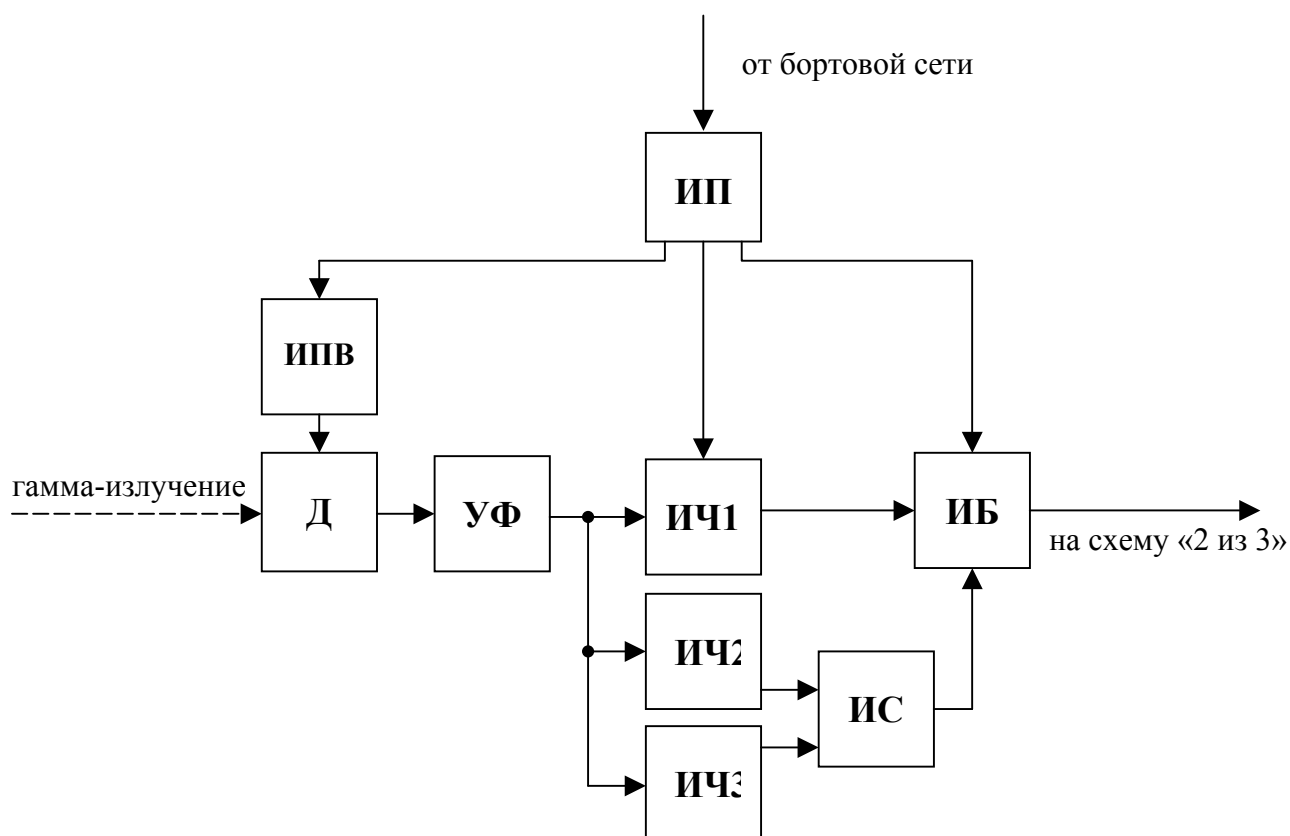


Рис.10. Функциональная схема канала приемника системы «Кактус» с корректором скорости: Д – сцинтиляционный детектор, УФ – усилитель-формирователь импульсов, ИЧ1, ИЧ2, ИЧ3 – измерители частоты импульсов, ИС – измеритель скорости спуска, ИБ – исполнительный блок, ИПВ – высоковольтный источник питания ФЭУ детектора, ИП – общий вторичный источник питания канала.

передатчиков и приемников, из которых в ЦНИИ РТК комплектовались, настраивались и сдавались на описанном выше стенде первые штатные образцы системы. Затем на них были проведены все предусмотренные документацией испытания на соответствие требованиям ТЗ.

После этого была проведена серия экспериментов уже в составе спускаемого аппарата «Союз» путем сброса его с самолета. Затем была работа системы «Кактус» в составе трех непилотируемых кораблей «Союз» и только после этого система вошла как штатная в состав этих пилотируемых кораблей. В ходе испытаний выискивались и устранялись различные схемные, конструктивные и технологические недостатки системы. Был даже случай, когда на одном из первых непилотируемых кораблей, укомплектованных системой «Кактус», она преждевременно включила ДМП на высоте в несколько сотен метров. Причиной оказалось, что в полностью укомплектованном аппаратурой корабле, уровень электромагнитных помех в несколько раз превышает указанный в ТЗ. Появлялись замечания к системе и в последующие годы. В частности, были случаи несрабатывания одного из трех каналов приемника. По каждому из них назначалась государственная комиссия, конечно, с

обязательным участием представителей ЦНИИ РТК. Ее задача – определить причину замечания и выработать рекомендации по ее гарантированному устранению. После каждого такого случая обязательно проводился цикл ужесточенных испытаний, в том числе в составе спускаемого аппарата.

На принципе работы системы «Кактус» в последствии была разработана система «Квант» для управления двигателями автоматической станции «Луна» на этапе ее мягкой посадки. С помощью этих станций на Землю был доставлен лунный грунт, а на Луну радиоуправляемый аппарат «Луноход». По сравнению с системами типа «Кактус» система «Квант» должна работать через факел работающего реактивного двигателя, на котором аппарат садится. Кроме того, к аппаратуре системы предъявляются существенно более жесткие требования: работа в открытом космосе, меньше массо-габаритные параметры. На рис.11 показан внешний вид системы «Квант».

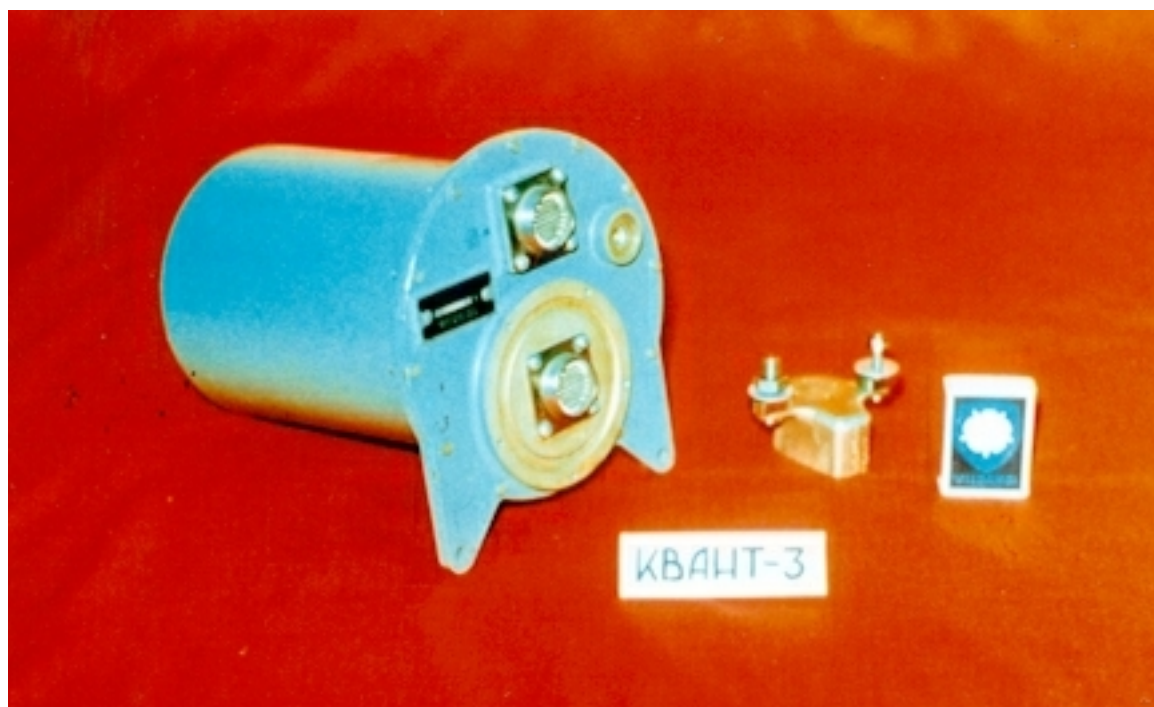


Рис.11. Передатчик (справа) и приемник системы «Квант».

Как выше уже было отмечено, описанные технические системы – это пример качественно новых приоритетных систем. Их создание потребовало развития некоторых специальных разделов физики, новых инженерных методик расчета и привело к появлению целого нового научно-технического направления, которое получило название «фотонная техника» и имеет предметом техническое освоение фотонного, т.е. рентгеновского и гамма-излучения прежде всего для информационно-управляющих целей [20]. В рамках этого направления в дальнейшем были созданы различные системы другого назначения – дистанционные

взрыватели, измерители воздушных параметров сверхзвуковых летательных аппаратов, системы управления полетом на сверхнизких высотах и др.

3.3. Система управления ручной стыковкой космических аппаратов.

Это пример проекта фотонной системы управления другого типа. Она была разработана в качестве дублирующей штатную систему автоматической стыковки и получила название «Арс». Система включает передающее устройство, устанавливаемое на космической станции, к которой должна производиться стыковка и приемное устройство, размещенное на космическом корабле, который должен сблизиться и затем состыковаться со станцией. Передающее устройство состоит из двух рентгеновских передатчиков, каждый из которых создает изотопное поле рентгеновского излучения в полусфере, а оба передатчика в совокупности создают такое поле во всем пространстве вокруг станции. Со стороны сближающегося со станцией корабля она представляется точечным источником рентгеновского излучения, интенсивность которого (плотность потока фотонов) обратно пропорциональна квадрату расстояния до нее. Для формирования такого поля передатчики установлены с двух сторон станции и оси диаграмм их излучений соответственно направлены в противоположных направлениях. Идея системы состоит в том, что градиент этого поля может служить информацией для выполнения операций сближения и стыковки.

Приемное устройство предназначено для обнаружения станции и измерения расстояния до нее, скорости сближения и двух углов (крена и тангажа) ориентации корабля относительно станции. На рис.12 показана функциональная схема приемного устройства, состоящего из двух приемников, блока обработки информации, поступающей от них, и пульта оператора, управляющего кораблем.

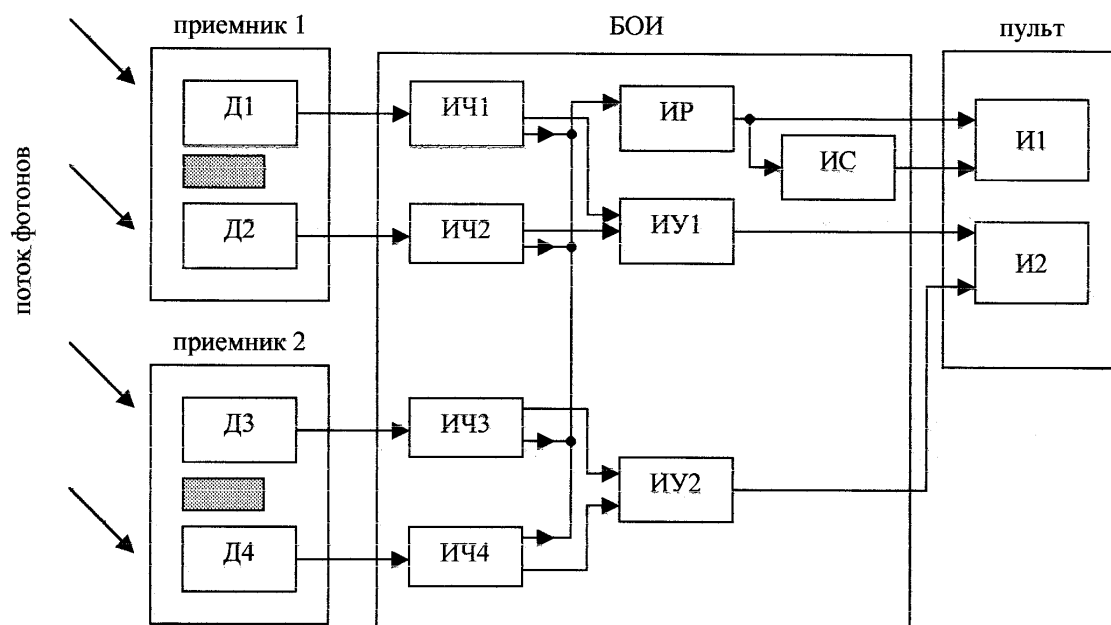


Рис.12. Функциональная схема приемного устройства системы «Арс»: БОИ – блок обработки информации, Д1-Д4 – детекторы, ИЧ1-ИЧ4 – измерители частоты, ИР – измеритель расстояния (дальности), ИС – измеритель скорости, ИУ1-ИУ2 – измеритель углов крена и тангажа, И1,И2 – индикаторы.

Измерение расстояния (дальности) осуществляется подобно измерению высоты в системе «Кактус» по частоте квантов, регистрируемых сцинтилляционными детекторами Д1-Д4. При этом для того, чтобы исключить влияние естественного космического фона, также регистрируемого детекторами, предусмотрена его компенсация на входе измерителей частоты ИЧ-1-ИЧ4 путем подачи регулируемого напряжения с пульта оператора (на рис.12 не показана). Эта операция выполняется оператором до включения передатчиков на станции.

Скорость сближения определяется измерителем скорости ИС путем непрерывного дифференцирования сигнала по расстоянию. Углы крена и тангажа приближающегося корабля относительно направления на станцию измеряются с помощью статических угломеров, сконструированных на базе тех же радиометров, которые используются для измерения расстояния. На рис.12 заштрихованными экранами между детекторами приемников условно показаны эти угломеры. Принцип их действия состоит в том, что эти экраны, непрозрачные для рентгеновского излучения, по разному прикрывают сцинтилляторы детекторов от этого излучения в зависимости от угла его падения на приемник. При этом отношение выходных сигналов детекторов приемника является функцией этого угла. Чтобы не нарушать работу канала дальности, экраны устроены

так, что суммарный сигнал с обоих детекторов не зависит от угла. Для того, чтобы с помощью приемников измерять углы в взаимоперпендикулярных плоскостях, они соответственно установлены в корабле в этих плоскостях.

Пульт оператора включает два измерительных прибора, показания которых выдаются на экране светящейся точкой в плоскости двух координат: на одном приборе – это расстояние (от 7000 м.) и скорость (в диапазоне ± 5 м/с), т.е. в виде фазовой плоскости, а на другом – это углы крена и тангажа (в диапазоне $\pm 20^0$). Задача оператора, находящегося в корабле и управляющего процессом его стыковки со страницей, заключается в том, чтобы маневрируя кораблем, ввести эти точки на обоих приборах в начало изображенных на экранах систем координат. На фазовой плоскости «расстояние-скорость» нанесен сужающийся к началу координат коридор разрешенных фазовых траекторий сближения и стыковки. Измеритель дальности имеет три диапазона: свыше 2500 м, 2500-250 м и менее 250 м. Оператор в ходе стыковки должен переключить эти диапазоны по показанию прибора в соответствии с указанием на экране. Попадание светящихся точек на экранах обоих приборов в начало координат означает завершение операции стыковки.

Последовательность процесса проектирования системы «Арс» аналогична описанному выше для системы «Кактус». На этапе эскизного проекта прежде всего определялись требуемые для обеспечения заданной дальности квантовый выход передатчиков и эффективная площадь регистрации детекторов приемников. Как и для «Кактуса» задание предельного расстояния при заданных ограничениях инерционности и погрешности измерения однозначно определяет величину произведения этих двух параметров. Проведенные расчеты, а затем более детальное компьютерное моделирование процессов излучения, распространения и регистрации потоков квантов позволили выбрать оптимальные значения квантового выхода рентгеновских передатчиков и размеров сцинтилляторов для детекторов приемников, которые позволяют уложиться в заданные в ТЗ значения массы прежде всего приемного устройства и надежности всей системы. По этим данным были сформулированы частные ТЗ на разработку требуемой рентгеновской трубки, сцинтилляционных детекторов и некоторых других специальных компонентов передающего и приемного устройств.

По ТЗ ЦНИИ РТК был спроектирован рентгеновский передатчик, функциональная схема которого приведена на рис.13.

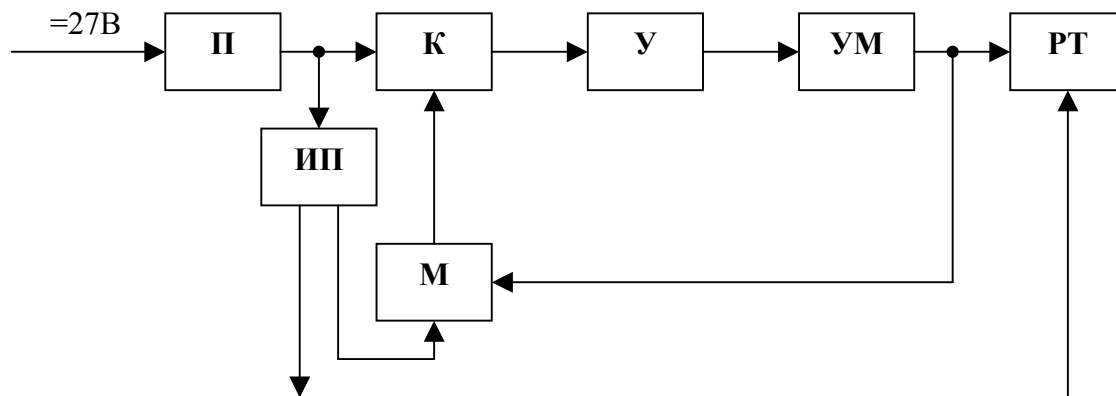


Рис.13. Функциональная схема рентгеновского передатчика системы «Арс»: П – преобразователь напряжения постоянного тока сети корабля в напряжение переменного тока; К – ключевой каскад, формирующий стабилизированное напряжение переменного тока; У – усилитель мощности; УМ – умножитель напряжения до ~100кВ питания анодной цепи рентгеновской трубки РТ; ИП – вторичный источник питания накала трубки и модулятора; М – широтно-импульсный модулятор со стабилизирующей анодное напряжение трубки отрицательной обратной связью.

Электрическая схема приемного устройства, реализующая его функциональную схему, показанную на рис.12, была выполнена на той же элементной базе, что и схема приемника системы «Кактус». При этом детекторы Д и измерители частоты ИЧ были заимствованы из приемника системы «Кактус». Однако поскольку в отличие от той системы в системе «Арс» требуется непрерывное измерение дальности с линейной шкалой, а частота квантов нелинейно зависит от расстояния в блоке измерения расстояния ИР введена схема линеаризации статической зависимости суммарной частоты от расстояния. Это осуществляется путем кусочно-линейной аппроксимации исходной характеристики, дополнительно сглаженной в точках излома высокочастотным сигналом от генератора импульсов.

Измерение скорости осуществляется блоком ИС путем дифференцирования текущего значения расстояния на усилителе постоянного тока с нелинейным фильтром на выходе, сглаживающем случайные большие выбросы без введения инерционности в измерение скорости.

Измерители углов крена и тангажа ИУ1, ИУ2 построены по одинаковой схеме определения разности сигналов от измерителей частоты соответствующей пары детекторов, затененных общим экраном. Конструкция экранов обеспечивает линейную зависимость величины этой разности от угла падения потока квантов на детекторы.

На этапе эскизного проектирования был собран макетный образец приемного устройства и проведены его испытания на специально созданном стенде. Стенд включает узкоколейную двухрельсовую трассу длиной около 50 м, по которой передвигается с программируемой

скоростью до 1 м/с тележка с установленной на ней поворотной раме с приемным устройством. В конце трассы установлен рентгеновский передатчик, расстояние до которого, скорость и углы измеряет передающее устройство. Стенд оборудован системой измерения этих параметров с пересчетом их по критериям подобия на значения, соответствующие натурным условиям в космосе во всех диапазонах, предусмотренных ТЗ. Проведенные на стенде экспериментальные исследования позволили подтвердить и уточнить результаты синтеза проектируемой системы «Арс».

В дальнейшем этот стенд использовался для проведения приемно-сдаточных и периодических испытаний штатных образцов системы, изготовленных по документации, разработанной на этапе технического проектирования. На рис.14 показан внешний вид приемной аппаратуры системы «Арс».

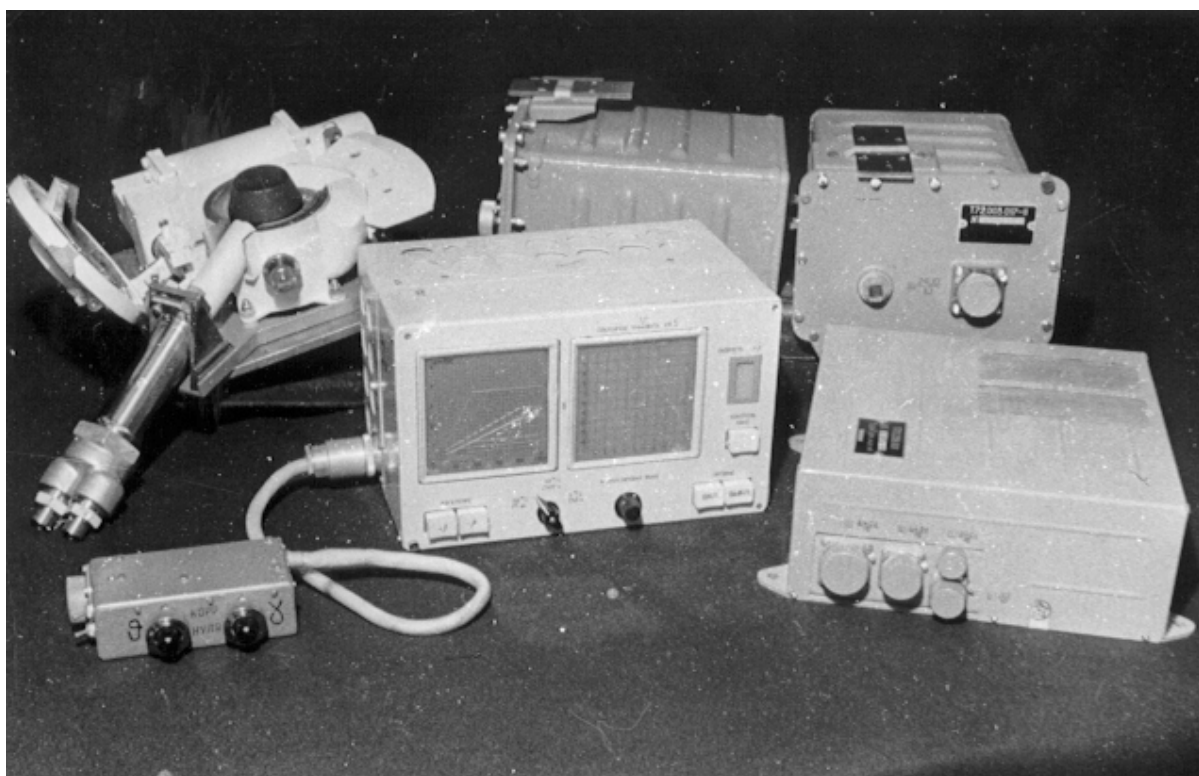


Рис.14. Внешний вид приемной аппаратуры приемного устройства системы «Арс». Слева два приемника, справа блок обработки информации (со снятым кожухом), сзади – пульт оператора.

Штатные образцы системы «Арс» прошли летно-конструкторские испытания (ЛКИ) на отечественных космических станциях и пилотируемых кораблях «Союз». Первые летные испытания выявили серьезную ошибку, допущенную при проектировании и экспериментальной наземной отработке рентгеновских передатчиков системы. В передатчиках было применено масляное охлаждение. На

орбите в условиях невесомости тепловой режим передатчиков оказался существенно отличным от земных условий в результате передатчики перегревались и перегорали. После доработки этот эффект был устранен и передатчики стали функционировать без замечаний практически без ограничения длительности работы во включенном состоянии. Система «Арс» при этом показала свою полную работоспособность при летных испытаниях на расстоянии до 3000 м и более.

Эта система стала в дальнейшем базовой для разработок систем, работающих на прямом фотонном излучении, другого назначения – для управления тесным строем морских кораблей, вертолетов, для охраны территорий и государственных границ, измерения двухфазных потоков жидкостей и др. [20].

В ходе создания все новых фотонных систем типа «Кактус», «Арс» и др. была отработана теория таких систем, методика их расчета, компьютерного и физического моделирования и экспериментального исследования. В результате по мере создания новых систем фотонной техники постепенно уменьшался объем научных исследований в пользу чисто инженерного проектирования.

3.4. Аппаратура контроля систем «солнечная батарея-аккумулятор» космических аппаратов.

Одна из важных проблем космонавтики – обеспечение космических аппаратов электроэнергией. Основным ее решением является использование солнечных батарей в системе с аккумуляторами. Наиболее критичный контролируемый параметр такой системы – это количество электричества (ампер-часы), которые выдал аккумулятор в энергосеть аппарата и соответственно степень его разряда. Первоначально для решения этой задачи были использованы обычные электромеханические счетчики электроэнергии. Однако их существенным недостатком для космических аппаратов оказалось наличие подвижных частей, а также недостаточная точность. Поэтому потребовалось создать прибор, свободный от этих недостатков.

По существу, требуемый прибор – это интегратор тока, и поэтому для его создания надо было изобрести такой интегратор, который не накапливает ошибки интегрирования в течение многих сотен часов. Решение было найдено на основе преобразования тока в частоту импульсов с последующим суммированием импульсов, текущее количество которых служит мерой искомого количества электричества. Таким образом этот проект – пример разработки, основанной на изобретенном новом инженерном решении конкретной задачи.

На рис.15 показана схема созданного в ЦНИИ РТК такого прибора – счетчика ампер-часов (САЧ). Его назначение – измерение количества

электричества, проходящего по цепи аккумуляторной батареи, запоминание этой информации с передачей в систему телеметрии и выработка необходимых команд управления по ходу разрядки и зарядки батареи.

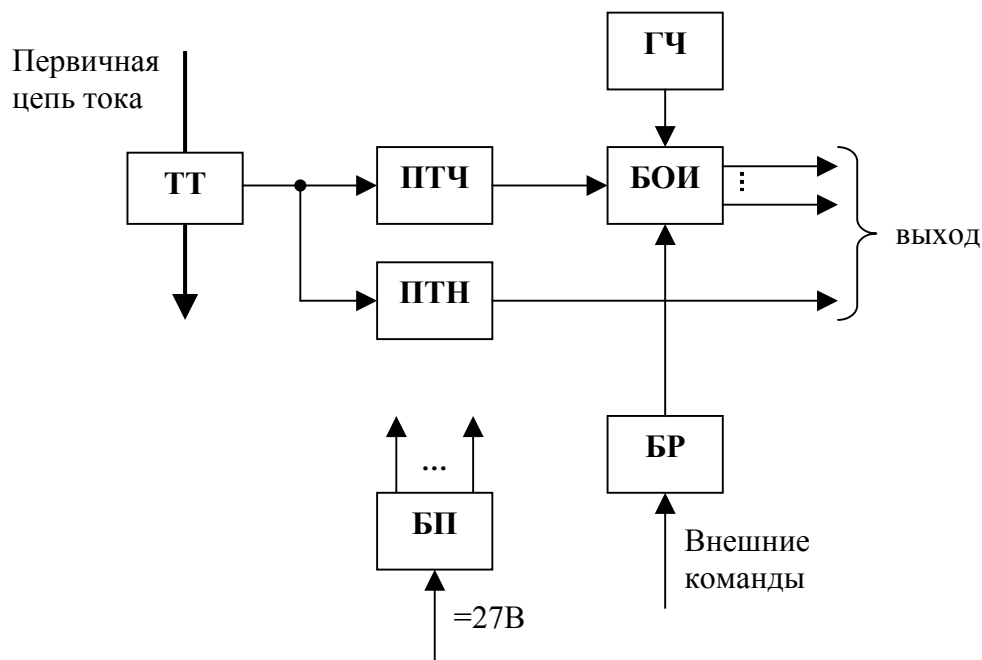


Рис.15. Функциональная схема прибора САЧ: ТТ – трансформатор постоянного тока; ПТЧ, ПТН – преобразователи тока в частоту и в напряжение; БОИ – блок обработки информации; ГЧ – генератор тактовой частоты; БР – блок релейных команд; БП – блок питания.

В основе схемы счетчика лежит принцип действия магнитного усилителя. Проводник с током в контролируемой цепи (величиной до 100А) проходит через ферромагнитный сердечник трансформатора тока ТТ, осуществляя его подмагничивание. На обмотках этого сердечника собран магнито-транзисторный генератор импульсов частотой около 20Гц, скважность которых является функцией входного тока. Эти импульсы поступают на второй генератор импульсов, частота которых изменяется от долей герца до двадцати и более герц пропорционально скважности входных импульсов. В результате получается преобразователь тока в частоту импульсов. Импульсы с выхода ПТЧ поступают в счетчик импульсов блока БОИ. Текущее содержание этого счетчика оказывается, таким образом, пропорциональным интегралу от тока в контролируемой сети, т.е. искомой величине ампер-часов. Эта величина преобразуется в БОИ в дискретные команды для управления режимами системы энергоснабжения потребителей, состоянием аккумуляторной батареи, предупреждая, в частности, недопустимую ее разрядку, а также подается в систему телеметрии.

Преобразователь тока в напряжение ПТН измеряет текущее значение тока и выдает его в виде напряжения для тех же целей.

Всесторонние испытания и отработки первоначально разработанной схемы прибора с учетом всех предусмотренных ТЗ внешних воздействий позволили в конце концов, завершить его проект со следующими основными параметрами:

- погрешность интегрирования тока в диапазоне 1-100А – до 2%;
- ресурс – до 10000 часов;
- вероятность безотказной работы – 0,999 в течение 2000 часов и не менее 0,99 в дальнейшем;
- масса прибора – 2,5 кг.

После успешных летно-конструкторских испытаний прибор был передан в серийное производство. КБ завода-изготовителя перевыпустило документацию на него, а за ЦНИИ РТК как разработчиком остался авторский надзор.

Описанный счетчик ампер-часов нашел широкое применение на отечественных космических кораблях. В дальнейшем на его основе был разработан и освоен в серийном производстве унифицированный комплекс приборов контроля и управления для бортовых энергосистем, включающий помимо измерителя ампер-часов приборы контроля напряжения и других параметров бортовых электросетей, поэлементного контроля аккумуляторных батарей и выполнение других функций по обеспечению эксплуатации этих сетей.

3.5. Системы контроля герметичности космических аппаратов.

Проект этой системы – второй пример бортовой контрольно-измерительной аппаратуры. Задача контроля герметичности отечественных космических аппарата остро встала в рамках проблемы жизнеобеспечения в начале семидесятых годов в связи с гибелью трех космонавтов Г.Г.Добровольского, В.Н.Волкова и В.И.Пацаева из-за разгерметизации спускаемого аппарата «Союз». На рис.16 показана созданная для этих аппаратов система контроля аварийной разгерметизации «Дюза». После успешных летно-конструкторских испытаний на нескольких аппаратах «Союз» система была введена в состав и орбитальных станций типа «Мир».

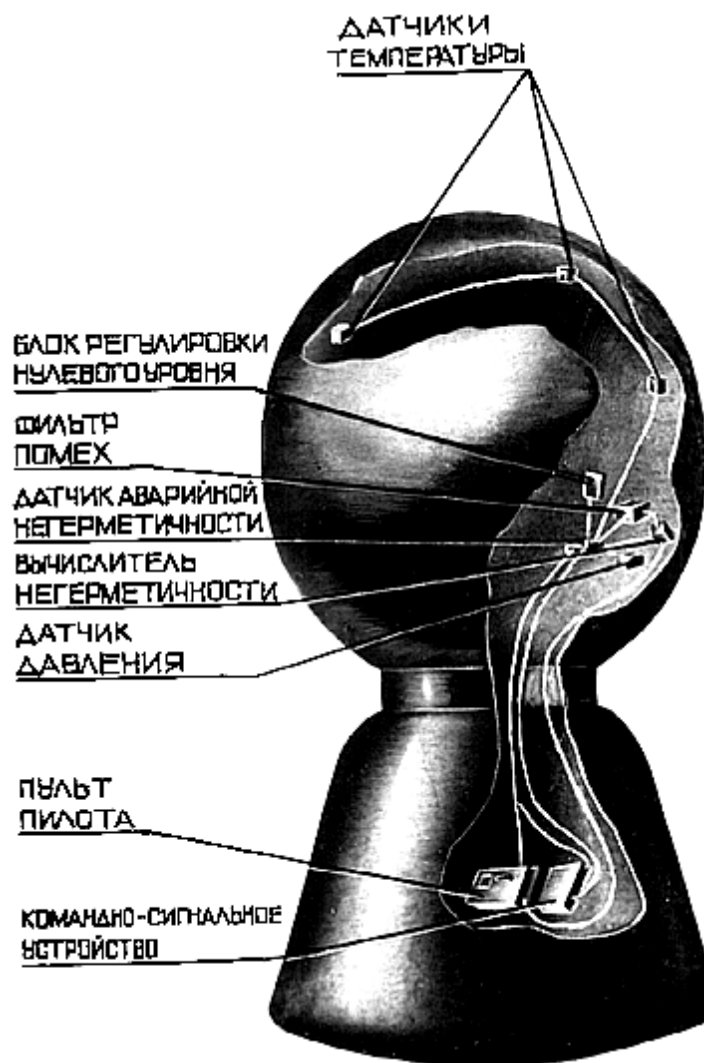


Рис.16. Система «Дюза –1М» контроля герметичности космических аппаратов.

Основной элемент системы – датчик давления. В качестве его был применен хорошо известный дифференциальный емкостной датчик давления с высокочувствительной мембраной, закрепленной в корпусе между двумя керамическими изоляторами. Полости с двух сторон мембраны соединены с окружающей средой, причем одна из них периодически закрывается. Поэтому пока она закрыта изменение давления снаружи, передаваемое в открытую полость с другой стороны мембраны, вызывает деформацию мембраны. Измеряемая величина этой деформации и является мерой произошедшего изменения давления. На рис.17 показана конструкция чувствительного элемента датчика. В соответ-

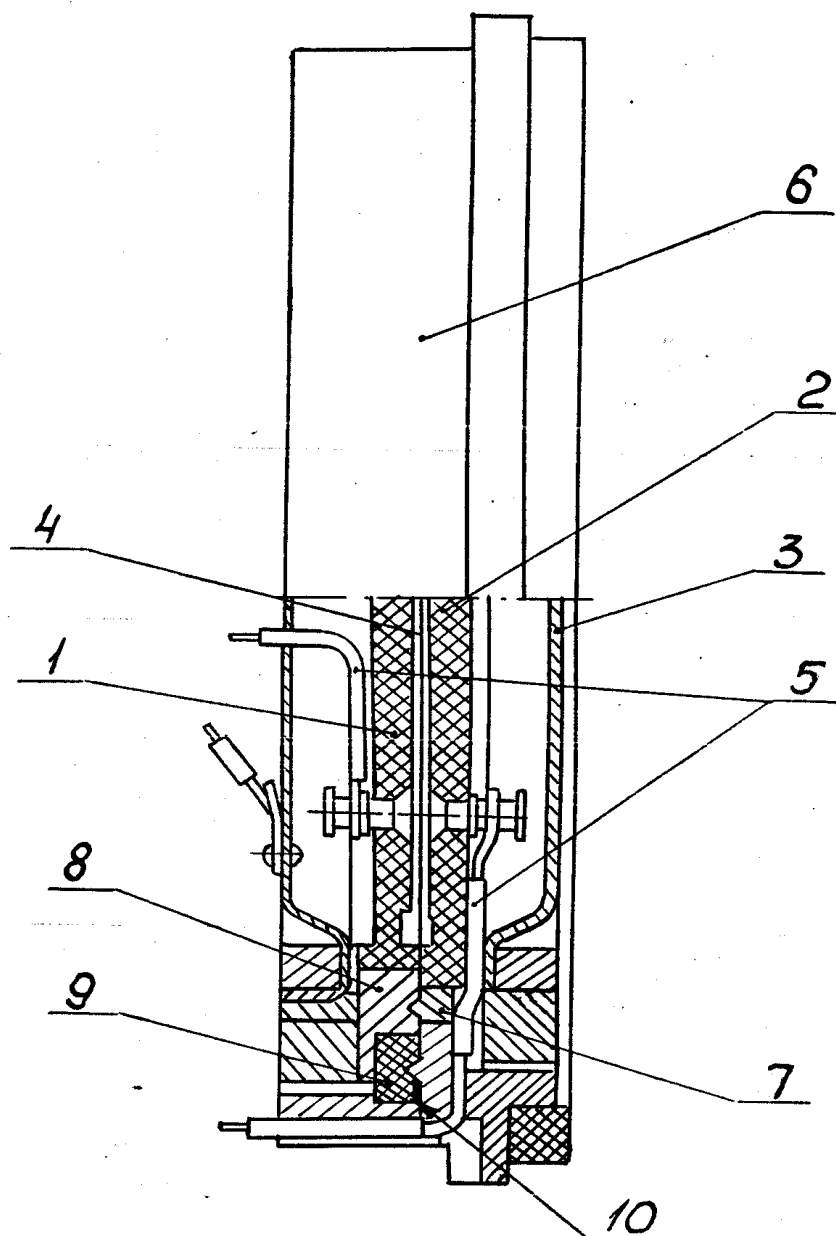


Рис.17. Конструкция чувствительного элемента датчика системы «Дюза-1М»: 1,2 – керамические изоляторы; 3 – экран; 4 – мембрана (толщина 0,03 мм); 5 – электрические выводы; 6 – корпус; 7,8 – кольца для натяжения мембраны; 9 – уплотняющее кольцо (вакуумная резина); 10 – клей (К-300).

ствии с назначением прибора при его создании прежде всего стремились получить наибольшую чувствительности и быстродействие. Для этого был особенно тщательно отработан чувствительный мембранный узел. Были разработаны специальные технологии прокатки мембранной пластины и лазерной сварки мембраны в корпусе датчика. Все это делалось первоначально в лабораториях кафедр нашего университета. В результате получился прибор уникальной чувствительности, настолько

превосходящий реальные потребности, что в ходе ЛКИ ее пришлось в несколько раз загрубить. В окончательном варианте система имеет регулируемую уставку выдачи аварийного сигнала о возникновении утечки атмосферы аппарата в диапазоне 1-50 мкм рт.столба в секунду с погрешностью не более 0,1 мкм рт.ст./с. Масса – не более 5 кг, потребляемая мощность – 10 Вт, ресурс работы – 5000 часов. К 2000 году приборы системы «Дюза» безотказно наработали на орбите около 4000 часов. В 1998 г. на станции «Мир» именно система «Дюза» зафиксировала потерю герметичности при аварийном пробое корпуса ее модуля «Спектр».

Успешный опыт эксплуатации системы «Дюза» стимулировал дальнейшие разработки в этой области. Система «Дюза» была дополнена пьезорезонансными датчиками абсолютного давления. На их базе был создан унифицированный комплекс измерения давления КИД. Были выполнены разработки, с одной стороны, по снижению низшего порога уставок величины утечки (с коррекцией показаний по температуре), а с другой – по вычислению и выдаче на пульт пилота величины резервного времени для экипажа при больших утечках до 500 мкм рт.ст./с.

Дальнейшим развитием этих работ стало создание методик и соответствующей аппаратуры обнаружения мест утечек как изнутри, так и снаружи корабля.

Основной проблемой при наземных испытаниях разрабатываемых систем этого типа, обусловленной их уникальной чувствительностью, оказалось их метрологическое обеспечение. Для этого было подключено НПО «ВНИИМ» им.Д.И.Менделеева, где создаваемые приборы проходили метрологическую поверку.

Системы контроля герметичности – пример проектов, в которых применены ранее известные технические решения, но доведенные до существенно более высоких параметров прежде всего за счет новых технологий изготовления.

3.6. Система бортовых манипуляторов для космического корабля «Буран».

Это еще один пример проекта космической техники, но относящийся не к приборостроению как предыдущие проекты, а к машиностроению, к робототехнике. Назначение системы – выполнение погрузочно-разгрузочных операций на околоземной орбите, включая извлечение из корабля и вынесение на орбиту полезных грузов, захватывание свободно движущихся по орбите объектов и помещение их в грузовой отсек корабля, а также выполнение операций инспекции, технического

обслуживания и ремонта спутников, в том числе совместно с космонавтами.

В состав системы (рис.18) входят два шестистепенных шарнирных манипулятора длиной 15 метров, размещенных по бортам корабля с двух сторон грузового отсека, устройство управления с пультом управления, две передающих телекамеры со светильниками, имеющих две степени подвижности, управляемые с пульта управления манипуляторами.

Манипуляторы имеют электрические приводы. Усилие в захватном устройстве – 5 кгс. Масса объектов манипулирования – до 3 т. Линейная скорость с грузом – до 0,03 м/с, без груза – 0,06 м/с. Погрешность позиционирования – 5 мм. Захватное устройство манипулятора – сменное. На кисти каждого манипулятора укреплена телевизионная камера.

Система управления обеспечивает следующие способы управления:

- автоматизированное управление от двух трехстепенных задающих рукояток, расположенных на пульте управления, одна из которых обеспечивает перемещение рабочего органа манипулятора, а другая – ориентацию этого органа в пространстве;
- автоматизированное управление с помощью телевизионной системы целеуказания;
- автоматическое программное управление для выполнения типовых операций;
- ручное командное управление отдельными приводами манипулятора.

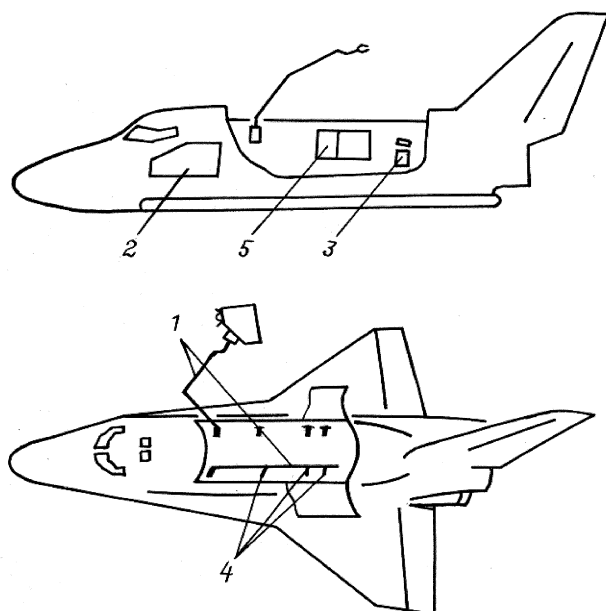


Рис.18. Размещение системы манипуляторов на космическом корабле «Буран»: 1 – манипуляторы; 2 – устройство управления; 3 – подвижные передающие телекамеры; 4 – ложементы; 5 – полезный груз.

Оба манипулятора идентичны (рис.19) и закреплены своими корнями 1 на корпусе корабля. В транспортном положении они крепятся на трех ложементах 2. Манипулятор состоит из трех звеньев – плечевого 3, локтевого 4, кистевого 5 и захватного устройства 6.

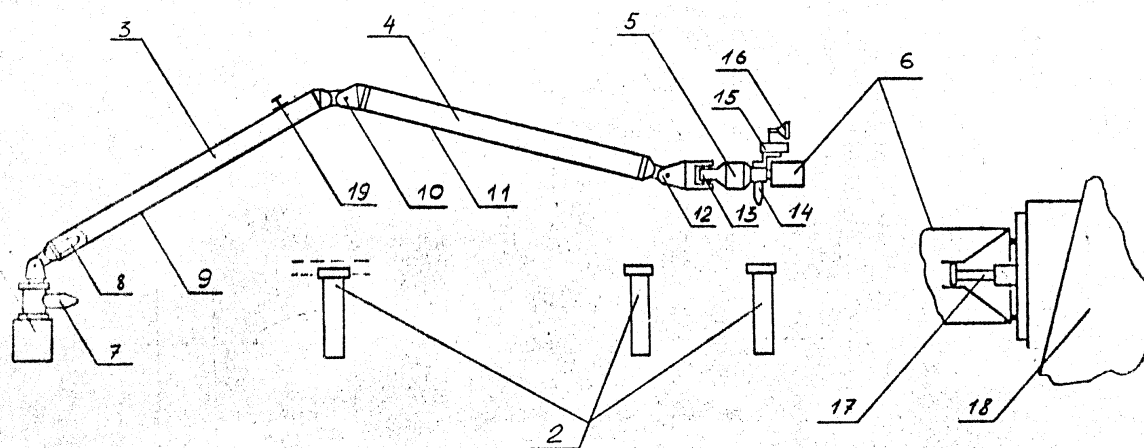


Рис.19. Манипулятор: 1 – корень манипулятора; 2 – ложементы; 3 – плечевое звено; 4 – локтевое звено; 5 – кистевое звено; 6 – захватное устройство; 7 – шарнир рыскания плеча; 8 – шарнир тангажа плеча; 9 – соединительная труба; 10 – шарнир тангажа локтя; 11 – соединительная труба; 12 – шарнир тангажа кисти; 13 – шарнир рыскания кисти; 14 – шарнир ротации кисти; 15 – телекамера; 16 – светильник; 17 – такелажный элемент; 18 – объект манипулирования; 19 – такелажный элемент плечевого звена.

Плечевое звено состоит из последовательно расположенных шарнира рыскания плеча 7, шарнира тангаже плеча 8 и соединительной трубы 9. Локтевое звено включает шарнир тангажа локтя 10 и соединительную трубу 11. Кистевое звено состоит из шарниров тангажа 12, рыскания 13, ротации 14 и захватного устройства 6. На шарнире ротации кистевого звена закреплены телекамера 15 и светильник 16.

Соединительные трубы 9 и 11 выполнены из углепластика, что обеспечивает им при достаточно высокой удельной жесткости относительно малую массу. С манипулятором стыкуется такелажный элемент 17 объекта манипулирования 18, являющийся по своей конструкции ответным захватному устройству 6 манипулятора. В случае отказа манипулятора они используются для отвода этого манипулятора на безопасное расстояние от корабля вторым манипулятором.

Все шарниры выполнены по единой схеме (рис.20) и включают электрический двигатель постоянного тока 1 с тахогенератором 2 и электромагнитным тормозом 3, четырехступенчатый редуктор 4 с предохранительной моментной муфтой 5 между второй и третьей ступенями, коническую пару 6, работающую на выходной вал 7.

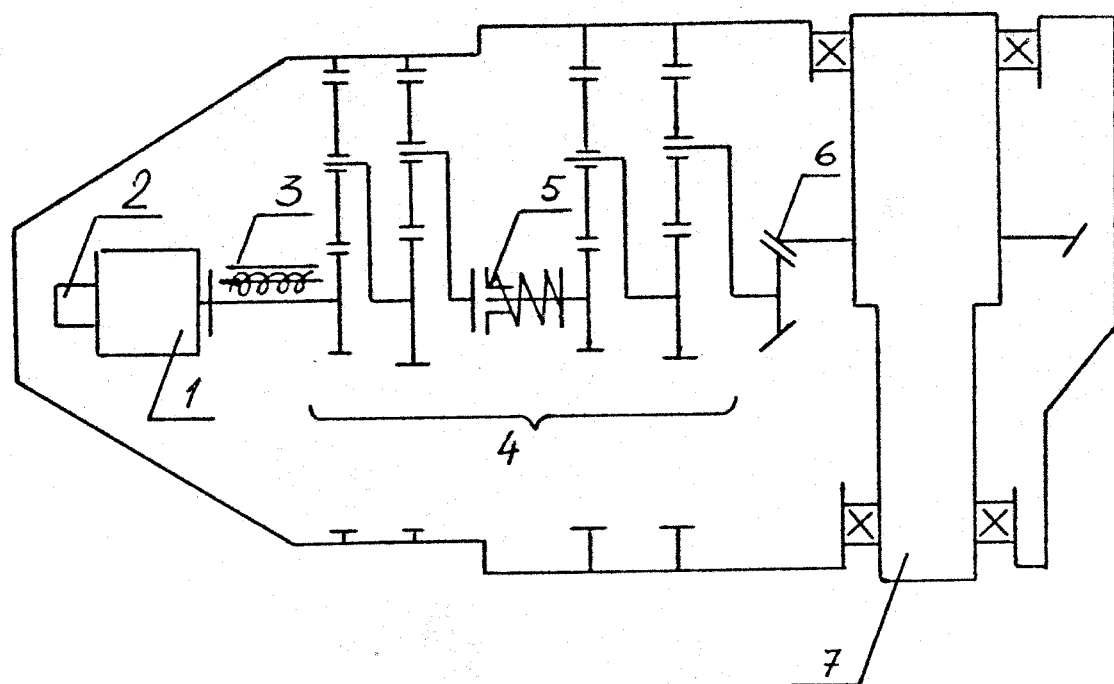


Рис.20. Шарнир манипулятора: 1 – электродвигатель постоянного тока; 2 – тахогенератор; 3 – электромагнитный тормоз; 4 – четырехступенчатый планетарный редуктор; 5 – моментная муфта; 6 – коническая пара; 7 – выходной вал.

Кожухи шарниров герметизированы с помощью магнитно-жидкостных уплотнений. Тепловой режим в них поддерживается электрическими нагревателями.

Аппаратная часть системы управления манипуляторами выполнена в виде устройства управления, функциональная схема которого дана на рис.21. Она состоит из пульта управления ПУ и стойки управления СУ, стойки управления приводами СУП и стойки питания СП. Кроме того, в состав стоек входит комплект резервных блоков.

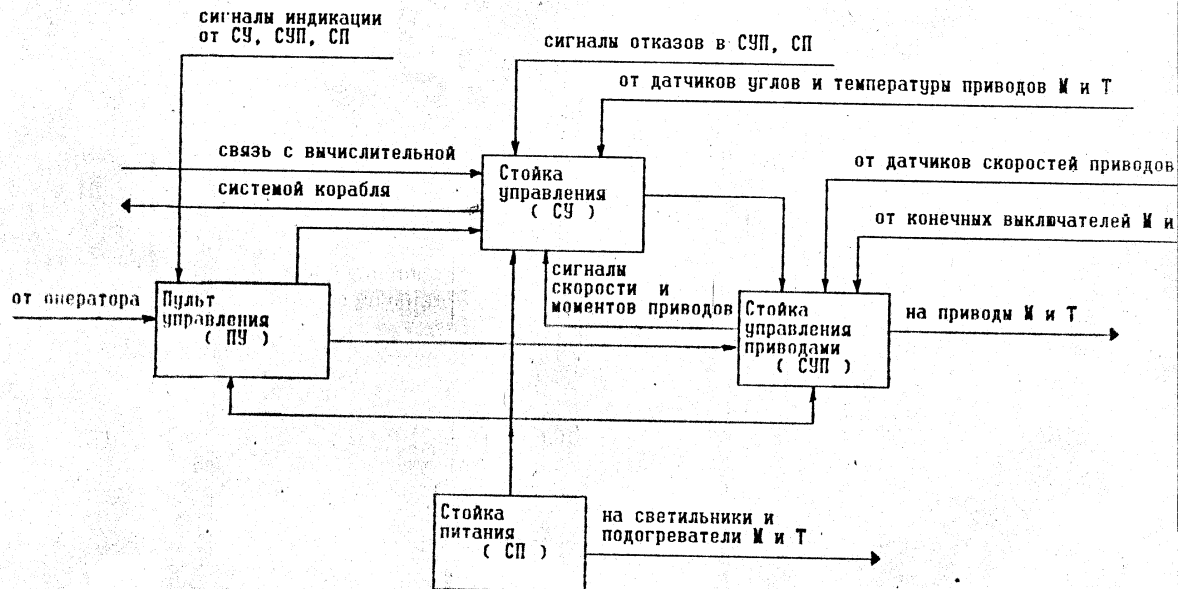


Рис.21. Функциональная схема устройства управления манипулятора: М – манипулятор, Т – телекамера.

Стойка управления также связана с вычислительной системой корабля, в которой реализуется программное обеспечение системы управления манипуляторами. Помимо манипуляторов устройство управления управляет приводами бортовых передающих телекамер и светильниками, которые обслуживают рабочую зону манипуляторов.

Основные требования, которые предъявляются к аппаратной части системы управления манипуляторами, сводятся к минимизации массогабаритных характеристик и энергопотребления, обеспечению теплового режима и надежности.

Для последнего помимо обычных схемных решений предусмотрена возможность замены отказавших блоков резервными с использованием системы автоматической диагностики.

Математическое обеспечение системы управления манипуляторами реализует:

- алгоритмы управления, соответствующие перечисленным выше способам управления движением манипуляторов;
- алгоритм диагностики программного обеспечения и системы в целом;
- алгоритм обработки информации, поступающей от телекамер и других датчиков, с отображением ее на пульте управления;
- математические модели системы, предназначенные для осуществления программирования;
- взаимодействие с другими системами корабля.

Управление движением манипуляторов в автоматическом режиме обеспечивается алгоритмами построения траектории в среде с препятствиями и управления движением по этим траекториям.

Траектории представляются псевдо-эрмитовским кубическим сплайном, а среда с препятствиями – иерархической системой вложенных простых тел типа шара, цилиндра, параллелепипеда. Алгоритм управления движением синтезируется по уравнению динамики манипулятора с учетом его гибкости, сухого и вязкого трений в шарнирах. Алгоритмы расчета основаны на подсчете коэффициентов уравнений динамики методом «накапливания по звеньям» с использованием свойства мажорируемости коэффициентов при смешанных производных.

Управление движением манипуляторов от задающих рукояток обеспечивается алгоритмами, основанными на решении обратной задачи кинематики для скорости. При этом используется алгоритм интерпретации рукояток, позволяющий оператору управлять манипулятором по одним и тем же правилам вне зависимости от используемых передающих телекамер, расположенных в разных местах корабля и на манипуляторе, а также при наблюдении через иллюминаторы.

При разработке подобных средств космической робототехники необходимо учитывать следующие особенности:

1. Жесткие требования к массо-габаритным параметрам и энергопотреблению бортовых систем требует их минимизации. Поэтому здесь неприемлема декомпозиция проектируемой системы на механическую часть и устройство управления, а необходим системный подход с обеспечением общего минимума указанных параметров технической системы в целом. Это прежде всего означает отказ от традиционной методики расчета механической конструкции манипуляторов на жесткость (на допустимую заданной точностью позиционирования деформацию конца манипулятора) и переход к расчету на прочность (по допустимым напряжениям) с обеспечением требуемой точности позиционирования получающегося при этом гибкого манипулятора с существенными упругими колебаниями за счет демперирования и компенсации последних системой управления.
2. Необходимость указанного системного подхода, существенно осложняющего расчет и конструирование подобных изделий, а также сложность этих изделий (многомерность, взаимосвязанностей степеней подвижности, нелинейность и нестационарность) неизбежно ограничивает возможности аналитических расчетов и делает основным средством компьютерное моделирование и численный эксперимент.

3. По тем же основаниям другим основным средством проектирования становится физическое моделирование. А затем и натурный эксперимент. Однако это требует создания динамических стендов, имитирующих в земных условиях невесомость и другие условия космоса. Создание таких средств – задача не менее сложная чем создание самих объектов проектирования.

В соответствии с изложенным процесс проектирования рассматриваемой системы бортовых манипуляторов включал следующие основные этапы, которые последовательно уточнялись на всех стандартных этапах проектирования от эскизного до рабочего:

1. Анализ подлежащих выполнению технологических операций и определение на этой основе эксплуатационных требований к системе манипуляторов, включая перечень типовых технологических операций и составляющих их элементарных манипуляционных операций.
2. Построение соответствующего проектного облика системы, включая габаритные, кинематические и динамические характеристики, энергетику и требования к сенсорике и управлению.
3. Построение математических моделей для исследования отдельных аспектов функционирования системы и на их основе создание компьютерных моделей.
4. С помощью этих моделей осуществление синтеза системы, включая конструкцию, алгоритмы информационного обеспечения и управления, определение предельных возможностей системы по выполнению требуемых технологических операций.
5. Разработка аппаратуры управления, включая пульт управления, порядок взаимодействия с системой бортовых ЭВМ.
6. Разработка и реализация проектов стендов для наземных испытаний, отработка и сдача системы.
7. Проведения экспериментальных исследований образцов системы от макетных до штатных на динамических стендах, имитирующих условия невесомости, включая подтверждение требований ТЗ, определение запасов по ним, отработку алгоритмов и программ выполнения заданных в ТЗ технологических операций.

В ходе выполнения проекта были определены необходимые соисполнители, включая разработчиков и изготовителей труб из углепластика для звеньев манипулятора, ложементов, на которых крепятся манипуляторы в нерабочем состоянии и т.д.

Наряду со специальными стендами для прочностных, статических и ударных испытаний основную трудность, как выше отмечено, представило создание динамических стендов для комплексных испытаний

манипуляторов в сборе с имитацией условий невесомости. Были разработаны и построены два таких стенда плоскостной (двухмерный) на воздушных подушках и пространственный (трехмерный) с электромеханической системой обезвешивания на тросах.

На рис.22 показан фрагмент плоскостного стенда с манипулятором. Стенд имеет пол со специальным покрытием площадью 100 кв.м, на котором находятся опоры на воздушных подушках, обезвешивающие установленные на них части испытываемого объекта.

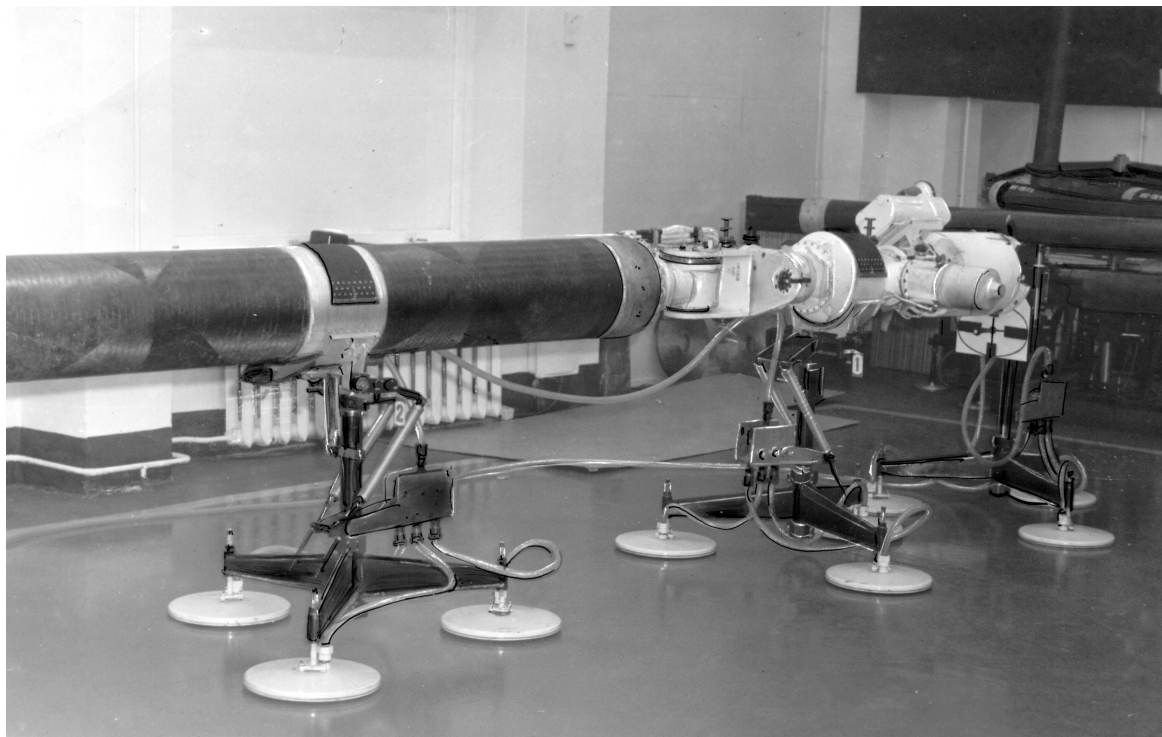


Рис.22. Участок плоскостного стенда.

На рис.23 упрощенно показан внешний вид пространственного стенда. При управляемом движении испытываемого объекта (манипулятора) верхний конец троса, на котором объект подвешен, автоматически перемещается в горизонтальной плоскости с помощью двухступенной платформы, обеспечивая вертикальность троса. Одновременно с помощью датчиков усилий обеспечивается постоянство силы натяжения троса. Стенд размещен в специальном здании в виде цилиндрической башни высотой 70 м и диаметром около 30 м. На рис.24 показан внутренний вид стенда с манипулятором. Стенд укомплектован системой комплексирования с компьютерной моделью, описанной в параграфе 1.2 (рис.3).

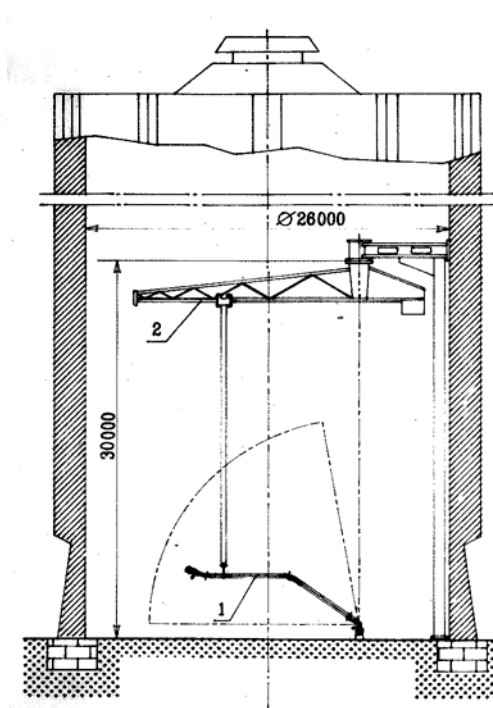


Рис.23. Пространственный стенд: 1 – испытываемый манипулятор, 2 – система обезвешивания.

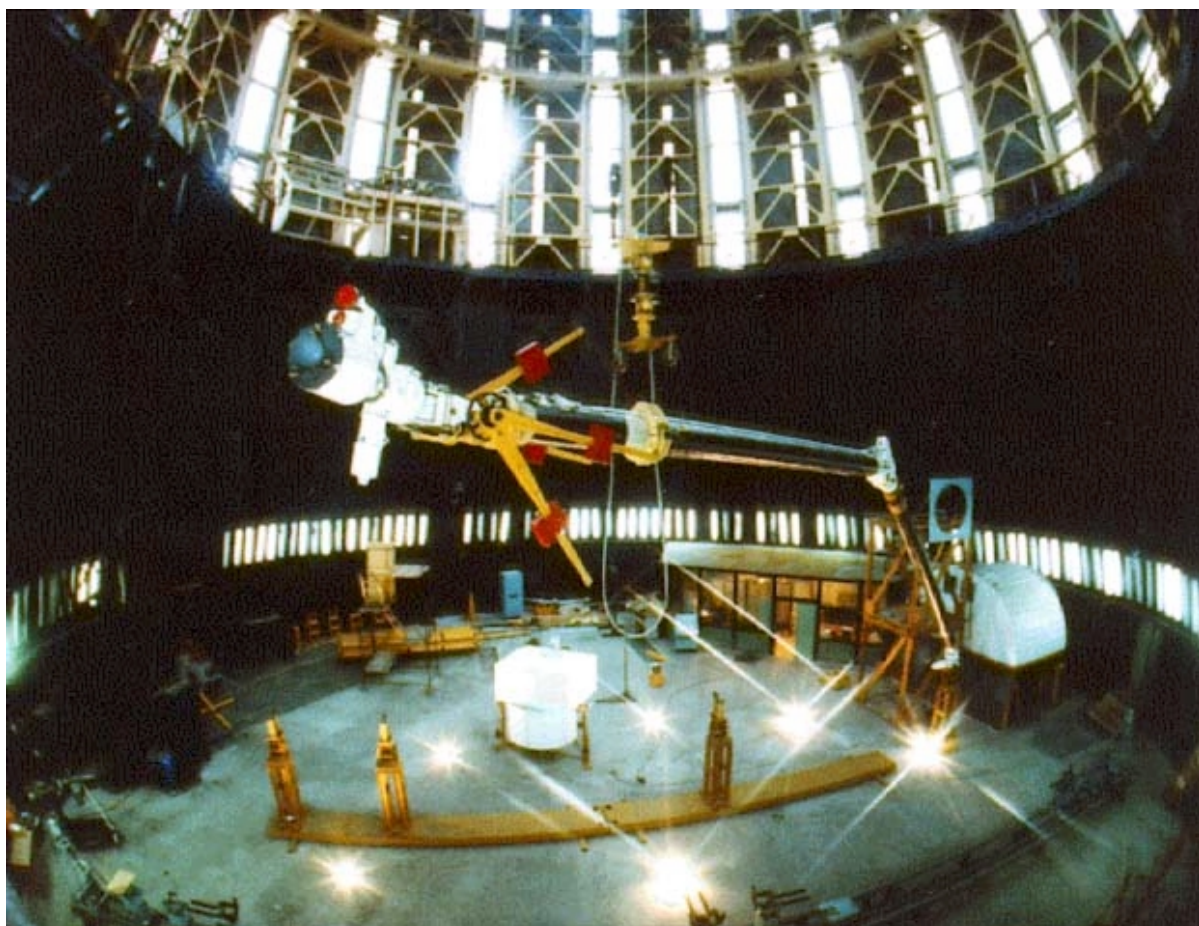


Рис.24. Внутренний вид пространственного стенда с испытываемым манипулятором.

Сегодня эти стенды – основная отечественная экспериментальная база космической робототехники.

3.7. Модульные роботы для Чернобыльской АЭС.

В параграфе 2.4. при изложении принципов построения технических систем, основанных на унификации их компонентов был описан принцип модульного построения и обоснован как наиболее универсальный и основной, в частности, для робототехники.

Первая созданная в ЦНИИ РТК в 1981-1982 годах система электромеханических модулей ПРЭМ и аппаратных модулей ЕСМ дала возможность оперативно выполнять заявки промышленных предприятий на различные образцы мобильных и стационарных роботов для комплектации начавших тогда свое бурное развитие гибких автоматизированных производств в рамках соответствующей государственной программы. На рис.25 показаны такие вращательные модули – приводы двух габаритов.



Рис.25. Модули-приводы ПРЭМ.

Однако наиболее убедительно эффективность модульного принципа была продемонстрирована при создании средств робототехники для обеспечения работ по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году. Наличие хорошо отработанных к тому времени модулей позволил в течении двух месяцев разработать, изготовить и поставить на АЭС, а затем обеспечить эксплуатацию и техническое обслуживание

более 15 различных роботов. Среди них были первые, во всяком случае в нашей стране, дистанционно управляемые мобильные роботы-разведчики, снабженные подвижными телевизионными передающими камерами и дозиметрической аппаратурой, вся информация с которых документировалась путем записи на видеомагнитофоны (первые отечественные). Затем были созданы тяжелые роботы для выполнения различных технологических операций по сборке радиоактивного мусора – подборщики, бульдозеры, транспортные как радиоуправляемые с автономным энергопитанием (дизель-генераторы, аккумуляторы), так с энергопитанием и связью по кабелю [17].

Работа по созданию этих роботов и их эксплуатация на станции проходили следующим образом. Сразу после аварии по поручению правительства на станцию были посланы несколько опытных физиков. Они определили для каких первоочередных операций требуются роботы и каковы внешние условия для их работы (степень радиоактивного заражения, состояние помещений станции и территории и т.п.).

В связи с чрезвычайностью задания еще до получения этих данных в ЦНИИ РТК был создан экспериментальный образец универсального мобильного робота, ориентированного на предельно широкий набор функций, которые могли бы потребоваться в еще неизвестной ситуации. В этом роботе были реализованы все последние достижения робототехники и опыт разработчиков ЦНИИ ТК. Предполагалось, что с его помощью будет проведена «развертка с боем», в результате которой удастся уточнить основные требования к роботам для выполнения работ на станции. Однако уже первые дни на станции показали, что в подобных экстремальных ситуациях необходим принципиально другой подход с ориентацией на узко специализированные роботы. Дело в том, что в таких условиях не только перечень возможной для применения в составе робота аппаратуры, но и сама его компоновка существенно зависят от конкретных внешних условий. Так, например, в достаточно сильных ионизирующих полях даже стандартные электрические приводы постоянного тока оказываются недостаточно надежными. Переориентация на специальные роботы позволила делать их предельно простыми и поэтому надежными, удобными в техническом обслуживании в экстремальных условиях, в частности, в отношении дезактивации (очистки от радиоактивной пыли), доставки на место работы и освоения их регулярно сменяемыми операторами.

Этот первый экспериментальный робот, созданный и поставленный для работы на станции практически почти не использовался и оказался единственным из поставленных на станцию роботов ЦНИИ РТК, который почти новым оказался в конце концов на кладбище использованной там и поэтому загрязненной радиоактивностью техники.

Первыми поставленными на станцию специальными роботами стали роботы-разведчики с кабельным энергопитанием и управлением (рис.26 и 27). Приводы их колес и двухступенных платформ, на которых были уста-

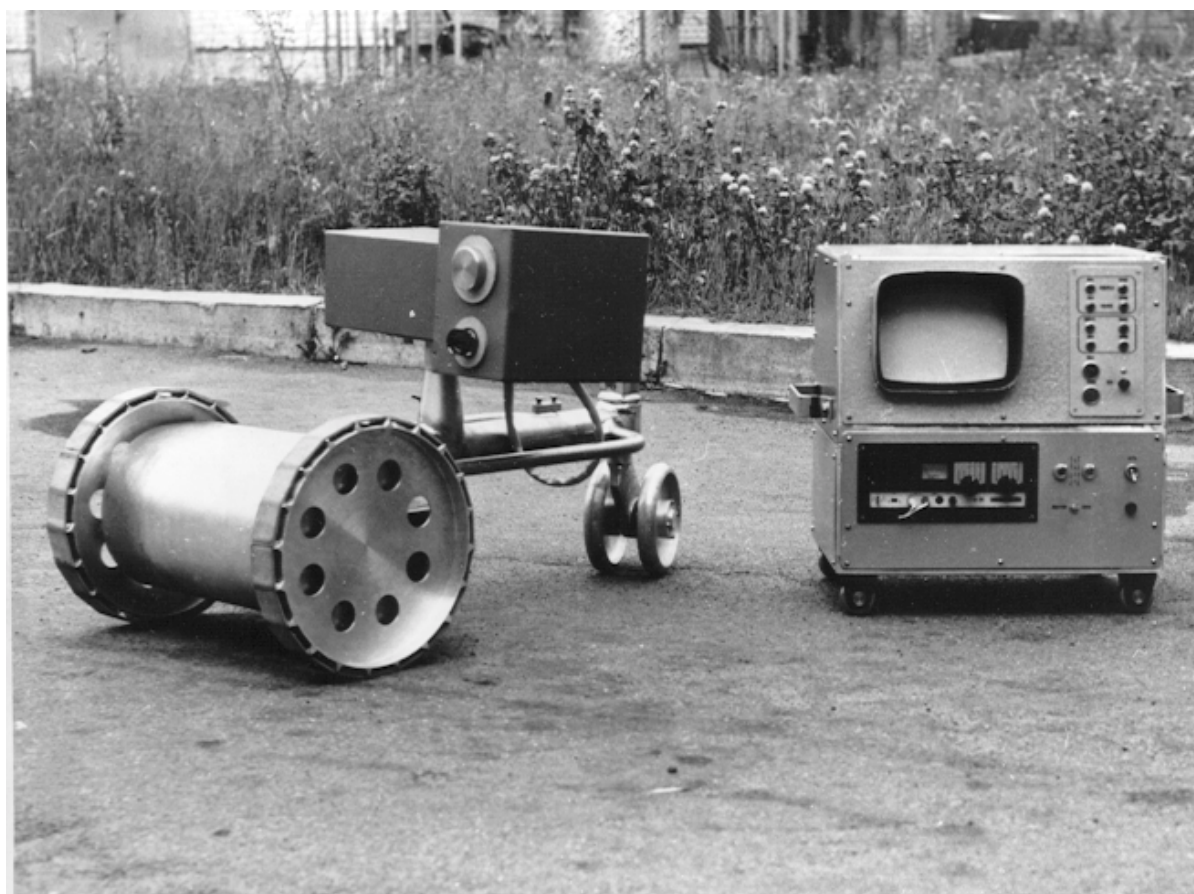


Рис.26. Робот-разведчик колесный РР-2 (слева пульт управления).

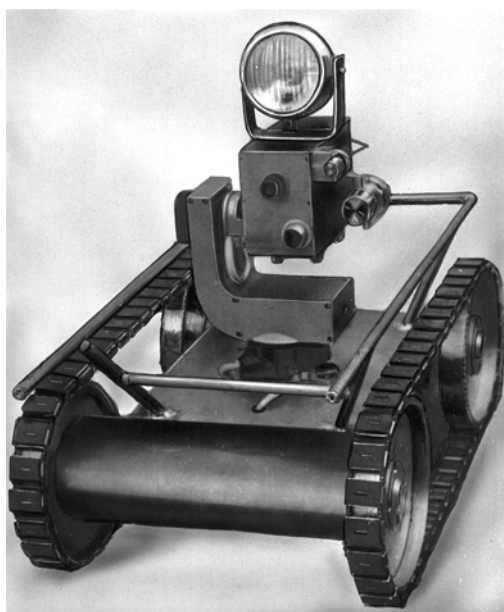


Рис.27. Робот-разведчик гусеничный РР-Г1.

новлены телевизионные камеры, гамма-локаторы и измерители мощности дозы радиации, – это были модули-приводы из типоразмерного ряда таких модулей ПРЭМ. Благодаря своей простоте, кабельному питанию, обмену информацией и управлению (длина кабеля – 200 м) эти роботы успешно работали даже в самых радиационно зараженных зонах непосредственно под взорвавшимся четвертым энергоблоком станции, где мощность дозы превышала 20000 рентген в час. С помощью таких роботов была обследована большая часть помещений и практически вся кровля зданий, а также часть территории станции общей площадью около 15000 кв.м. с составлением карт дозных полей. Одновременно с проведением этих инспекционных работ и с учетом их результатов стали создаваться и работать по уборке территории и кровли зданий станции тяжелые технологические роботы. На рис.28 показан внешний вид автономного

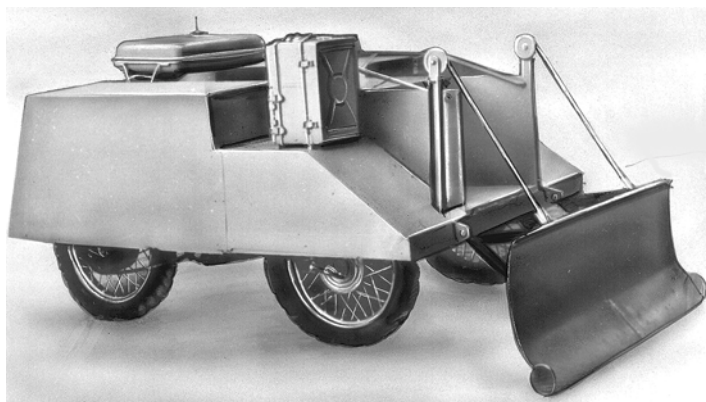


Рис.28. Радиоуправляемый тяжелый робот TP-B1 с двигателем внутреннего сгорания.

радиоуправляемого робота с бульдозерным ножом. Этот робот использовался на уборке территории станции в наиболее радиационно опасных и открытых местах, требовавших значительного удаления управлявших роботом операторов. Поэтому потребовалась автономность и связь, в том числе телевизионная, по радио. Автономный источник энергопитания был выполнен в виде двигателя внутреннего сгорания с электрическим генератором и резервным аккумулятором. Телевизионный канал связи был специально разработан в радиационно-защитном исполнении, а для передачи остальной информации и управляющих команд были использованы уже снятые с эксплуатации войсковые радиосистемы, построенные на электронных лампах и поэтому в отличие от современной полупроводниковой аппаратуры не подверженные влиянию ионизирующих излучений и соответственно не требующие тяжелой защиты из свинца и т.п. материалов.

Для работы на кровле зданий станции в районе взорвавшегося энергоблока были созданы более простые тяжелые роботы с кабельным энергопитанием и управлением. Для них были разработаны оригинальные устройства для намотки и смотки кабеля. На первых образцах роботов они

отсутствовали и это приводило к отказам из-за запутывания кабеля и наезда на него робота при маневрировании.

На рис.29 показан один из последних вариантов тяжелых роботов, предназначенных для длительной работы в условиях особо интенсивных ионизирующих излучений, не допускающих применения, как было упомянуто выше, даже двигателей постоянного тока, на которых были построены модули-приводы ПРЭМ. Для этих условий пришлось перейти



Рис.29. Тяжелый робот ТР-Г2 с бульдозерным ножом (справа пульт управления).

на асинхронные двигатели без всякой силовой и управляющей аппаратуры на шасси робота с передачей на приводы управляемого напряжения питания переменного тока прямо по кабелю. На рис.29 в передней части робота справа виден бульдозерный нож в центре – две направленные в противоположные стороны телевизионные камеры на двухступенных управляемых платформах. Сзади слева виден поводок с кабелем устройства смотки-намотки кабеля.

Как правило, совместно с технологическими роботами использовались и роботы-разведчики. Они давали оператору общую картину рабочей зоны, включая вид со стороны и на сами технологические роботы. Одновременно роботы-разведчики выполняли и свои прямые функции – inspectируя обстановку перед технологическими роботами и выявляя особо опасные объекты.

На рис.30 показаны унифицированные пульты управления роботами. На правом пульте по бокам видны две задающих рукоятки для управления движением, на вертикальной стенке – экраны телевизионной системы, на горизонтальном поле – органы управления системами роботов (включение питания, настройка режимов и т.д.), внизу – источники питания.



Рис.30. Унифицированные пульта управления роботами на Чернобыльской АЭС.

В целом, как следует из изложенного, основная специфика и трудность проектирования и эксплуатации роботов для Чернобыльской станции – это обеспечение работоспособности и ресурса в условиях радиационного заражения. Накопленный ранее в ЦНИИ РТК опыт работы с ионизирующими излучениями, а также непосредственное участие разработчиков роботов в их эксплуатации на станции позволили квалифицированно учесть эти условия при проектировании поставляемых на станцию роботов и оперативно корректировать их конструкцию в соответствии с вариациями условий их работы. Именно поэтому подавляющая часть поставленных на станцию роботов ЦНИИ РТК успешно проработали там вплоть до исчерпания ресурса. В то же время, ранее закупленные в Германии тяжелые радиоуправляемые роботы MF-2 и MF-3 быстро вышли из строя именно под действием ионизирующих излучений.

На основе полученного на Чернобыльской АЭС опыта в дальнейшем были разработаны научно-технические принципы проектирования и применения средств робототехники для работы в подобных чрезвычайных ситуациях. В частности, одним из основных принципов проектирования роботов для работы в таких ситуациях было определено создание семейств специальных роботов, охватывающих в своей совокупности весь перечень подлежащих выполнению операций, и построенных по модульному принципу. При этом должна быть предусмотрена возможность оперативного изменения состава модулей непосредственно на месте работы в соответствии с конкретными задачами и условиями работы.

В качестве примера одной из последующих разработок в этой области на рис.31 показан радиоуправляемый автономный (на аккумуляторах) мобильный робот «Разведчик», предназначенный для

обследования зараженных радиоактивностью территорий и помещений, поиска и удаления радиоактивных источников.



Рис.31. Робот «Разведчик» с пультом управления (справа).

На рис.32 приведена функциональная схема робота. Робот имеет манипулятор грузоподъемностью 160 кг, пять передающих телевизионных камер ТК и два детектора радиационного излучения.

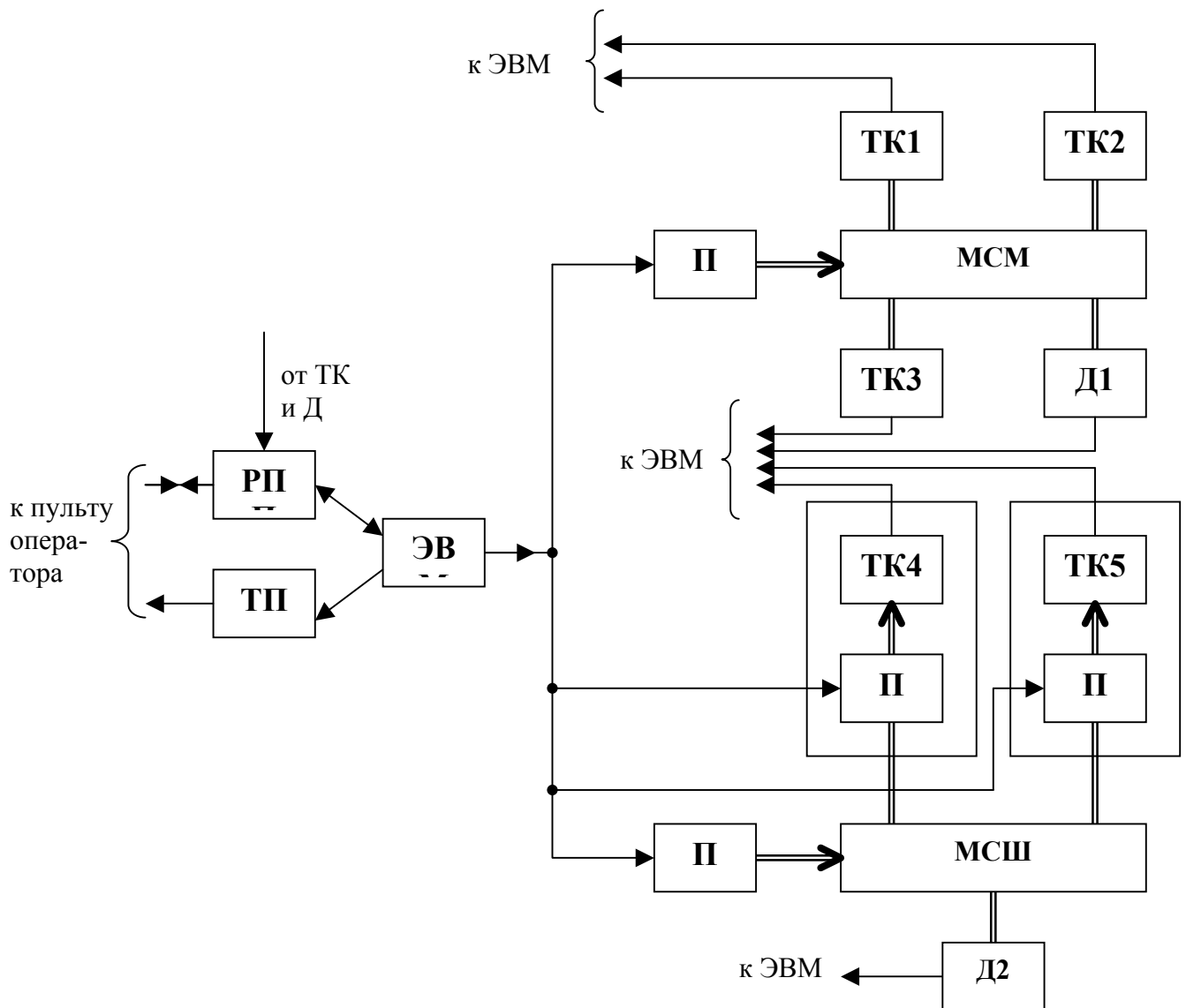


Рис.32. Функциональная схема робота «Разведчик»: МСШ, МСМ – механические системы шасси и манипулятора; П – системы приводов; ТК1-ТК5 – передающие телевизионные камеры; Д1, Д2 – детекторы радиоактивного излучения; РПП – радио приемо-передатчик; ТП – телевизионный передатчик.

Управление роботом осуществляется бортовой ЭВМ, которая связана с пультом оператора, реализующего верхний уровень управления роботом. Из пяти телевизионных камер три (ТК1, ТК2, ТК3) расположены на звеньях манипулятора, а две (ТК4, ТК5) – на шасси на двухступенных плат формах для сканирования окружающего пространства. Один из двух детекторов (Д1) также расположен на манипуляторе в его конце, а второй – на шасси робота для осуществления кругового обзора и определения угловых координат обнаруживаемых локальных источников радиоактивных излучений на дальности до 500 м. Система автоматического управления на базе бортовой ЭВМ обеспечивает

автономный поиск, обнаружение и транспортировку источников радиоактивных излучений. Оператор может вмешиваться в этот процесс, задавая направление и скорость движения робота, а также при необходимости беря на себя оперативное управление отдельными системами робота с помощью двух трехступенных задающих рукоятки и клавиатуры. На экране своего пульта оператор получает изображение обследуемой территории с нанесенными (цветом и цифрами) значениями интенсивности радиоактивного заражения.

Обобщение опыта применения роботов при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС инициировало возникновение нового направления в робототехнике – «экстремальной робототехники», которое охватило все области применения робототехники в экстремальных как чрезвычайных, так и штатных условиях, включая подводные работы, космические, промышленные и военные робототехнические системы. Типовые виды работ в этих условиях – это инспекция, различные манипуляционные технологические и транспортные операции, спасательные работы [2,20].

Опыт создания и применения средств робототехники на Чернобыльской АЭС выявил, в частности, следующие особенно актуальные именно для экстремальной робототехники проблемы:

- Необходимость резкого улучшения массо-габаритных характеристик и прежде всего силовых (исполнительных) систем. По существу, это фундаментальная проблема, требующая поиска новых физических принципов управляемого движения (искусственные мышцы, новые, в том числе тоже заимствованные у живой природы, способы передвижения), новой автономной энергетики.
- Развитие способов дистанционного и телеуправления мобильными роботами со стороны человека-оператора с переходом от традиционной задающей рукоятки к интерактивному управлению с обеспечением эффекта присутствия на месте работы методами виртуальной реальности.
- Развитие алгоритмических и интеллектуальных возможностей систем автономного управления роботами. Эта проблема прямо связана с развитием систем искусственного интеллекта, включая создание соответствующего аппаратного обеспечения (нейронные компьютеры и т.п.).

3.8 Пневматические промышленные роботы и технологические комплексы на их основе.

Наряду с электромеханическими роботами самостоятельный, хотя и значительно более скромный тип роботов составляют роботы

пневматические. Их основное достоинство – простота и соответственно дешевизна, что делает их вне конкуренции для выполнения достаточно простых технологических операций.

В начале 80-х годов в ЦНИИ РТК было проведено исследование перспектив применения пневматических роботов в отечественной промышленности. По его результатам был выполнен проект универсального промышленного робота, который сразу же был освоен в серийном производстве на АВТОВАЗ,е под маркой МП-9С (рис.33) [2,18].

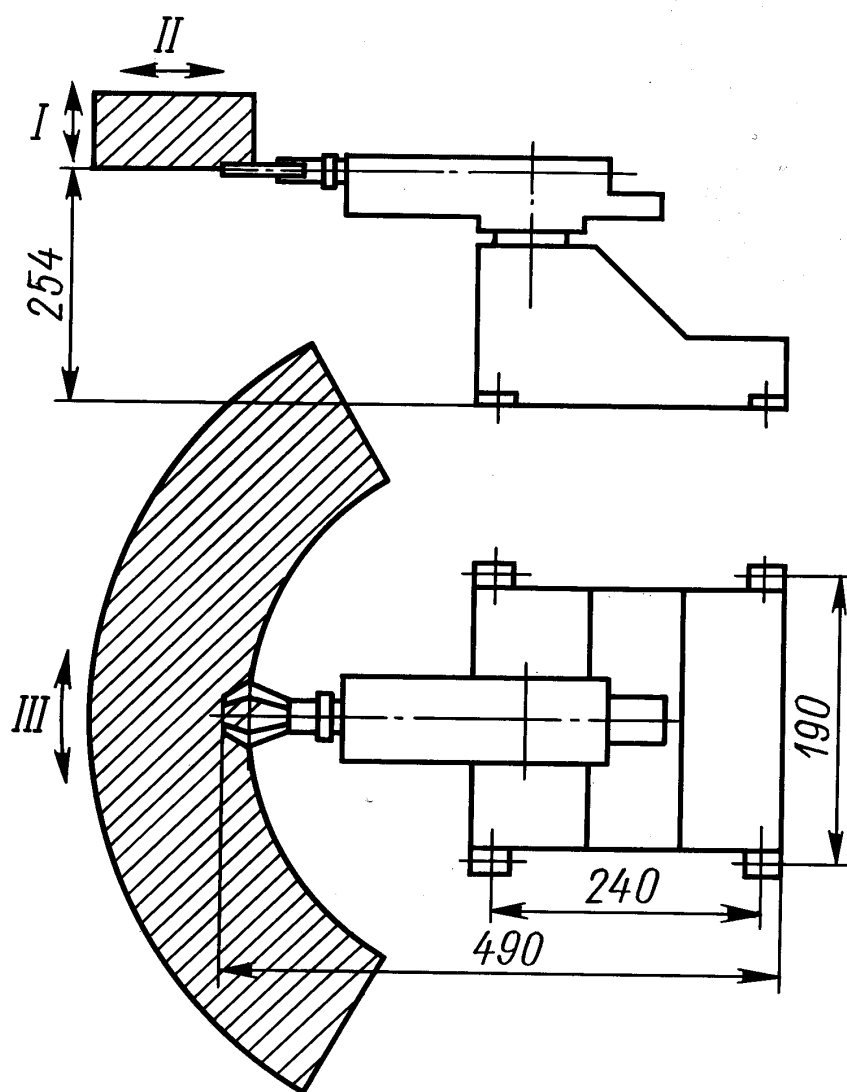


Рис.33. Пневматический промышленный робот МП-9С.

Основные характеристики робота:

Степени подвижности:

- подъем I – 30 мм, 100 мм/с;
- поворот II – 120 град, 240 град/с;
- выдвижение III – 150 мм, 500 мм/с;

- грузоподъемность – 0,2 кг;
- точность позиционирования – 0,2 мм;
- способ управления – цикловой;
- масса (без устройства управления) – 2,5 кг.

Робот МП-9С стал самым массовым отечественным промышленным роботом, который нашел применение как на обслуживании различного технологического оборудования, так и для выполнения некоторых основных технологических операций.

Как выше сказано, прежде чем приступить непосредственно к разработке робота на основе ранее выполненного анализа потребностей промышленности в средствах робототехники были определены его основные технические параметры, включая указанные выше: грузоподъемность, быстродействие, точность, число степеней подвижности, размеры ходов, система координат манипулятора и т.д., которые определили технические требования ТЗ на робот. После этого были выбраны «покупные изделия», т.е. те компоненты робота, которые целесообразно не разрабатывать, а взять готовыми. В данном случае это были пневмоцилиндры, аппаратура управления воздухом и его подготовки, демпферы для смягчения ударов об опоры в конце движения по каждой степени подвижности, компоненты устройства управления (декадные переключатели, штепсельные разъемы, кабельные, монтажные провода и др.). С некоторыми из изготовителей этих изделий потребовалось подписать специальные «протоколы применения», когда возникали несоответствия между содержанием паспортов на эти изделия и особенностями их применения в данном случае.

После этого был проведен расчет механической части робота и его устройства управления. В первом случае определялась конструкция путем расчета механики с оценкой деформаций, нагрузок, результирующих погрешностей позиционирования на упорах и быстродействия.

В части устройства управления синтезировалась его принципиальная схема с разделением на отдельные конструктивные блоки, выполнялась компоновка конструкции с получением общего габаритного чертежа, разрабатывалась монтажная схема устройства, выполнялась трассировка (см. параграф 2.1). После этого была проведена оценка всех параметров робота на соответствие требований ТЗ.

Все перечисленное составляет этап эскизного проектирования. Далее последовала разработка конструкторской и другой документации на робот, изготовление и испытания его опытного образца и, наконец, передача документации на серийное предприятие – АВТОВАЗ.

После начала серийного выпуска робота МП-9С начался новый очень ответственный этап изучения опыта его применения, сбора и анализа различных предложений и рекламаций и следующей за этим соответствующей корректировки документации.

На рис.34 показан пример применения робота на обслуживании прессы холодной штамповки. В ходе эксплуатации робота на подобных



Рис.34. Робот МП-9С на обслуживании прессы холодной штамповки. Справа устройство группового управления и магазин заготовок (вертикальный) с пневматическим толкателем. Слева – лоток для сбрасывания деталей в магазин.

операциях непрерывно проводилась его доработка. В частности, выяснилось, что производительность могла бы быть существенно повышена (уменьшена длительность цикла операции), если бы робот имел два манипулятора: один для загрузки, а другой для разгрузки обслуживаемого оборудования. На одном предприятии даже была проведена соответствующая модернизация робота путем дополнения его вторым упрощенным манипулятором.

На некоторых предприятиях при групповом применении робота индивидуальные устройства управления, которыми они комплектовались, заменялись системами группового управления, реализованными на серийной вычислительной технике.

В результате обобщения всего этого опыта был разработан новый робот МП-11. Он построен уже по модульному принципу, имел два манипулятора, увеличенные до 1 кг грузоподъемность и поступательные перемещения и скорости. Робот был ориентирован на групповое применение с соответственно управлением от общего устройства управления.

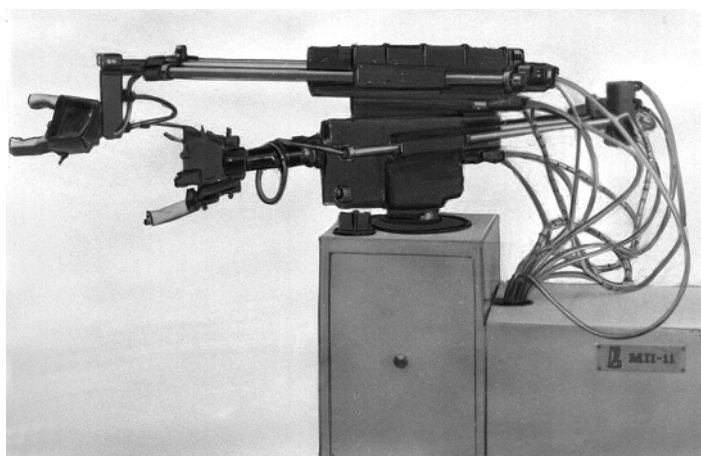


Рис.35. Модульный промышленный робот МП-11.

На рис.36 показан пример применения рассмотренных пневматических роботов на основных технологических операциях сборки узлов радиоприемников. Процесс сборки разбит на элементарные механи-

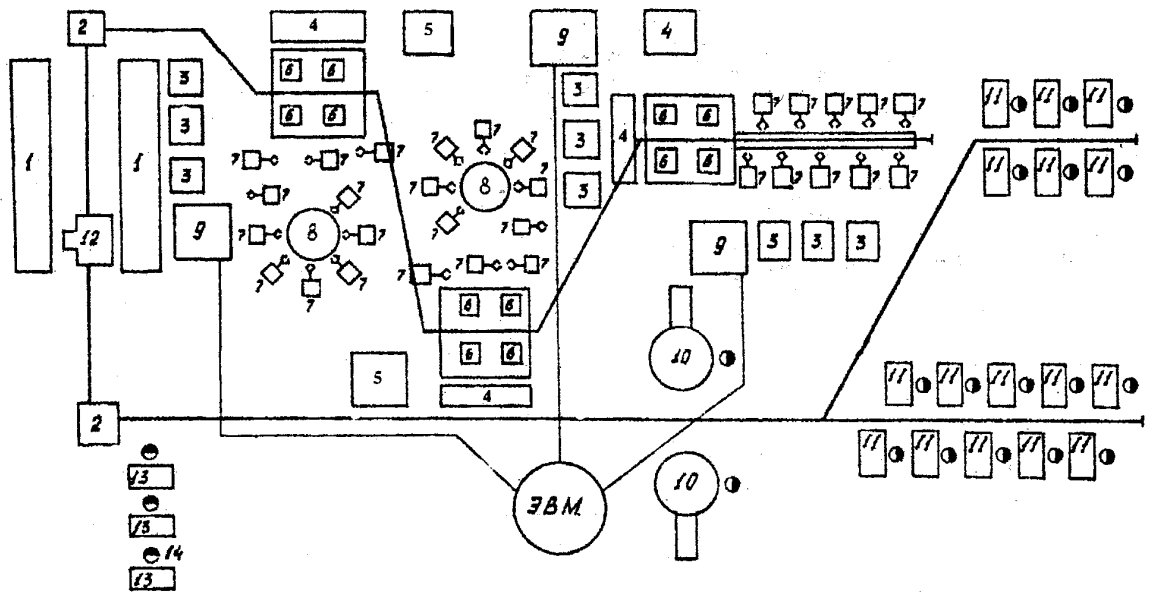


Рис.36. Участок сборки узлов радиоприемников с применением промышленных роботов МП-9С и МП-11: 1 – стеллажно-тарный автоматизированный склад; 2 – площадка для загрузки-разгрузки склада; 3 – устройство управления роботами; 4 – координатный стол; 5 – устройство ЧПУ; 6 – устройство загрузки-разгрузки; 7 – промышленный робот; 8 – комплекс сборки контурных катушек; 9 – устройство управления комплекса сборки; 10 – намоточный полуавтомат; 11 – стол с намоточным станком; 12 – подвесной транспортный робот на монорельсовой трассе; 13 – контрольный стол; 14 – рабочий.

ческие, радиотехнические и контрольные операции, которые последовательно выполняются роботами, расположенными вокруг дискретно поворачивающихся роторных столов с собираемыми узлами. На рис.37 приведен пример целого сборочного цеха с линейной компоновкой [2].

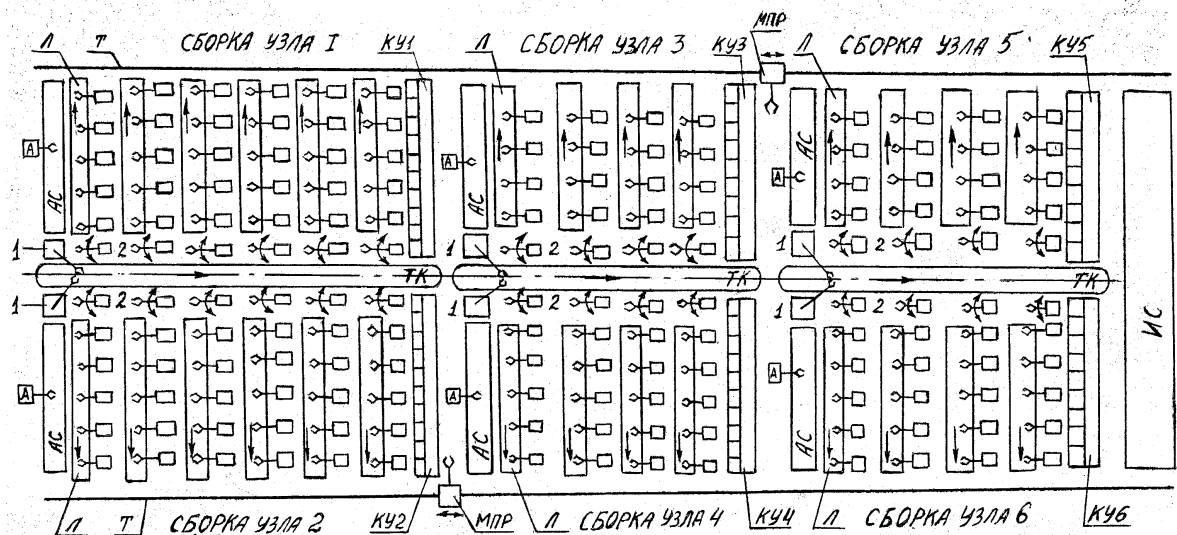


Рис.37. Схема сборочного цеха: Л – робототехническая сборочная линия, КУ1-КУ6 – контроль узлов, АС – автоматизированный склад с автооператором А, ТК – транспортный конвейер, 1 – ПР для взятия кассет со склада и установки на конвейер, 2 – ПР для взятия кассет с конвейера и передачи на сборку, МПР – мобильный ПР на трассе Т, ИС – испытательная станция.

Групповое применение созданных роботов в промышленности повлекло за собой подключение к разработке совместно с технологами предприятий – потребителей роботов методов проектирования основанных на роботах технологических комплексов, включая системы автоматизированного управления ими, и отработки этих методов на конкретных проектах таких комплексов. В процессе их проектирования были выделены три следующих основных этапа: технологический, алгоритмический и технический [2]. На первом этапе осуществляется анализ технологического процесса, в результате чего определяется структура комплекса. Анализ технологического процесса является одним из наиболее ответственных этапов, от качества выполнения которого в значительной степени зависит эффективность разрабатываемого комплекса. В связи с тем, что этот этап включает сравнение большого числа возможных вариантов размещения оборудования, транспортных путей и т.п., важным средством его выполнения является компьютеризация.

Результатом следующего алгоритмического этапа разработки является определение алгоритмов функционирования всего комплекса и его частей, требований к устройствам управления, каналам связи и вспомогательному оборудованию.

На этапе алгоритмического проектирования комплекса необходимо, в частности, учитывать следующие требования:

- наиболее полное и рациональное использование производственных фондов;

- возможность корректировки банка данных в ходе выполнения производственной программы;
- поэтапность ввода технологических комплексов и его частей.

При алгоритмической разработке технологических комплексов важным вопросом является обеспечение требований к надежности комплекса. Выход какого-либо из его устройств не должен влечь за собой остановку всего производственного процесса. Частично для устранения отдельных кратковременных отказов оборудования служат межоперационные заделы, но для полного решения проблемы надежности на стадии алгоритмического проектирования необходимо разрабатывать алгоритмы автоматической диагностики и оперативного устранения неисправностей.

Существенным элементом этого этапа является создание банка данных, содержащего все сведения о типах и характеристиках всего оборудования, устройств управления, каналов связи и т.д. Причем он должен непрерывно корректироваться и расширяться с включением существующих решений по отдельным элементам комплекса и по отдельным технологическим операциям. Банк данных должен включать буфер оперативного управления, через который осуществляется обмен данными с АСУ предприятия, в который заносятся параметры хода производственного процесса.

Заключительным этапом процесса проектирования технологического комплекса является его техническая реализация. Этот этап включает, в частности, разработку или выбор роботов, их устройств управления, технологической оснастки, транспортных путей и способов транспортировки, каналов связи, устройств информационного обеспечения на основе требований, определенных на предыдущих этапах проектирования.

Параллельно с проектированием различного назначения систем и комплексов, использующих созданные и серийно выпускаемые пневматические роботы, естественно, необходимо было провести поисковые исследования научно-технических перспектив дальнейшего развития этого типа роботов. Выявились два основных направления, по которым были затем выполнены прикладные проектные разработки. Первое направление – это разработка пневматических приводов и основанных на них роботов с дискретным многоточечным позиционным управлением вместо простейшего одноточечного циклового управления, по которому до сегодняшнего дня работают практически все пневматические роботы. Второе направление – это расширение функциональных возможностей пневматических роботов с помощью их очувствления. В результате этих разработок был создан первый очувствленный пневматический робот с позиционным управлением. На рис.38 показан опытный образец такого модульного робота МП-8 с

системой технического зрения. По своим основным техническим характеристикам робот не уступает аналогичным электромеханическим роботам, но существенно дешевле их.

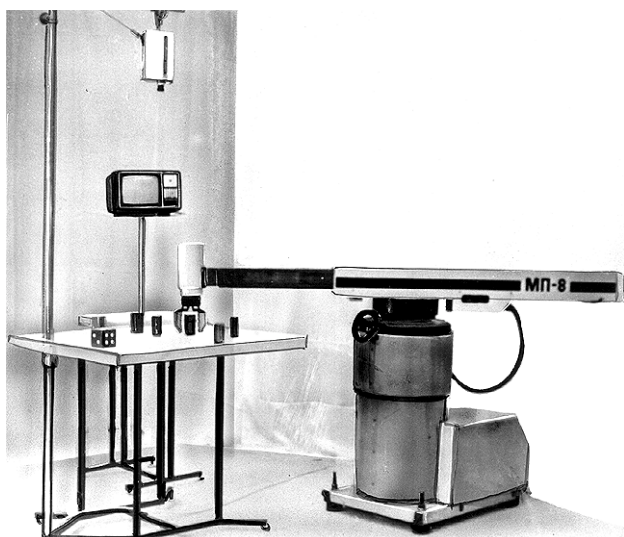


Рис.38. Модульный пневматический робот МП-8 с адаптивным позиционным управлением и системой технического зрения.

Приведенные в этой главе примеры помимо иллюстрации изложенных выше методов проектирования технических систем показывают как решение отдельных частных задач приводит часто к обобщениям и укрупнению этих задач, к появлению новых подходов и видов техники, решающих общеотраслевые и государственные задачи, и к возникновению соответствующих новых научно-технических направлений; как органично связано развитие науки, техники и технологий, которые стимулируют друг друга в едином процессе общего развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Знание и умение – две основные цели образования. Сумма знаний – обязательная основа всех специальностей, однако они, как говорят математики, необходимы, но достаточны и должны быть дополнены умением их профессионально использовать. Для инженерных специальностей это означает умение создавать новую технику. Однако, поскольку последнее, как выше было показано, не сводится к использованию формальных знаний, а является неформализуемым творческим процессом, это делает инженерные специальности в их высшей реализации особенно сложными и даже противоречивыми как всякое творчество. Есть, даже мнение, что эрудиция часто может мешать творчеству: «все знают, что это невозможно, я не знал и поэтому сделал это изобретение». И, действительно, не редки случаи несовместимости творцов и эрудитов, творческого бесплодия последних и вместе с тем решения крупных научных проблем инженерами-практиками. И все же несмотря на всю сложность инженерной творческой деятельности она имеет свою теорию и методологию, свои сложившиеся традиции и опыт организации (этапности) этой работы.

Какие бы ни были генетические предрасположенности к творчеству пустая голова не отягощенная профессиональными знаниями и опытом – источниками в том числе и ассоциаций как основы всякого творчества не способна к реально ценному «озарению», к открытию нового.

Конечная цель настоящего пособия – завершить полученные профессиональные знания основами их системного использования при организации и проведении процессов проектирования технических систем с учетом всех его аспектов, включая творческий.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Ф.Каменев. Технические системы: закономерности развития. Машиностроение, Л.О., 1985.
2. Е.И.Юревич. Робототехника. СПб, СПбГТУ, 2001.
3. В.П.Быков. Методика проектирования объектов новой техники. (Учебное пособие.) М., Высшая школа, 1990.
4. Управление инновационными проектами. (Учебное пособие). Под ред. И.Л.Туккеля. СПб, СПбГТУ, 1999.
5. В.Н.Автономов. Создание современной техники. М., Машиностроение, 1991.
6. С.Ф.Бурдаков. Математические модели и идентификация роботов с упругими элементами. СПб, СПбГТУ, 1990.
7. А.Н.Радченко. Ассоциативная память. Нейронные сети. Оптимизация нейропроцессоров. СПб, Наука, 1998.
8. А.А.Самарин, А.П.Михайлов. Математическое моделирование. М., Наука, Физматлитература, 1997.
9. Р.М.Грановская, И.Я.Березная. Интуиция и искусственный интеллект. Л., ЛГУ, 1991.
10. А.В.Дабагян. Качество, технический уровень, унификация и эффективность развивающихся технико-экономических систем, М., изд.стандартов, 1992.
11. Дж.К.Джонс. Методы проектирования. М., Мир, 1986.
12. Г.С.Альтшуллер. Найти идею. Новосибирск. Наука, 1991.
13. В.Я.Краснослабодцев. Современные технологии поиска решений инженерных задач. СПб, 1997.
14. В.Я.Краснослабодцев, А.Б.Смирнов, Н.П.Лиходедов. Инновационный инженеринг. Практикум. СПб, СПбГТУ, 1998.
15. Б.А.Лабковский. Наука изобретать. СПб, Нормет-издат, 2000.
16. Р.И. Сольников. Автоматизация проектирования САУ. М., Высшая школа, 1991.
17. Н.М.Тищенко. Введение в проектирование систем управления. М., Энергоатомиздат, 1986.
18. Е.И.Юревич. Управление роботами и робототехническими системами.. СПб, СПбГТУ, 2001.
19. Г.П.Беляков, В.А.Сарычев, В.А.Сорокин, В.О.Чернышев. Основы систематехники. Томск, МГП «Раско», 1992.
20. Е.И.Юревич. ЦНИИРТК. История создания и развития. СПб, СПбГТУ, 1999.