

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

РАЗРАБОТКА И СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОЕКТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ

Направление подготовки: 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических
машин и комплексов (академический бакалавриат)

Профиль подготовки: Автомобили и автомобильное хозяйство

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: заочная

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Техника – это все то, что создается людьми для удовлетворения своих потребностей – машины, приборы, всевозможные устройства для обеспечения производства и жизни в целом. Таким образом, человек дополнил техникой природу для обеспечения и улучшения условий своего существования. В широком смысле в понятие техника входят ещё технические знания в различных областях человеческой деятельности в виде технических наук. Возникли они в конце XVIII века и прошли следующие этапы развития. На первом этапе эти науки формировали технические знания на основе использования знаний естественных наук. Затем в XIX веке постепенно оформились специфические конкретные технические науки со своими предметом, теорией и методикой. И, наконец, произошло обобщение, объединение всех технических наук в некую «философию техники», включающую общие законы развития техники, историю ее развития и ее место в истории человечества. Одновременно в ходе развития техники происходит формирование новых технических наук. Технические науки в отличие от естественных (физика, химия, биология и т.д.) и гуманитарных (экономика, социология, психология и т.д.) являются прикладными науками, изучающими не естественные, а искусственные созданные человеком объекты. К таким прикладным наукам относится, в частности, мехатроника и робототехника, к которой относится настоящее пособие. Соответственно техническое творчество заключается не в изучении и познании существующего мира, а в создании того, чего раньше не было и в развитии соответствующих теорий и методов создания нового. Причем в этих теориях существуют свои фундаментальные проблемы и открытия, которые затем переходят и в естественные науки. Примером могут служить исследования в области искусственного интеллекта и искусственного разума, теория и методы расчета многостепенных манипуляционных систем. Отличием технических наук от естественных является также обязательное доведение их результатов до

практических инженерных рекомендаций и методов проектирования конкретных видов техники. Несмотря на развитие технических наук, значение естественных наук для развития техники не только не уменьшилось, а в XX веке резко возросло. Если раньше техника развивалась по своим законам в соответствии с развитием 6 потребностей людей, а наука в этом только помогала, то в последнее время важнейшей задачей техники стала реализация достижений науки, ее фундаментальных результатов (атомная энергетика, биоинженерия, нанотехнологии и т.п.). Техника – основа развития нашей цивилизации. Закономерно, что этапы развития человеческой истории названы именно по уровням развития техники: каменный, бронзовый, железный века, век пара и т.д. Развитие техники происходит диалектическим путем постепенного эволюционного ее совершенствования, чередующегося скачкообразными революционными переходами к качественно новым видам техники в виде научно-технических революций. Такой переход от освоенного уровня техники к новому приводит к качественному изменению всех сторон жизни человечества, включая экономику, социальное устройство, культуру, науку. Так, изобретение паровой машины породило принципиально новый вид производства, а за ним смену феодального общества капитализмом. Таким образом, изучение и знание истории, тенденций и перспектив развития техники далеко выходит за рамки собственно техники. Применительно же к самой технике эти знания позволяют обоснованно прогнозировать и планировать развитие ее конкретных видов, а так же методов и средств их проектирования и производства. Разработан ряд методов прогнозирования развития науки, технологий, техники и экономики в целом для планирования их развития на разных уровнях от отдельных фирм и отраслей до государственного подхода. Это методы Дельфи, критических технологий, экспертных панелей, технологические дорожные карты, разработка сценариев, библиометрический и патентный анализы и др. В настоящее время эти методы систематизированы и применяются комплексно для учета различных аспектов решаемых задач. Конечно, конкретные изобретения как предмет творчества

предугадать невозможно, однако знание и анализ закономерностей развития отдельных видов техники позволяет прогнозировать направления этого развития и формулировать назревшие проблемы, которые должны быть решены в ближайшее время и которыми, следовательно, перспективно заняться.

7 ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ И МЕТОДОВ 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 конкретных потребностей. Техническая система – это совокупность технических объектов, реализующая законченный процесс, например, производства конкретного изделия. Разновидности таких систем, в функционировании которых принимают непосредственное участие люди, называются биотехническими или человеко-машинными системами. Совокупность взаимодействующих систем называется комплексом. В дальнейшем основным обобщенным понятием, определяющим технику, будет техническая система (ТС). Функции ТС определяются потребностью, которую предназначена удовлетворять система, т.е. ее назначением (автомобиль перевозит грузы, робот выполняет различные технологические операции и т.д.). Структура ТС определяет состав системы из отдельных компонентов, например, в виде блоков, узлов и т.п. Обычно она представляется в виде структурной схемы. Более обобщенно ТС представляют функциональной схемой. Применяются так же потоковые схемы (структуры), которые описывают потоки преобразования вещества, энергии, информации. Показатели (критерии) качества ТС 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 определяют устойчивые изменения

во времени основных показателей качества и различных других показателей, характеризующих ТС (конструктивных и т.п.). При изучении законов развития ТС используют понятие цикличности развития техники в виде сочетания последовательностей эволюционных и скачкообразных (революционных) этапов. На этой основе осуществляется прогнозирование развития техники методами моделирования, экстраполяции и экспертных оценок [1]. С революционными этапами развития техники связано также понятие поколений техники. Эволюционные изменения показателей развития техники описываются экспериментальными S-функциями развития вида $f(t) = K L a e^{-\beta t}$, где постоянные L, a, b, β определяются статистически (рис. 1,а). Рис. 1. Графики показателей качества техники На рис. 1,б показан примерный график развития показателя качества техники, состоящий из трех S-функций. Каждая из этих функций описывает эволюционный рост рассмотренного показателя качества для каждого из трех сменяющих друг друга качественно различных поколений данной техники. Подобным образом, например, можно описать развитие скорости самолетов. До 1930 года рост скорости самолетов шел по кривой 1. К тому моменту, когда она достигла примерно 300 км/ч, были отработаны новые высокооборотные двигатели, переход на которые позволил к 1945 г. довести скорости самолетов примерно до 700 км/ч (кривая 2). Затем произошел переход к турбокомпрессорным воздушно-реактивным двигателям (кривая 3), которые привели к следующему качественному скачку в развитии самолетостроения, позволившему в 1970 году превзойти скорость 4000 км/ч. Результирующая характеристика роста скорости самолетов состоит из отрезков этих кривых и отмечена штриховкой. Развитие самолетостроения, очевидно, на этом не закончится – впереди гиперзвуковые орбитальные скорости. 9 Что касается дальнейшей судьбы того вида техники, который был сменен более совершенным видом, то он так же может продолжать использоваться ещё очень долгое время. На рис. 2 показаны аналогичные графики развития показателя качества роботов в виде способа управления ими. Приведены четыре уже реализованных этапа развития роботов, которые

определяют их поколения, и пятое прогнозируемое. Первое поколение роботов имело программное управление, заимствованное у станков с ЧПУ. Второе поколение возникло вследствие ажиотажного спроса на роботы как принципиально новый тип машин с уникальными возможностями. Соответственно возросшие при этом требования к функциональным возможностям роботов быстро переросли реальные возможности автоматической техники того времени и привели к появлению и развитию роботов с супервизорным управлением в виде комбинации программного управления с оперативными заданиями от человека-оператора. Последнее существенно расширило возможности роботов, но ценой подключения к управлению человека с переходом от чисто автоматического управления к автоматизированному. Рис. 2. Развитие способов управления роботами 10

Следующий, третий этап развития роботов – это роботы нового поколения с адаптивным управлением. Это очувствленные роботы, т.е. оснащенные искусственными органами чувств (техническое зрение и т.д.). Благодаря этому они могут автоматически выполнять операции, которые ранее выполняли роботы с супервизорным управлением с участием человека. Хотя, конечно, осталось немало операций и их число продолжает расти по мере усложнения поручаемых роботам задач, где человек, по-прежнему, необходим. Следующий качественно новый этап развития роботов и соответственно следующее их поколение – это роботы с интеллектуальным управлением, в системах управления которых используются методы искусственного интеллекта. Последнее позволило не только существенно расширить возможности адаптивного управления, но и решать другие задачи управления на уровне близком возможностям естественного интеллекта человека. Однако человек, по-прежнему, остался необходим для управления роботами и его роль со временем не только не уменьшается, а, наоборот, возрастает по мере усложнения задач, решаемых роботами. Последнее прогнозируемое поколение роботов условно можно назвать роботами разумными (интеллект + креативность). Помимо интеллекта человека эти роботы имитируют и его

творческие способности, основанные на интуиции. Как и в приведенном выше примере с самолетами новые поколения роботов, возникнув, не вытесняют предыдущие, а только сужают области их применения. Это справедливо и для других видов технических систем. Рассмотрим теперь наиболее общие закономерности развития техники в целом. На рубеже XXI века определились следующие такие общие тенденции развития – это миниатюризация, интеллектуализация и интеграция. На рис. 3 приведены графики развития автоматической техники, иллюстрирующие эти тенденции.

11 Рис. 3. Развитие технических систем

Процесс миниатюризации – самая древняя тенденция развития техники, изначально связанная с процессом повышения точности и разрешающей способности создаваемых изделий. Именно последнее является основанием для создания все более малоразмерных изделий. Процесс миниатюризации, ее первый этап начался в механике на основе развития технологий, повышающих точность изготовления деталей. Начался этот процесс с производства замков. Затем в лидеры вышли часовщики. Именно они создали первые механические изделия счетно-решающей (вычислительной) техники – арифмометры, интеграторы и т.п. Механические интеграторы в пятидесятые годы были сменены электромеханическими (в составе первых электромеханических вычислительных машин). Вторым этапом миниатюризации начался на базе двумерных (2D) технологий микроэлектроники, сопряженной уже с интеллектуализацией. Символ этого этапа – многослойные платы печатного монтажа. Здесь достигнута уже субмикронная точность.

12 На рубеже XXI столетия начался третий этап миниатюризации на базе 3D микросистемных технологий. Это уже не электроника, а трехмерная электромеханика – микроэлектронномеханические системы (МЭМС). Каждый из перечисленных этапов не сменял предыдущий, а «надстраивал» над ним новый уровень. Так, 3D технологии развились на базе 2D технологий и добавили механику движений, но уже с микронным разрешением. Впереди нас ожидает уже исследуемый этап нанотехнологий с молекулярной, а затем и атомной разрешающей способностью. Это, очевидно,

последний физически возможный этап миниатюризации. Описанный процесс миниатюризации технических систем развивается начиная с их отдельных функциональных компонентов в рамках систем уже освоенной размерности. И только когда оказываются созданными все основные компоненты новой размерности, наступает следующий этап технических систем новой размерности, показанных на рис. 3. На рис. 4 показаны графики развития этих основных компонентов – информационно-управляющих, сенсорных, связи, исполнительных (силовых) и энергопитания. Рис. 4. Развитие компонентов технических систем: 1 – механические счетно-решающие устройства, 2 – электронные лампы, электромеханическая вычислительная техника (ВТ), 3 – полупроводники, микропроцессоры, 4 – СБИС, 5 – нано- и квантовая ВТ, 6 – механические датчики, 7 – 13 электромеханические датчики, 8 – полупроводниковые датчики и сенсорные системы, 9 – микродатчики и сенсорика, 10 – нанодатчики и сенсорика, 11 – радио-, лазерная связь, 12 – спутниковая связь, 13 – компьютерные сети, 3D визуализация, 14 – фотонная связь, кодовое распределение каналов, 15 – традиционные промышленные приводы, 16 – мехатронные приводы, 17 – минипьезоприводы, 18 – искусственные мышцы, 19 – фотоэлектрические и химические источники, 20 – радиоизотопные источники, 21 – атомномолекулярные источники. В ходе миниатюризации первый качественный прорыв был сделан в информационно-управляющих компонентах на базе 2D-микроэлектронных технологий и до последнего времени эти компоненты продолжают лидировать в данном процессе и практически не лимитируют общий прогресс миниатюризации технических систем в целом. Для последнего наиболее важным стала микроминиатюризация сенсорных компонентов на базе 3Dмикросистемных технологий. Однако основными компонентами, сдерживающими дальнейшую миниатюризацию технических систем, являются силовые (энергетические) компоненты – исполнительные и энергопитания. Первые до сих пор базируются в основном на технических идеях двигателей XIX века. Будущий прогресс исполнительных компонентов, в частности, связан с созданием

микроминиатюрных машин типа искусственных мышц на базе 3Dмикросистемных технологий. На рис. 5 показан процесс и тенденции завершающих этапов миниатюризации компонентов технических систем вплоть до наноразмерностей. 14 Рис. 5. Этапы миниатюризации функциональных компонентов технических систем Здесь показаны три независимо сформировавшиеся линии развития этого процесса: I – Продолжение автономной минимизации отдельных компонентов, включая микро- и наноразмерности с возможностью их использования помимо робототехнических систем и в других видах техники. II – Объединение информационных модулей в единую однородную сеть, где функциональные компоненты превращаются в чисто программные модули. Такая интеграция функций подобна головному мозгу человека и должна дать аналогичный эмерджентный эффект. Подобная структура дает возможность оптимального оперативного перераспределения пространства сети между функциями соответственно объему выполняемой ими информационной работы, соответственно повышения качества и надежности выполнения этих функций, возможность совместного решения в едином базисе комплексных задач, охватывающих несколько функций и организации общей ассоциативной памяти. Последняя линия III в отличие от двух рассмотренных линий развития, находится еще в стадии исследований, как и сама наносистемная техника в целом. Ее идея близка клеточному строению живых организмов и навеяна 15 именно этой бионической ассоциацией. Отдельные наномодули подобно живым клеткам должны быть способны сближаться, обмениваться информацией и организовываться в специализированные структуры в соответствии с априорно заданными целями и с учетом особенностей внешней среды. Перспективность такого подхода подкрепляется тем, что информационные процессы в живых организмах реализуются именно на наноуровне. Поэтому при подходе к техническому освоению этого диапазона размерности особенно полезным может оказаться опыт живой природы. Во всяком случае, он подтверждает реализуемость этой идеи. В этой связи стоит

вспомнить, что в живой природе именно с уменьшением размеров организмов растут их популяции и почти две трети живого мира составляют микробы, отличающиеся предельной экономичностью требуемых ресурсов. Рассмотренный процесс миниатюризации помимо возможности создания все более малоразмерных мини-, микро- и наносистем создает техническую базу для разработки нового поколения и крупномасштабных объектов вплоть до тяжелого машиностроения, наделенных принципиально новыми, в том числе интеллектуальными, функциональными возможностями и техническими характеристиками. Итак, в целом процесс миниатюризации техники последовательно прошел три этапа – механику, электромеханику и мехатронику. И на каждом из этих этапов на их основе происходило революционное переустройство всей техники в целом от энергетики, транспорта, производств, до связи и информатики. Что ожидает нашу цивилизацию дальше – соответствующий прогноз может дать только анализ известных закономерностей развития техники. Однако и он не может предугадать новых научных открытий, которые инициируют совершенно новые направления развития техники. Следующая указанная выше тенденция развития техники – интеллектуализация. Это процесс развития информационно-управляющих возможностей техники. Этапы развития этой тенденции показаны на рис. 3. Интеллектуализация техники – это применение для все более качественного ее функционирования методов искусственного интеллекта. Термин «искусственный (технический) интеллект» метафоричен и означает, что обладающая им техническая система способна выполнять функции, которые, если бы их выполнял человек, считались бы интеллектуальными, т.е. требовали бы от человека приложения его интеллекта (знаний). Искусственный интеллект 16 имитирует естественный только в узко специальных (профессиональных) отношениях и никаких более широких аналогий с естественным интеллектом не имеет. Последний неизмеримо многограннее и шире, охватывая все сферы человеческой деятельности, включая социальную, и принципиально имеет иную мотивацию,

свойственную только человеку. Первоначально разрабатываемые методы искусственного интеллекта были ограничены формализованными логическими методами, т.е. имитировали вербальный естественный интеллект, реализуемый левым полушарием головного мозга. Однако, по мнению психологов, такая сознательная деятельность составляет не более 10% работы мозга, а основная его деятельность сосредоточена в правом полушарии и является образной и подсознательной. Вербальный и образный способы мышления, реализуемые левым и правым полушариями – это две совместно параллельно функционирующие информационные системы со своей иерархией обобщений этой информации, своими моделями мира и оценками ситуаций, т.е. это как бы две стороны личности человека. Вместе с тем эти информационные системы тесно взаимосвязаны, дополняя друг друга. Поэтому наряду с вербальным формализованным направлением искусственного интеллекта начало развиваться другое направление, основанное на моделировании нейронных сетей нервной системы человека и создании искусственных нейронных сетей. Это позволило решать плохо формализуемые задачи за счет использования ассоциативной памяти и обучения. Развитие этого направления с техническим освоением аналога образного мышления, включая интуицию и творчество – стратегическое направление дальнейшего развития автоматических систем. Конечно, это проблема завтрашнего дня. Сегодня более актуальной задачей является совершенствование интеллектуальных технических систем путем освоения в полном объеме возможностей, которые, дают уже отработанные методы искусственного интеллекта. Здесь сделаны только первые хотя и впечатляющие шаги, но до способностей, которые демонстрируют животные даже на уровне инстинктивного рефлекторного поведения, еще далеко. Однако для того, чтобы подготовить переход к техническим системам нового поколения, способным к разумному творческому поведению, – к системам с искусственным разумом, необходимо, развивать поисковые исследования феномена образного мышления и путей его технической реализации.

Последняя из названных выше общих тенденций развития техники – интеграция отдельных функциональных компонентов технических систем, их взаимопроникновение и, в конце концов, конструктивное слияние. На рис. 4 эта тенденция отмечена овалом внизу справа, а на рис. 5 показаны этапы ее развития. Процесс интеграции техники сопровождается соответствующим изменением принципов ее проектирования путем перехода от декомпозиции к системному подходу с синтезом по общесистемным критериям. На заре развития техники основным и, по существу, вынужденным методом проектирования технических систем была именно декомпозиция. Такой подход и до настоящего времени является господствующим в тех областях техники, где еще не достаточно остро стоит вопрос о достижении теоретически предельных характеристик. Это относится и к автоматическим системам, когда сперва проектируется объект управления, а затем управляющее устройство к нему. Однако постепенно начал развиваться системный подход, прежде всего там, где традиционный подход, основанный на декомпозиции, вообще не позволял решить задачу. Примерами являются обеспечение «искусственной устойчивости» в электрических энергосистемах, летательные аппараты, неустойчивые в свободном движении, ряд систем атомной энергетики. В дальнейшем будет особо рассмотрено развитие этой тенденции в робототехнике и мехатронике. В целом она соответствует общему направлению научно-технического развития на определенных ее этапах. В начале развитие идет путем разделения на отдельные виды науки и техники и углубленного их развития, а затем наступает этап их соединения, интеграции, когда наиболее значимые инновации совершаются именно на стыке этих развившихся видов. В завершение рассмотрения наиболее общих тенденций развития технических систем, влияющих на принципы их проектирования, следует назвать ещё две возможно менее глобальные, но особенно сильно проявившиеся на рубеже XXI века тенденции – это бионический подход к проектированию техники и учет проблемы «человеческого фактора». Бионический подход к созданию новой техники заключается в изучении и

использовании опыта живой природы при создании технических систем. 18

Перспективность такого подхода в свое время была провозглашена еще кибернетикой. Прагматическое значение ее тезиса об общности информационных процессов в живой природе и в технике заключается именно в необходимости такого использования опыта функционирования живых организмов, учиться на нем. Значение этого подхода непрерывно возрастает по мере усложнения задач, подлежащих решению техническими системами. В частности, локомоционные и манипуляционные движения животных резко отличаются от аналогичных движений в технике существенно большей гармоничностью и плавностью. Это достигается за счет максимального соответствия управляемых вынужденных движений свободным движениям. Например, циклические локомоционные движения конечностей обычно имеют резонансный характер с подстройкой их частоты под изменяющийся темп движения. Для обеспечения наибольшего быстродействия управление такими движениями часто находится на границе устойчивости или может быть даже неустойчивым. Можно назвать и другие эффективные принципы организации движений, характерные для живых организмов, которые практически пока не нашли применения в технике. Живые организмы существенно качественнее решают задачи распознавания сложных объектов в реальном времени, чем системы технического зрения, задачи комплексирования сенсорной информации и, конечно, целесообразного разумного поведения. Интенсивно развиваются так же упомянутые исследования по созданию искусственных мышц – аналогов поперечнополосатых мышц животных, которые имеют существенно лучшие массогабаритные характеристики, чем у современных приводов. Проблема «человеческого фактора». В ходе непрерывного усложнения и интенсификации техники обострилась и дошла до критического рубежа проблема взаимодействия человека и техники получившая названия «человеческий фактор». Возникла ситуация «ножниц» между все усложняющейся техникой и остающимися неизменными возможностями

человека, участвующего в ее функционировании, его «техническими характеристиками». Подтверждением этому служит прогрессирующее нарастание аварий, в том числе глобального характера, по вине персонала, причем прежде всего с наиболее современными объектами. По существу, эта проблема возникла почти с началом миниатюризации и интеллектуализации техники и прошла, видоизменяясь через все этапы ее 19 развития от создания и применения первых механизмов, первых машин, их автоматизации и затем комплексной автоматизации, вплоть до глобальных информационных, транспортных, энергетических и других комплексов. Если на первых порах еще жесткой автоматизации была иллюзия возможности в перспективе полного устранения человека из мира машин, то в ходе этого процесса с переходом к гибкой комплексной автоматизации и роботизации стало очевидным, особенно с непрерывным усложнением поручаемых технике функций, что реализация наиболее сложных из них невозможна без приложения разума человека, его интуиции. Так сформировался современный принцип симбиоза, оптимального сочетания человека и техники. Однако это одновременно породило и указанную проблему «человеческого фактора», которая означает необходимость учета не только естественно ограниченных возможностей реагирования человека на внешние раздражения, но прежде всего непостоянность этих реакций и в отличие от техники зависимость их от состояния человека в данный момент времени. Проблема симбиоза человека и техники многогранна, включая и фундаментальные естественнонаучные аспекты изучения человека, и требует прежде всего кардинального пересмотра самих сложившихся принципов ее решения. Знание рассмотренных закономерностей и тенденций развития техники дает возможность при проектировании конкретных технических систем понимать, на каком этапе развития находится этот вид техники и перспективы его дальнейшего развития, прогнозировать это развитие. Перейдем теперь непосредственно к рассмотрению собственно процесса проектирования технических систем – процесса создания нового изделия в виде его проекта. Этот процесс входит в

более общее понятие – инновационная деятельность. Под ней понимается помимо разработки собственно проекта какого-то изделия еще и доведение его до конкурентоспособного «товарного вида», т.е. реализация проекта в производстве и на рынке. Инновация – это нововведение в виде новых изделий, технологий и любых других новшеств в различных 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 [2].

20 Россия в процессе восстановления своего прошлого положения в мире встала на путь именно инновационного развития. И это единственно возможное безальтернативное решение. Согласно закономерностям научно-технического развития, если кто-то отстал в этом развитии, надо не стремиться нагнать, идя по следу впереди идущего, а срезать эту траекторию развития, не повторяя ее зигзаги. А это и означает идти своим инновационным путем. Для нашей страны это означает, не принижая важности специалистов по инноватике, что определяющим успех оказываются творцы новой техники – изобретатели, с которых и начинается инновационный процесс. Именно изобретения составляют «изюминку» любого проекта и о них впереди еще много будет сказано. Укрупнено процесс проектирования изделия включает формулирование технического задания на разработку изделия, разработку его идеи – физического принципа действия, разработку плана выполнения проекта и, наконец, его реализацию. Проект изделия – это совокупность технических документов, по которым оно должно изготавливаться, а затем 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 совокупность программной документации (ее часто выделяют из технической документации) – в единую систему программной документации ЕСПД. Все стандарты и рекомендации по порядку разработки, оформления и обращения

технологической документации, применяемой при изготовлении и ремонте изделий, объединены в единую систему технологической документации ЕСТД. В техническую документацию входят схемная, конструкторская, текстовая, технологическая и эксплуатационная документации. Этапы проектирования и далее всего жизненного цикла изделия: – разработка технического задания, – предварительное проектирование, – эскизное проектирование, – техническое проектирование, – производство, 21 – эксплуатация. Первые два этапа проектирования относятся к научно-исследовательским работам (НИР), а последующие два – к опытно-конструкторским работам (ОКР). 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 (назначение) создаваемого изделия; – технические требования (ТТ) к изделию или тактико-технические требования (ТТТ) для военной техники; эти требования 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 производства) и условия производства; – сроки разработки; – возможные особые условия производства и эксплуатации. Важной частью технических требований является установление перечня 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 [3]. От качества ТЗ существенно зависит результат проектирования. Составление ТЗ – это всегда результат компромисса между заказчиком и разработчиком, цели которых во многом далеко не идентичны.

2. Иногда этап разработки ТЗ как первую часть НИР называют этапом поискового проектирования.

2. Предварительное проектирование (ПП). Этот этап является основной частью НИР. Его результаты 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; – разработка (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 одного или нескольких рабочих вариантов, подлежащих дальнейшей разработке; – выбор методов проектирования.

3. Эскизное проектирование. Назначение этого этапа – проработка возможностей создания изделия, удовлетворяющего ТЗ. На этом этапе производится выбор окончательного варианта разрабатываемого изделия путем многократного синтеза и последующего анализа ранее выбранных вариантов с постепенным уменьшением их числа и углублением проработки. Результатом этого важнейшего в творческом отношении этапа является эскизный проект (ЭП), в который входят: – пояснительная записка, включающая теоретическое исследование, результаты математического и, если необходимо, физического моделирования; – эскизная техническая документация на изделие; – общее заключение о его соответствии ТЗ, т.е. о реализуемости последнего. Эскизная документация – это временная документация, предназначенная для изготовления лабораторных и экспериментальных образцов изделия или его частей, требующих отдельного экспериментального исследования. На этапе

эскизного проектирования для таких испытаний часто требуется создавать еще и специальные испытательные стенды и другую аппаратуру. Иногда это может представлять не меньшую трудность, чем создание самого изделия. 23

Часто на этапе эскизного проектирования требуется также создавать габаритно-массовые и тепловые макеты будущего изделия для испытаний у заказчика на объекте, в состав которого должно входить проектируемое изделие. Эскизный проект защищается разработчиком перед заказчиком и утверждается последним (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 результатов его защиты, включая замечания заказчика и возможные изменения ТЗ. Результат технического проектирования – комплект технической документации на изделие, включая конструкторскую, программную, технологическую и эксплуатационную документации. В конструкторскую документацию входят: – схема деления изделия на составные части, определяющая его состав; – схемы структурные, 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 на его части (ЧТУ), техническое описание (ТО) всего изделия и его частей. В программную документацию входят текст и описание программ, руководства оператора, системного программиста и т.п. Технологическая документация включает технологические инструкции, технологические (маршрутные) карты, чертежи на технологическую оснастку и приспособления. Эта документация разрабатывается применительно к конкретному производству с учетом его возможностей и особенностей. Последнее должно учитываться, разумеется, и при разработке конструкторской документации, т.е. она должна быть

ориентирована на возможности будущего производителя создаваемого изделия. Часто это прямо оговаривается в ТЗ. В эксплуатационную документацию входят руководство по эксплуатации (РЭ), инструкция по монтажу и пуску (ИМ), формуляр (ФО), паспорт (ПС), ведомость ЗИП – запасных частей, инструмента и приспособлений. 24 Руководство по эксплуатации включает описание изделия, его использования по назначению, техническое обслуживание, текущий ремонт, правила хранения и транспортировки и т.п. На этапе технического проектирования осуществляются изготовление и испытания опытных образцов изделия с последующей корректировкой документации по результатам этих испытаний. В общем случае этот этап может быть разбит на два самостоятельных этапа: разработка технического проекта (ТП) по эскизному проекту и разработка рабочего проекта (РП) по техническому проекту. В последний и входит вся перечисленная выше рабочая документация. Однако, когда изделие не слишком сложное, эти этапы объединяются в один этап ТП. 5. Производство и эксплуатация изделия. После изготовления на опытном производстве и предварительных испытаний опытного образца изделия, ему присваивается литера «О». Затем после приемо-сдаточных испытаний и очередной корректировки рабочей документации изделию присваивается литера «О1» и документация на его изготовление передается организации, которая будет осуществлять промышленное (серийное) производство изделия. Перед этим выпущенное с литером «О1» изделие проходит официальные межведомственные (государственные) испытания и рабочая документация утверждается для промышленного производства. В ходе эксплуатации 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, появления новых комплектующих и т.д. Таким образом, процесс создания изделия

продолжается в течение всего времени его производства, всего жизненного цикла изделия. При серийном производстве это осуществляется прежде всего изготовителем изделия, который ведет перевыпущенную им техническую документацию при авторском надзоре разработчика изделия. На рис. 6 приведена типовая структура всего рассмотренного процесса проектирования.

25 Рис. 6. Структура процесса проектирования Наряду с рассмотренными выше последовательными этапами этот процесс стремятся максимально «запараллелить» путем декомпозиции общей задачи на частные задачи, которые можно решать параллельно и соответственно ускорить проектирование. 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 местные обратные связи, которые на рис. 6 не показаны. К таким обратным связям относятся, в частности, и упомянутые выше корректировки технической документации по результатам испытаний и эксплуатации изделия. Кроме того, он является итеративным, т.е. с неоднократным уточненным повторением уже пройденных этапов. Рассмотрим особенно важную для разработчика общую задачу испытаний. Различают следующие виды испытаний: лабораторные, совместные, приемосдаточные, натурные и выборочные. Лабораторные испытания. Они проводятся на всех этапах проектирования причем в более жестких условиях и в большем диапазоне внешних воздействий, чем те, что указаны в ТЗ и ТУ.

26 Совместные испытания. Они проводятся, как следует из названия, разработчиком и заказчиком совместно с тем, чтобы определить запасы по сравнению с требованиями, указанными в ТЗ и ТУ. Перед этим разработчик проводит свои автономные 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 производство и в эксплуатацию, так и на серийных изделиях и максимально приближены к реальным условиям эксплуатации изделия при комплексном воздействии большинства реальных внешних воздействий. Выборочные (периодические) испытания. Эти испытания проводятся регулярно в процессе промышленного производства наряду с приемосдаточными для проверки сохранения уровня производства 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, проценту нововведений и другие, 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, который ограничивает возможности новых решений. Что касается творческой части проекта, то она заключается в изобретательстве, т.е. в предложении новых технических идей для более эффективного решения инженерных задач. Изобретение – это новое устройство или способ, отличающиеся от ранее известных прототипов конкретной формулировкой предмета изобретения в авторском свидетельстве или патенте, дающем исключительное право пользоваться изобретением. Изобретения могут иметь разный уровень новизны от усовершенствования известного прототипа до создания принципиально нового изделия, открывающего новый вид техники или даже новый раздел в 27 технических науках. Такие изобретения приравниваются к научному творчеству. За создание такой техники присуждаются ученые

степени, выбирают в академики, примерами являются многие наши главные конструкторы в авиации, ракетотехнике и др. Подробнее изобретательство и техническое творчество в целом будет рассмотрено в § 1.3. § 1.2. Теоретические основы проектирования технических систем С позиций кибернетики и прежде всего теории управления проектирование можно рассматривать как процесс управления и соответствующую систему управления. Такой подход к проектированию технических систем предложено было даже назвать «инженерной кибернетикой» [3]. Для теоретического осмысления процесса проектирования и разработки на этой основе методов проектирования технических систем могут быть применены математический аппарат и методология этих наук: математическое моделирование как процесса проектирования, так и самих его объектов, методы управления и принятия решений. Действительно, как видно из рис. 6, систему проектирования можно рассматривать как систему управления с обратными связями, параллельными прямыми каналами и с несколькими иерархическими уровнями [3,4]. Соответственно в процессе проектирования можно выделить следующие три этапа: разработка модели этого процесса, разработка плана выполнения этапов его реализации от ТЗ до готового проекта и выбор методов решения задач этих этапов с последующей реализацией. Итак, первый этап процесса проектирования – это его формализованное описание в виде моделей. Последние могут быть различного типа в зависимости от создаваемой технической системы и степени неопределенности ее будущего состава. В простейшем случае модель может быть детерминированной и даже одноконтурной и стационарной, а может быть сетевой, вероятностной, теоретико-игровой, информационной и, наконец, эвристической. Сетевые модели в виде последовательно-параллельного перечня задач с указанием объема работ и сроков наиболее широко используются, в частности, при планировании процесса проектирования во времени. Основа сетевых 28 моделей (сетевых графиков) – теория графов. Сетевые модели удобны для оптимизации процесса проектирования путем сокращения критического, т.е.

наиболее длительного из параллельных путей и выравнивания их продолжительности. Основные средства такой оптимизации: распараллеливание работ, перераспределение ресурсов между ними в пользу критических путей, организационные и технологические изменения работ с целью сокращения их длительности. В информационных моделях, которые применяются для систем, где главное – это обработка информации, процесс проектирования и трактуется как процесс переработки информации. В основе эвристических моделей лежат соответственно эвристические методы и приемы. Наиболее важная задача при разработке модели системы проектирования – разбиение ее на части с образованием структурной схемы (рис. 6). Прежде всего анализируются внешние связи создаваемого изделия и формализуются в виде входных и выходных воздействий как положено в теории управления. Затем выделяются функциональные части этого изделия с учетом их взаимодействия. В результате составляется структурная схема системы проектирования изделия, включающая все его части и все стандартные этапы проектирования во времени. Следующий этап процесса проектирования – разработка его укрупненного плана в виде последовательности действий от ТЗ до готового проекта, т.е. разработка стратегии проектирования. Существуют пять основных типов таких стратегий: линейная, циклическая, разветвленная, адаптивная и случайная. Линейная стратегия состоит из цепочки последовательных действий, 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 осуществляются 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 29 контуров может даже создать для проектировщика «порочный круг», выход из

которого потребует изменения самой структуры системы. Разветвленная стратегия включает параллельные конкурирующие действия, 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 этого 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. Такая стратегия применяется, когда первые три не дают результата из-за большой неопределенности. Случайная стратегия основана на случайном поиске решений и не имеет плана действий, но имеет свою методику. Реальные стратегии проектирования и соответствующие им системы проектирования обычно представляют собой комбинации перечисленных выше типовых стратегий и структур системы. Следующий, третий этап – выбор методов решения отдельных намеченных задач проектирования. В результате стратегия проектирования реализуется в виде совокупности последовательно применяемых методов. Эти методы будут рассмотрены в § 1.4. В их основе лежат следующие типовые процедуры: синтез, анализ и принятие решения. Синтез – это в данном случае формирование принципа действия изделия и технических решений задач его проектирования. Анализ – это 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 30 оптимизации и применения ЭВМ. Для этого используют известные методы оптимизации – поисковые, аналитические, численные, комбинаторные, стохастические, эвристические. Часто при этом необходимо осуществлять оптимизацию по нескольким критериям. В этом случае возможны два пути решения задачи. Первый путь – это объединение этих критериев в один комплексный критерий в виде их суммы с весовыми коэффициентами, которые выравнивают размерности и задают их относительную важность. Задание значений этих коэффициентов – это чисто «волевое» решение, основанное на интуиции и опыте. Вторым путем заключается в последовательной оптимизации по каждому критерию с последующим сравнением результатов и их компромиссным усреднением. Выбор одного из этих путей зависит от конкретной задачи и опыта. В особо сложных случаях целесообразно использовать оба пути и сопоставить их результаты. На практике иногда также возникает проблема оптимизации параметров определенных качественно. В этом случае, чтобы применить количественные методы оптимизации, необходимо предварительно решить задачу оценки этих параметров. Для этого составляется множество количественных оценок с помощью опроса специалистов (экспертиза, анкетирование и т.п.) и последующей обработки результатов этих оценок (например, методами математической статистики с использованием дисперсии оценок как меры согласованности мнений экспертов и т.п.). Разновидностью определения этого множества оценок является ранжирование. Здесь множество упорядочивается путем расстановки по убыванию или возрастанию некоторого количественно неизмеряемого признака. Ранг – это место в этой последовательности. Существует ряд методов экспертных оценок: Дельфи, ПАТТЕРН, методы, основанные на теории нечетких множеств и др. В методе Дельфи, разработанном в 1963 г. в корпорации РЭНД, 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. 31 Именно корпорация РЭНД ввела в 1948 году термин «системный анализ», под которым понимались методы исследования сложных систем, для которых формальные математические (алгоритмические) 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 на сложные системы. В целом системный анализ – это прикладное направление теории систем, которое предлагает методы прежде всего коллективного решения неформализуемых задач путем расчленения их на более обозримые подзадачи, что и соответствует понятию анализа, при сохранении целостного (системного) представления предмета исследования. Основные понятия системного анализа – это цели, структура, функции исследуемой системы, критерии качества ее функционирования [5]. Систематическое изложение современных методов принятия решения дано в §1.4 применительно к задачам проектирования техники. Основное средство анализа и синтеза проектируемых систем, как выше отмечено, – это моделирование. Существуют три основных типа моделей: эвристические, физические и математические. Эвристические модели формируются в воображении проектанта в виде совокупности некоторых образов и аналогий, выражающих проектную идею общего образа будущей технической системы. Воображаемые эвристические модели – это основа творческого поиска новых технических решений и постановки задач проектирования. Физические модели могут 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 уменьшенная физическая модель. При проектировании электроэнергосистем используются их физические модели, построенные из электрических машин, трансформаторов и других компонентов небольшой мощности. Создание моделей другой физической природы, отличной от 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 разной физической 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, энергоемкости, продолжительности и т.п. При физическом моделировании достаточно сложных технических систем часто применяют оба типа моделей для различных частей системы как без изменения так 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 (обычно на базе электрических приводов). Математическое моделирование основано на математическом описании рассматриваемого изделия, пригодном для компьютерного моделирования, что и является его конечной математической моделью. Каждый объект моделирования может иметь множество математических моделей, описывающих его различные свойства. 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 использования при компоновке объекта, куда входит этот двигатель) и т.д. Существуют три основных типа математических моделей, ориентированных 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]. 33

Имитационные модели применяются для более сложных объектов, для которых отсутствует аналитическое описание или оно слишком сложно для использования в ЭВМ. Имитационная модель адекватно описывает динамическую зависимость выходных переменных от входных, включая возмущения. При этом объект рассматривается как «черный ящик» с неизвестным принципом действия и структурой. Непрерывное усложнение технических систем неизбежно увеличивает значимость имитационного моделирования по сравнению с аналитическим. Его область применения – сложные системы и особенно с участием людей. Имитационное моделирование, как и все другие виды моделирования, могут иметь различный уровень обобщения от непрерывных динамических моделей реального времени до дискретных причинно-следственных моделей стратегического управленческого уровня, описываемых обобщенными переменными. Имитационные модели реализуются как компьютерные модели, в том числе в компьютерных сетях. В последнем случае для распределенных систем с известной структурой эффективно использование мультиагентной методики с декомпозицией моделируемой системы на отдельные подсистемы – агенты. Семиотические (лингвистические) модели применяются для наиболее сложных объектов, для которых возможно только лингвистическое их описание [7]. Типичный пример таких объектов – человеко-машинные системы. Для таких моделей необходимы специальные языки, близкие к естественному, но допускающие их использование при компьютерном моделировании. Семиотические модели являются по существу наиболее абстрактным вариантом имитационных моделей. Создаются они на основе

экспертных оценок, по которым составляется таблица соответствий выходных реакций системы на входные воздействия. Семиотическое моделирование воспроизводит процессы в мозгу человека по формированию моделей объектов внешней среды при их 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, которые будут рассмотрены в § 1.4.

34 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. 7 показана функциональная схема комплекса комбинированного физического и математического моделирования, предназначенного для наземных испытаний космических объектов с имитацией условий невесомости. Рис. 7.

Функциональная схема комплекса комбинированного математического и физического моделирования объектов космической техники: X_0 – вектор координат обезвешиваемого объекта (ОО), $X_{0з}$ – вектор задающего управляющего воздействия на систему управления ОО, $F_{0в}$ – вектор внешнего возмущающего силового воздействия на ОО. Исходное назначение комплекса – исследование и отработка бортовых манипуляторов многоразового космического корабля Буран (см. § 3.5). Комплекс включает систему обезвешивания (СО), являющуюся физической моделью условий невесомости для обезвешиваемого объекта, и компьютерную систему математического моделирования этого объекта в космосе. В комплекс 35 входит также система компьютерной обработки получаемой первичной информации и управления комплексом, в том числе со стороны оператора. Основные функции компьютерной системы комплекса: отработка программ испытаний, замена части натуральных испытаний компьютерным вычислительным экспериментом с

расширением диапазонов варьируемых режимов и параметров, контроль состояния физической модели. Описанный комплекс демонстрирует принципиально новые возможности, возникающие при комплексировании 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 воедино общей компьютерной сетью. В результате появляется возможность организации распределенных вычислительно-физических экспериментов и создания соответствующих исследовательских комплексов. К системам, при создании которых рассматриваемый комплексный подход может дать принципиально новые возможности, в частности, относятся: – авиационные и ракетно-космические системы; – интеллектуальные робототехнические системы; – комплексные испытательные стенды новой сложной техники, в том числе для сопровождения ее натуральных испытаний в естественных особенно экстремальных условиях (космос, глубины океана и т.п.); – тренажеры для такой техники; – глобальные эксперименты по проблемам экологии, телекоммуникаций, энергетики. Области применения и значение подобных комплексных вычислительно-физических экспериментов при исследовании сложных объектов в ближайшее время будут расширяться не только в связи с усложнением создаваемых технических систем, но и по мере совершенствования вычислительной и телекоммуникационной техники. Соотношение физического и математического моделирования и их значения аналогичны относительной роли математической теории и практики, 36 эксперимента в науке. Они необходимо дополняют друг друга. С одной стороны практика – критерий истины, т.е. только она может подтвердить правильность теории, а с другой – всякие практические знания, всякий

эксперимент требуют обобщений, математического представления. Именно поэтому оптимальное соотношение физического и математического моделирования – важное условие получения качественных результатов при проектировании конкретных изделий. § 1.3. Техническое творчество Как было отмечено выше, процесс проектирования новой техники – это прежде всего процесс творческий, основа которого – интуиция и опыт. В конце § 1.1 были даны общие сведения об этой стороне процесса создания новой техники – изобретательстве. Рассмотрим теперь подробнее понятие творчества, от чего оно зависит и как его совершенствовать, как это трактуют психологи. Интуиция есть результат совместной работы двух полушарий головного мозга – правого полушария образного мышления и левого вербального мышления. Правое полушарие отвечает за творческое мышление и прежде всего искусство, эмоции, а левое – за знания, логическое мышление. У новорожденных левое полушарие работает как и правое параллельно с ним, но постепенно оно специализируется на анализе образов внешней среды, выделяемых правым полушарием (латерализация). 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 (внешнего и своего внутреннего), по-своему перерабатывает информацию. Язык правого полушария образный, а левого – вербальный (символьный, 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. 37 Эта информация ассоциативно связана в правом полушарии по месту и времени, а в левом – по сходству по абстрактным признакам (принадлежность к классу) и по логическим причинно-следственным связям. Запоминание справа часто произвольное, а слева – сознательное. Память правого полушария позволяет быстро узнавать, а левого определять свойства и экстраполировать ситуации.

Модели мира (правая и левая) – так же иерархические с последовательным обобщением исходной информации. 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 – это 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 различных 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 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, 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 и причинно-следственных связей 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. В процессе

мышления каждое полушарие получает задачи от другого и продвигает их решение в соответствии со своей моделью мира до исчерпания своих возможностей. После этого оно опять передает задачу другому полушарию. Так, циклически доминируя, полушария совместно решают задачи. Общая типовая схема интуитивного решения задачи включает следующие этапы. 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 и получено там же в правом полушарии. Однако в ходе этого решения возможны два типовых случая, когда левое полушарие может остановить процесс решения этой задачи правым полушарием. Первый очевидный случай – это когда процесс заходит в тупик и надо сознательно переосмыслить ситуацию левым полушарием. Второй случай – это так называемый «прием Гете» [8]. Он заключается во временной приостановке процесса решения в момент, когда, наоборот, возникает представление, что путь к решению найден, т.е. в момент наивысшего творческого подъема. По мнению Гете, такой прием может существенно повысить конечную результативность искомого решения. Итак, 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). 39 Операция

смещения заключается в переносе внимания с основных свойств объекта на второстепенные, на детали. Символьная трансформация – операция психологически обратная смещению: сложный объект представляется некоторым эмоционально окрашенным обобщенным 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 символьной трансформации при этом выделяют из памяти множество ассоциаций, а операция конденсации синтезирует путем случайных комбинаций из этих компонентов варианты решений, подготавливая решение по аналогии. На основе перечисленных базисных операций разработаны различные практические приемы активизации творчества путем подготовки правого полушария к интуитивной деятельности и созданию условий для выполнения этих базисных операций. В частности, правое полушарие рекомендуется тренировать на развитие целостного и образного восприятия. Восприятие целостности развивается путем поиска и вскрытия 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 особенно важна для творчества, так как 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, 40 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. Другое направление активизации творчества – это создание благоприятных условий для выполнения перечисленных выше базисных операций, подсознательно выполняемых правым полушарием. Операция конденсации требует гармоничного сочетания знаний узкопрофессиональных и более широких в смежных областях. Операция смещения тренируется специальными методами 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 символьной трансформации требует развития обратного переноса доминанты на эмоционально наиболее значимые части задачи, чтобы включать субъективные логически необоснованные ассоциации. Поскольку творческий процесс 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: – выработать изобретательский взгляд (на все смотреть с позиции зачем и как это сделано, нельзя ли по-другому); – 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 неоднозначных задач; – заниматься моделированием – физическим (учиться «думать руками») и компьютерным; – периодически отходить от решаемой задачи, переключаясь на другие; 41 – быть настойчивым, уверенным и учиться «принимать удары» (неудачи, критику и т.п.). В целом для развития творческих способностей важно развивать

наблюдательность, игру воображения и 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 интерес как в психологии сопоставляются творческие способности (креативность) и интеллект как общая способность к познанию и решению задач. (Интеллектуал – это эрудит и человек высокой общей 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. Но 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 мотивация. Совершенно очевидно, что творчество невозможно только по обязанности и приказу. Оно требует сильного эмоционального стимула и чем он сильнее, тем интенсивнее будет творческий процесс. Таким образом, интеллект – это необходимое условие для творчества, которое, однако, не предопределяет творческие способности, а является только их потенцией. Изложенное также следует иметь в виду при решении задачи развития творческих способностей. В заключение полезно учесть еще следующее соображение. В ходе процесса создания новой техники основным методом мышления, естественно, является дедукция, т.е. базирование на известных общих научных закономерностях и положениях. Однако по завершению этого процесса весьма важно рассмотреть полученный результат уже индуктивно («от частного к общему»), а именно задать вопрос: а частным случаем чего он может являться? Т.е. попытаться обобщить этот результат. Именно так в свое время сформировались многие новые научно-технические направления после создания перспективного принципиально нового изделия. Подобный пример приведен в § 3.1. 42 § 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 компьютерных технологий. Напомним историю развития методов проектирования. Первые методы проектирования – это методы создания изделий кустарями и ремесленниками (кустарный промысел). Ремесленник, объединяя в себе и проектанта и изготовителя, создавал свои изделия (храм, изба, телега и т.п.) без эскизов и чертежей. И хотя здесь, конечно, тоже происходило совершенствование методов создания различных изделий, все они имеют следующие общие черты: – отсутствие чертежей; – проектные 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.). Существует легенда о том, что создатель храма Кижи, завершив эту работу, бросил свой топор в озеро и сказал: «Не было и уже не будет еще ничего подобного». И аналогичная легенда, как царь ослепил строителя храма, чтобы тот не смог никому другому создать что-то аналогичное. И, действительно, в те времена невозможно было повторить созданное никому кроме самого автора: не оставалось никакой документации и тем более расчетов. Их и сами авторы не имели, да и не умели делать. Сегодня основным методом проектирования является чертежный метод, при котором сначала создаются чертежи изделия, а затем по ним осуществляется его изготовление. Такое проектирование с использованием чертежей возникло 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- 43 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 сделаны 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 этими 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 («проектный облик»), а затем переносит все это на бумагу. Только после этого возможно подключение других специалистов. Это не позволяет привлекать несколько умов к наиболее ответственному начальному творческому этапу работы. Это ограничивает не только сроки и технический уровень разработок, но и, что имеет принципиальное значение, уровень сложности изделий, которые могут быть созданы таким методом, основанном в значительной степени на способностях и знаниях одного человека. Последнее обстоятельство является одной из основных причин поиска новых методов проектирования, основанных на коллективном творчестве. Для этого, по-видимому, необходимо по крайней мере, 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. И, конечно, чрезвычайно желательно 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 в целом эта проблема находится еще в стадии решения и основным методом проектирования, по-прежнему, остается пока чертежный метод со всеми указанными ограничениями. Дадим краткую характеристику некоторым

новым методам проектирования, которые появились и развиваются в рамках традиционного чертежного метода с целью преодоления указанного его ограничения. Эти 44 метода – методы поиска решений при проектировании, можно разбить на две группы – методы алгоритмические и эвристические [2, 4, 5]. Алгоритмические методы – это формализованные логические методы, доведенные до математических алгоритмов, а часто и до компьютерных программ. К ним относятся методы: – морфологические, – графов связей, – функционального анализа, – элементарных комбинаций, – исключения избыточности, – структуризации, – математических моделей, – сложной оптимизации и др. Морфологические методы (морфологических карт, таблиц, матриц) имеют целью расширить область поиска решений. (Морфология – учение о внутренней структуре). Последовательность действий, например, по методу морфологических карт такая: – 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. При выборе частных решений для отдельных функций учитывается необходимость их совместимости, а также техническая эффективность (масштабные параметры, стоимость и т.д.). Общее число теоретически возможных решений, охватываемых этим методом, может быть очень большим. Так, например, таблица из 10 столбцов и 45 10 строк содержит 10 миллиардов комбинаций. Это многообразие и является, как сказано выше, основной целью морфологических методов –

максимально расширить пространство поиска. Для сложных комплексов, состоящих из нескольких технических систем, метод морфологических карт имеет развитие в виде следующей двухэтапной процедуры. На первом этапе для каждой входящей в комплекс системы описанным методом находится по несколько вариантов технических решений. На следующем этапе ищется наилучшее общее решение путем выбора тех комбинаций вариантов решений для отдельных систем, которые в наибольшей степени обеспечивают унификацию и совместимость их функциональных компонентов. Для этого составляется таблица уже для всего комплекса, в левой колонке которой приводится 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 совместимости их функциональных компонентов в рамках всего комплекса. Существует методика, основанная на использовании морфологической структуры системы в виде древовидного «графа входимости» [10]. На графе дается функциональный состав системы в виде иерархических узлов – уровней: 1-ый уровень – подсистемы, 2-ой уровень – составляющие их 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 (отрасли, страны и т.п.). Основным критерием оптимальности при этом обычно берется стоимость. При этом обязательно должна решаться задача унификации 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 связей. В результате логического анализа решаемой задачи

определяется структура решения в виде совокупности факторов (компонентов), 46 от которых оно зависит. Она представляется в виде диаграммы связей между ними. Выявление основных из них должно определить направление решения задачи. Метод предполагает использование команды специалистов по решаемой задаче. Существует вариант такого подхода – метод матриц связей, в котором связи представляются в виде матричной диаграммы. Конечно, наряду с логическим рассмотрением задачи в этих методах полезны и ассоциативны эвристические способности участников команды. Метод функционального анализа. Здесь так же определяется перечень функций требуемого изделия в соответствии с его назначением и составляется его функциональная структура. Затем путем анализа этих функций ищутся способы наиболее эффективного их выполнения. Этот метод был впервые предложен известным авиаконструктором Р.Л.Бартини. Главное в методе – определенные правила формулировки функций, которые дают направления поиска путей их реализации. Все следующие перечисленные выше алгоритмические методы так же основаны на декомпозиции задачи и применении затем алгоритмов системного анализа. Каждый из методов предполагает свой логический путь поиска решений. Эвристические методы основаны на предпосылке, что процесс проектирования является прежде всего творческим процессом и как таковой в принципе неформализуем и базируется на ассоциациях и аналогиях, основанных на накопленном специалистами (экспертами) опыте и интуиции. Эвристические методы необходимы, когда алгоритмические методы не дают решения или желательно найти лучшие решения. В их основе психологическая активизация творчества при поиске решений прежде всего путем групповых обсуждений [11, 12]. К таким методам относятся методы: – мозгового штурма, – синектики, – Дельфи, – контрольных вопросов, – сценариев, – групповых дискуссий, – ментальный карт, – аналогий, 47 – ТРИЗ. Некоторые из таких методов были приведены еще во введении. Метод мозгового штурма (мозговой атаки) наиболее известный из эвристических методов. Его идея –

организовать генерацию возможно большего числа предложений по решению поставленной задачи для последующего анализа, но не логически, как, например, с помощью морфологических карт, а интуитивно. Этот метод применим на всех стадиях проектирования. Он имеет несколько модификаций и его идея послужила основанием для создания нескольких других близких методов. Исходная идея метода включает этапы подготовки, проведения штурма, оценки результатов. На первом этапе опытный ведущий формулирует задачу, подбирает состав группы участников в количестве 5-15 человек, обладающих творческим воображением, и группу квалифицированных экспертов с аналитическим складом ума. Для участников устанавливаются правила не критиковать друг друга, а, наоборот, доброжелательно подхватывать их предложения, развивая их. Непосредственно этап штурма длится 30-45 минут. В быстром темпе участники записывают на карточках свои предложения по решению поставленной ведущим задачи. Затем их идеи зачитываются и все участники на своих карточках записывают появившиеся у них при этом новые идеи. На последнем этапе эксперты проводят классификацию всех предложений и анализируют их. Главную ценность при этом представляют не сами конкретные предложения, а возможные оригинальные направления поиска решения. В компании Дженерал электрик разработан метод обратного мозгового штурма. Он предложен как этап предшествующий основному методу мозгового штурма и в отличие от него проводится группой специалистов по рассматриваемой задаче. Они должны в результате анализа задания на создаваемое изделие предварительно выявить возможные его недостатки и их причины. После этого уже методом прямого мозгового штурма ищутся пути именно их преодоления. Метод синектики появился позднее мозгового штурма с целью устранить его очевидный недостаток, заключающийся в недостаточно глубоком осознании решаемой задачи из-за отсутствия времени на ее обдумывание. 48 По этому методу создаются постоянные группы из специалистов разных профессий, склонных к аналитическому мышлению, раздумьям, имеющих изобретательские

способности. Такие группы со временем, действуя в течении нескольких недель, накапливают опыт и работают более плодотворно, чем случайно подобранные одноразовые коллективы мозгового штурма. Такая синектическая группа после ознакомления с задачей стремится в форме свободных бесед на основе аналогий и ассоциаций взглянуть на нее с самых различных и неожиданных точек зрения и тем самым максимально расширить круг поиска решений. Группа коллективно обсуждает все выдвинутые ее членами решения и вырабатывает общее предложение обычно в виде некоего образа требуемого изделия. Метод Дельфи (метод дельфийского оракула). Его также можно рассматривать как развитие идеи мозгового штурма. Здесь предлагается замена прямых дискуссий индивидуальными опросами причем специалистов. Каждый специалист экспертной группы сообщает свое решение задачи. Они обрабатываются и сообщаются всем членам группы с просьбой с их учетом уточнить свое первоначальное мнение. Эта процедура может повторяться и в конце концов формируется окончательное решение. Метод контрольных вопросов. Цель метода – повысить эффективность поиска решений с помощью наводящих вопросов, подготовленных по специальной методике на основе опыта решения сходных задач. Метод может применяться как коллективно, так и индивидуально. Метод сценариев. Группа экспертов в начале индивидуально, а затем совместно проводит анализ задачи и описывает возможные пути ее решения в виде составленного по определенным правилам «сценария», в том числе и с использованием ЭВМ. Эти методы, в частности, используются для разработки различных отраслевых и т.п. прогнозов. Методы групповых дискуссий (методы «меплан», Дельбека, ролей и др.). Это методы выработки коллективных решений, стимулирующие ассоциативное мышление путем создания благоприятной эмоциональной атмосферы. Они включают обычно несколько этапов в духе мозгового штурма. Метод ментальных карт. Это метод стимулирования творческого образного мышления путем визуализации процесса мышления при принятии решения в виде ментальной карты (интеллект карты). Эти карты применяются для

анализа исходной информации о решаемой задаче, генерации идей и 49 принятии решений. Они, в частности, применяются и на начальных этапах мозгового штурма. Метод определяет правила составления этих карт в виде сети, ветви которой отражают возникающие идеи, вызвавшие их ассоциации, уточнения и т.д. Метод аналогий. Идея метода – расширить область поиска решений задачи путем привлечения различных аналогий от прямых технических до биологических, субъективных из личного опыта и вплоть до фантастических. Методы ТРИЗ – теории решения изобретательных задач. Это разработанная Г.С.Альтшуллером по результатам анализа множества изобретений совокупность приемов решения подобных задач. В их основе положение, что основную трудность при создании новой техники, как правило, составляет противоречивость предъявляемых требований. Поэтому предлагается прежде всего выявить эти противоречия и считать основной задачей их устранение. Для этого предлагаются конкретные эвристические приемы, а так же перечень физических, химических и других эффектов и способов, которые при этом могут оказаться полезными [12, 13]. Рассмотренные алгоритмические и эвристические методы часто применяются совместно при решении сложных многоэтапных задач. Например, в §1.2 описана методика ПАТТЕРН для подобных задач, которая включает логический анализ и экспертный поиск решений с помощью рассмотренных выше методов для последовательного решения отдельных задач. Причем в алгоритмических методах часто используется и эвристика и, наоборот, в эвристических методах математическая логика. В целом в процессе проектирования каждый из подходов – алгоритмический и эвристический используется в соответствии и характером очередных решаемых задач. При этом в ходе процесса и по мере уточнения решаемых задач соответственно увеличивается роль формализованных алгоритмических методов. Завершается же все полностью детерминированным документом в виде законченного проекта. Довольно часто разработчик сталкивается с ситуацией, когда область поиска, в которой он ищет решение, не дает приемлемого результата. Для

выхода из такого положения предложен ряд методов преодоления подобных тупиковых ситуаций. Все они могут быть сведены к следующим трем типам [11]: 50 – правила преобразований, применяемые к полученному неудовлетворительному решению; – поиск новых взаимосвязей между частями неудовлетворительного решения; – переоценка проектной ситуации. Пример метода первого типа: записываются 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 покрытие тротуара, слово «улетучиться» – на отсасывание воды уборочной машиной, «рассосаться» – на использование пористого покрытия, «выветриться» – на 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 наборное поле, микрофон и наушник, шнур и наборное поле, 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 третьего 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. Выше рассмотрено современное состояние и тенденции развития методов проектирования технических систем. Следующий принципиальный шаг в развитии этих методов связан с автоматизацией процесса проектирования на основе применения компьютерных технологий и с переходом в перспективе к безбумажному проектированию. Этому посвящен следующий § 1.5. Но прежде чем перейти к этой проблеме подведем итоги изложенному, повторив общий порядок методического обеспечения проектирования технических систем. Его можно обобщить в виде следующих трех этапов: 1. Постановка задачи проектирования. 2. Разработка общего плана, т.е. стратегии проектирования. 3. Выбор методов решения. Первый этап 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 заданных параметров (внешние условия и т.д.), варьируемых параметров, подлежащих определению разработчиком, и диапазонов их возможных изменений, т.е. их ограничений. В результате составляются структурная схема создаваемой системы. Поиск путей решения задачи включает: – поиск прототипов и аналогов создаваемой системы; – поиск из них технических систем, пригодных для выполнения заданных функций при их доработке; – выработку на этой основе путей решения задачи создания требуемой системы. Второй этап – разработка общего плана процесса проектирования заключается в создании укрупненного плана 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 создаваемой системы. На базе синтезированной схемы системы производится разработка плана ее создания, т.е. общей стратегии проектирования в виде совокупности рассмотренных типовых стратегий. Выбор методов решения на третьем этапе осуществляется отдельно для каждого этапа проектирования. В результате получается совокупность методов проектирования системы в целом. Поскольку с каждым выполненным этапом повышается определенность в устройстве создаваемого изделия, соответственно и при выборе методов проектирования на каждом последующем этапе становится возможным переходность от эвристических методов ко все более детерминированным алгоритмическим методам. На этой основе далее осуществляется сам процесс проектирования в виде синтеза вариантов создаваемой системы и выбора из них оптимального

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

1. Методические рекомендации при работе над конспектом лекций во время проведения лекции.

В ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

В ходе подготовки к семинарам изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях: журналах, газетах и т.д. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем и предусмотренной учебной программой. Подготовить тезисы для выступлений по всем учебным вопросам, выносимым на семинар. Готовясь к докладу или реферативному сообщению, обращаться за методической помощью к преподавателю. Составить план-конспект своего выступления. Продумать примеры с целью обеспечения тесной связи изучаемой теории с реальной жизнью. Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций и изучении рекомендованной литературы. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых и дипломных работ.

2. Методические рекомендации студентам по самостоятельной работе над изучаемым материалом и при подготовке к лабораторным занятиям

Важной составной частью учебного процесса в вузе являются лабораторные занятия. Лабораторные занятия помогают студентам глубже усвоить учебный материал, приобрести навыки творческой работы над документами и первоисточниками.

Планы лабораторных занятий, их тематика, рекомендуемая литература, цель и задачи ее изучения сообщаются преподавателем на вводных занятиях или в методических указаниях по данной дисциплине. Прежде чем приступить к изучению темы, необходимо прокомментировать основные вопросы плана семинара. Такой подход преподавателя помогает студентам быстро находить нужный материал к каждому из вопросов, не задерживаясь на второстепенном.

Начиная подготовку к семинарскому занятию, необходимо, прежде всего, указать студентам страницы в конспекте лекций, разделы учебников и

учебных пособий, чтобы они получили общее представление о месте и значении темы в изучаемом курсе. Затем следует рекомендовать им поработать с дополнительной литературой, сделать записи по рекомендованным источникам.

Подготовка к семинарскому занятию включает 2 этапа: 1 й – организационный; 2 й - закрепление и углубление теоретических знаний.

На первом этапе студент планирует свою самостоятельную работу, которая включает: уяснение задания на самостоятельную работу; подбор рекомендованной литературы; составление плана работы, в котором определяются основные пункты предстоящей подготовки.

Составление плана дисциплинирует и повышает организованность в работе.

Второй этап включает непосредственную подготовку студента к занятию. Начинать надо с изучения рекомендованной литературы. Необходимо помнить, что на лекции обычно рассматривается не весь материал, а только его часть. Остальная его часть восполняется в процессе самостоятельной работы. В связи с этим работа с рекомендованной литературой обязательна. Особое внимание при этом необходимо обратить на содержание основных положений и выводов, объяснение явлений и фактов, уяснение практического приложения рассматриваемых теоретических вопросов. В процессе этой работы студент должен стремиться понять и запомнить основные положения рассматриваемого материала, примеры, поясняющие его, а также разобраться в иллюстративном материале.

Заканчивать подготовку следует составлением плана (конспекта) по изучаемому материалу (вопросу). Это позволяет составить концентрированное, сжатое представление по изучаемым вопросам.

В процессе подготовки к занятиям рекомендуется взаимное обсуждение материала, во время которого закрепляются знания, а также приобретается практика в изложении и разъяснении полученных знаний, развивается речь.

При необходимости следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.

В начале занятия студенты под руководством преподавателя более глубоко осмысливают теоретические положения по теме занятия, раскрывают и объясняют основные положения публичного выступления. В процессе творческого обсуждения и дискуссии вырабатываются умения и навыки использовать приобретенные знания для различного рода ораторской деятельности.

Записи имеют первостепенное значение для самостоятельной работы студентов. Они помогают понять построение изучаемого материала, выделить основные положения, проследить их логику и тем самым проникнуть в творческую лабораторию автора.

Ведение записей способствует превращению чтения в активный процесс, мобилизует, наряду со зрительной, и моторную память. Следует помнить: у студента, систематически ведущего записи, создается свой индивидуальный

фонд подсобных материалов для быстрого повторения прочитанного, для мобилизации накопленных знаний. Особенно важны и полезны записи тогда, когда в них находят отражение мысли, возникшие при самостоятельной работе.

Важно развивать у студентов умение сопоставлять источники, продумывать изучаемый материал. Большое значение имеет совершенствование навыков конспектирования у студентов. Преподаватель может рекомендовать студентам следующие основные формы записи: план (простой и развернутый), выписки, тезисы.

Результаты конспектирования могут быть представлены в различных формах. План – это схема прочитанного материала, краткий (или подробный) перечень вопросов, отражающих структуру и последовательность материала. Подробно составленный план вполне заменяет конспект. Конспект – это систематизированное, логичное изложение материала источника. Различаются четыре типа конспектов: план-конспект, текстуальный конспект, свободный конспект, тематический конспект. План-конспект – это развернутый детализированный план, в котором достаточно подробные записи приводятся по тем пунктам плана, которые нуждаются в пояснении. Текстуальный конспект – это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника. Свободный конспект – это четко и кратко сформулированные (изложенные) основные положения в результате глубокого осмысливания материала. В нем могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом. Тематический конспект – составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то схеме (вопросу).

Ввиду трудоемкости подготовки к семинару преподавателю следует предложить студентам алгоритм действий, рекомендовать еще раз внимательно прочитать записи лекций и уже готовый конспект по теме семинара, тщательно продумать свое устное выступление.

Методические рекомендации студентам по изучению рекомендованной литературы

Эти методические рекомендации раскрывают рекомендуемый режим и характер различных видов учебной работы (в том числе самостоятельной работы над рекомендованной литературой) с учетом специфики студентом.

Изучение дисциплины следует начинать с проработки настоящей рабочей программы, особое внимание, уделяя целям и задачам, структуре и содержанию курса.

Студентам рекомендуется получить в Библиотечно-информационном центре института учебную литературу по дисциплине, необходимую для эффективной работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины.

Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.