

Министерство образования и науки российской федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

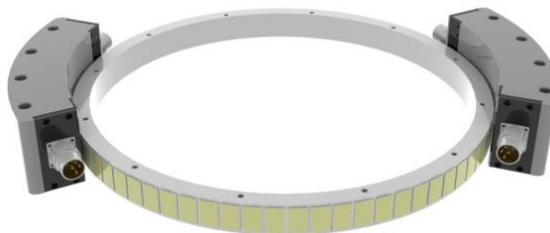
Утверждаю
Зав. отделением каф. ЮНЕСКО

 Ю.М. Осипов

" ____ " _____ 2012 г.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине
«**Методика проектирования электромехатронных систем движения**»
для магистрантов 6 курса, обучающихся по направлению 221000.68 "Мехатроника и робототехника" по магистерской программе "Проектирование и исследование мультикоординатных электромехатронных систем движения"



Томск 2012

УДК 621.396.6.671.7

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ: Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине «Методика проектирования электромехатронных систем движения» для магистрантов 6 курса, обучающихся по направлению 221000.68 "Мехатроника и робототехника" по магистерской программе "Проектирование и исследование мультикоординатных электромехатронных систем движения". – Томск: Изд-во ТУСУР, 2012. – 39 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром отделения кафедры ЮНЕСКО «27» марта 2012 г.

Составитель к.т.н., доц.



С.В. Щербинин

Зав. кафедрой ОКЮ
доктор техн. наук,
доктор экон. наук,
профессор



Ю.М. Осипов

Рецензент : кандидат технических наук, доцент кафедры МИГ ЮТИ ТПУ И.Ф. Боровиков

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование — это комплекс работ, направленный на изыскание, исследование, расчет и конструирование объекта проектирования.

Целью проектирования как вида деятельности человека является создание объекта, необходимого людям. Потребность в проектировании возникает после описания некоторой совокупности потребительских свойств, которыми должен обладать объект проектирования.

Входом процесса проектирования является описание потребности в объекте проектирования, выходом — проектная документация, на основании которой можно изготовить объект, удовлетворяющий этим потребностям.

Задача проектирования — преобразование описания потребности в объекте проектирования в стандартную по форме документацию, по которой изготовитель выполнит реальный объект, удовлетворяющий установленным критериям качества.

Объекты проектирования — системы и процессы.

Система. Это понятие, которое нужно конкретизировать и дополнять в каждом отдельном случае, так как система — это нечто, состоящее из частей (элементов, подсистем), между которыми существуют определенные, но различные связи или отношения. Например, неподвижная груда кирпичей — это система, форма которой определяется соотношением реакций опор между отдельными кирпичами. Удаление одного кирпича может разрушить данную систему как форму груды данной конфигурации, и некоторые кирпичи изменят свое положение, образовав иную систему. Если эти кирпичи разложить, например, в ряд, без контакта друг с другом, то они также образуют систему, форма которой будет определяться отношением порядка, и хотя удаление одного кирпича не изменит положение других, мы будем иметь уже другую систему из кирпичей. В нашем случае под мехатронной (в частном случае — робототехнической) системой мы будем понимать мехатронное устройство как сборочную единицу (мехатронную машину, мехатронный узел).

Любая система — это элемент внешней системы, выделить систему — значит составить список ее элементов, определить связи или отношения между ними, определить связи с внешней системой. Объединение элементов и связей между ними называют структурой системы. Любая выделенная система всегда неполна, неадекватна и является моделью реальной системы. Полнота модели определяется потребностями ее исследования или использования. Выделенная система характеризуется определенным набором параметров. Фиксированное значение этих параметров называется состоянием системы. Внешние связи выделенной системы разделяют на входные, через которые внешняя система влияет на состояние выделенной системы, и выходные, через которые выделенная система влияет на состояние внешней системы.

Процессы. Под процессом в мехатронной системе понимается изменение состояния системы как функции времени, например переходный процесс изменения скорости вала двигателя, процесс заполнения базы данных, процесс запираания транзистора и т. п. Обоснованный выбор изменяемых параметров элементов системы, например с целью получения оптимального по времени переходного процесса, будет являться его проектированием. Зависимость одного процесса от другого, допустим, скорости материальной точки $V(t)$ от пути $S(t)$, пройденного материальной точкой, описывается оператором $v(t) = d s(t) / dt$. Иногда для удобства исследования или применения процессы определяют в пространстве других переменных, но при этом всегда определено их преобразование в пространство определения времени, например, преобразование Лапласа, Фурье и т. п. Под проектированием процессов в рамках данного пособия мы будем понимать проектирование процессов, протекающих в мехатронных устройствах либо изменяемых с помощью мехатронных устройств.

Конструирование — это часть проектирования, включающая компоновку машины и ее сборочных единиц; разработку сборочных чертежей; выполнение электрических, гидравлических, пневматических схем; разработку чертежей деталей; расчеты механических деталей на прочность, жесткость, устойчивость, долговечность и т. п.; расчеты элементов электронных схем на требуемые номиналы всех его существенных параметров (например, расчет сопротивления резистора, допустимой мощности потерь на нем и т. п.); расчеты элементов пневмо- и гидросхем на требуемые номиналы всех его существенных параметров (давление и расход рабочего тела, ход штока и т. п.).

Проектирование возможно без конструирования, например, при создании изделий из типовых блоков (отверточная сборка).

Мехатронные устройства как объект проектирования. Мехатронные устройства как область техники — это образовавшийся в последние десятилетия класс машин или узлов машин, базирующийся на использовании достижений точной механики, в том числе микроразмерной и наноразмерной, электропривода, контрольно-измерительных приборов, электроники, компьютерного управления.

А. Устройства числового программного управления (УЧПУ, контроллеры, цифровые ЭВМ и т. п.).

Б. Средства предоставления информации людям-операторам.

В. Сенсоры внешнего мира — датчики состояния внешнего, по отношению к проектируемому изделию, мира.

1. ПРЕДПРОЕКТНЫЕ РАБОТЫ

1.1. Цель и задачи

Цель занятия – изучить вопросы связанные с предпроектной подготовкой мехатронной системы.

Задачи:

- рассмотреть алгоритм разработки технико-экономических предложений;
- научиться составлять бизнес-план на стадии предпроектных работ;
- приобрести навыки формирования критериев качества проекта;
- подготовка исходных данных для проектирования.

1.2. Задание

Ознакомиться с настоящими методическими указаниями. Ответить на прилагаемые вопросы.

Составить бизнес-план разработки и выпуска электромехатронного изделия. Сформировать на это изделия необходимые критерии качества. Подготовить исходные данные для проектирования.

По результатам работы составить техническое задание на проект.

1.3. Методические указания

Предпроектные работы выполняются, как правило, Заказчиком с целью обоснованного формирования заказа на проектирование. Потребность в новом типе изделия возникает тогда, когда старые образцы устарели, малоэффективны, не пользуются спросом или не решают новых задач.

Исходными данными для предварительного решения о необходимости создания нового образца являются:

- комплексный анализ предприятия, включающий диагностику финансового состояния, исследование рынков сбыта, сырьевой базы, оценку конкурентоспособности продукции, экономической ситуации в отраслевом и региональном разрезе;
- планы технического перевооружения отрасли, фирмы или предприятия;
- планы по новой технике;
- задания на реконструкцию фирмы или предприятия;
- планы по новой технике;
- задания на реконструкцию фирмы или предприятия;
- проектные решения, формируемые при реконструкции или новом строительстве;
- информация о новой технике за рубежом или в других отраслях;
- новые технологические процессы;
- инициатива юридических или физических лиц;
- демографическая и социально-экономическая ситуация;
- результаты маркетинговых исследований, в том числе анализ потребностей рынка в технологии, продукции и услугах предприятия, прогнозирование развития рынка по конкретным технологиям, товарам и услугам;
- оценка нематериальных активов, машин и оборудования, залоговых обязательств, прогнозирование проектных, маркетинговых и финансовых рисков;
- результаты заключений, подготовленных в соответствии с международными и российскими стандартами, о рыночной стоимости объектов недвижимости, бизнеса, используемых для привлечения заемных средств и инвестиций, реорганизации и санации предприятий, приватизации и акционирования;
- запросы рынка.

1.3.1. Разработка технико-экономических предложений

Современное мировое рыночное производство характеризуется следующими свойствами:

- высочайшим уровнем конкуренции производителей продукции, способы которой весьма изощренны и далеко не всегда законны;
- комплекствующих, с одной стороны, и высокой концентрацией капитала и производительных сил в руках транснациональных суперобъединений, стремящихся к монополизму, — с другой;
- напряженной борьбой за выживание между мелкими производителями, как друг с другом, так и с суперобъединениями;
- неуклонно усиливающимся научно-техническим прогрессом в области наукоемких технологий, высоким уровнем автоматизации;
- мощной сферой информационных технологий, развитой международной сетью свободного и практически мгновенного доступа к банкам данных и каталогам производителей;
- международным маркетингом, объединенным с глобальными сетями средств массовой информации и средствами агрессивной рекламы;
- постоянным снижением рыночной стоимости продукции без ухудшения, а часто и с ростом ее качества.

Решение о необходимости проектирования нового изделия оформляют в виде технико-экономического предложения. Принятие решения о необходимости проектирования и производства нового изделия или иных форм инвестиций должно сопровождаться точнейшим и обоснованным расчетом их возврата и прибыли. Одним из принятых в мировой практике методов такого расчета является бизнес-план.

1.3.2. Бизнес-план на стадии предпроектных работ

В наиболее общем виде бизнес-планирование включает в себя все возможные вариации схем производства, сбыта и финансирования. Целью разработки бизнес-плана являются:

- выявление значений тех основных параметров, выход которых за пределы критических значений угрожает развитию или даже существованию Заказчика;
- своевременное обнаружение отклонений действительных финансовых показателей от запланированных на указанный период времени;
- выявление параметров предприятия, изменение которых привело бы к ухудшению финансовых показателей, и нахождение причин, вызвавших указанные изменения;
- определение комплекса мероприятий, позволяющих исправить создавшееся положение;
- оценка эффекта от проведения запланированных мероприятий и их корректировка.

В широком смысле бизнес-план — это документ, содержащий ряд показателей, характеризующих состояние бизнеса в некотором интервале времени. Таким образом, бизнес-планирование — это процесс расчета этих показателей в зависимости от задаваемых параметров деятельности предприятия. Бизнес-планирование представляет собой задачу настолько комплексную и масштабную, что решение ее без привлечения современных вычислительных средств не представляется возможным. При работе над бизнес-планом компьютерная система зачастую является единственным инструментом, который в принципе может быть использован.

Наиболее распространенной является методика бизнес-планирования Организации по промышленному развитию ООН, которую используют в своей работе крупнейшие зарубежные инвестиционные институты, такие как Мировой банк или Европей-

ский банк реконструкции и развития. Большинство известных на данный момент компьютерных систем для бизнес-планирования опираются на методику ЮНИДО.

Различают закрытые и открытые системы. В закрытой системе пользователь закладывает исходные данные, а на выходе получает результаты бизнес-планирования. Пользователь не может вмешаться в процесс расчетов, алгоритм вычислений известен ему только в общих чертах, конкретные формулы «закрыты» внутри расчетного блока и не подлежат корректировке пользователем. Закрытые системы защищены от ошибок пользователя, но не могут учесть локальные нюансы бизнес-ситуации, например, постоянные изменения налоговых и таможенных правил и т. п. Наиболее известные и популярные закрытые системы: COMFAR III Expert, Project Expert (программная среда Windows).

Открытая система характерна, в частности, тем, что пользователь имеет возможность отслеживать процедуру вычислений путем внесения изменений в конкретные расчетные формулы. Система может легко адаптироваться к особенностям среды планирования, но даже не только идеологическая, но и синтаксическая ошибка в формуле может привести к катастрофическим результатам при применении бизнес-плана. Поэтому пользователи открытой системы должны обладать очень серьезным опытом планирования, чутьем и четко представлять себе методику и логику расчетов. Для них недостатки подобных систем несоизмеримо малы по сравнению с их достоинствами — гибкостью, «прозрачностью», очевидностью алгоритмов и методов. Пример открытой системы — «Альт-Инвест».

При любых способах расчета бизнес-плана существует общая схема, которую мы рассмотрим ниже.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ

1. Общие параметры расчета.

1.1. Горизонт планирования — начальный и конечный моменты расчета либо момент начала расчета и продолжительность.

1.2. Интервал планирования — периодичность, с которой результаты будут представлены в выходных данных. Например, при интервале планирования, равном 30 дням, результаты будут отображаться ежемесячно, при интервале 90 дней — поквартально.

1.3. Количество и наименование валют, в которых будет вестись расчет, а также вид основной валюты. Основная валюта — та, в которой будут представлены результаты расчетов.

2. Максимально точное описание макроэкономических параметров среды, в которой функционирует предприятие. К этим параметрам относятся: курсы валют — текущие и на перспективу; инфляция — текущие показатели и прогноз; налоговое окружение — виды налогов, ставки и база налогообложения.

3. Описание параметров производства: номенклатура выпускаемой продукции; объем производства (либо граничные условия по объемам производства в зависимости от типа системы); условия оплаты и поставки сырья и материалов; описание сбытовой политики; объем сбыта (по интервалам планирования); цены продаж; условия оплаты и поставок.

4. Инвестиционный план: объем, структура и сроки инвестирования; типы активов, условия амортизации активов.

5. Финансовая схема предприятия: объем и условия привлечения капитала; доля заемного капитала; условия использования займов (сроки, процентные ставки, условия возврата); условия распределения прибыли, дивидендная политика; ставка дисконтирования.

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ

1. Расчет основных выходных данных, оформляемых в виде трех отчетов, на основании которых рассчитываются показатели эффективности и финансовые показатели.

1.1. Отчет о движении денежных средств (в основной валюте): итогов-приток денежных средств (увеличение уставного капитала, привлечение кредитов, прирост текущих пассивов, выручка от реализации; доходы от прочей реализации и внереализационные доходы); итогов-отток денежных средств (прирост постоянных активов, прирост норм текущих активов, операционные затраты, выплаты по кредитам, прочие текущие затраты, налоги, дивиденды); прирост денежных средств; прирост денежных средств нарастающим итогом (свободные денежные средства).

1.2. Отчет о прибылях и убытках (является аналогом стандартного бухгалтерского отчета о финансовых результатах).

1.3. Балансовый отчет-сальдо баланса (отражает структуру активов и пассивов предприятия по интервалам планирования): активы (чистые внеоборотные активы (внеоборотные активы, начисленный износ), оборотные активы (запасы сырья и материалов, незавершенное производство, готовая продукция, расчеты с покупателями, авансы поставщикам, денежные средства)); убытки; собственный капитал (уставный капитал, нераспределенная прибыль); заемный капитал (долгосрочные обязательства, краткосрочные обязательства (расчеты с поставщиками, авансы от покупателей, расчеты с бюджетом и внебюджетными фондами, расчеты с персоналом)).

2. Формирование показателей эффективности, которые, как правило, используются для определения выгодности вложения средств в разработку и выпуск мехатронного изделия или, например, РТК. Кроме того, эти показатели позволяют сравнивать различные варианты использования капитала.

2.1. Чистая приведенная стоимость, ЧПС (NPV, Net Present Value), которая тесно связана с понятием дисконтирования и дисконтированного денежного потока. ЧПС представляет собой сумму чистых денежных потоков и приведенных на момент начала планирования с помощью процедуры дисконтирования. Как правило, считается, что инвестиционный проект с ЧПС ниже нуля невыгоден для финансирования, поскольку приносит доход меньше потенциально возможного. Показатель зависит от интервала планирования, поэтому для корректного сравнения двух проектов они должны иметь равную длительность.

2.2. Внутренняя норма доходности (IRR, Internal Rate of Return, иногда называется внутренней нормой прибыли, ВНП) — значение ставки дисконтирования, при котором чистая приведенная стоимость обращается в ноль. Как правило, проекты с ВНП ниже, чем ставка дисконтирования, являются невыгодными для инвестирования. Однако обратное не всегда верно, поскольку в случаях, когда на интервале планирования чистый денежный поток меняет знак более одного раза, уравнение, по которому итерационным методом находится ВНП, может иметь более одного решения.

2.3. Срок окупаемости (PBP, Payback Period) — точка на интервале планирования, в которой денежный поток, рассчитываемый нарастающим итогом, стал положительным и остался таковым до окончания проекта. Различают простой и дисконтированный сроки окупаемости, рассчитываемые соответственно по чистому и чистому дисконтированному потокам денежных средств.

Следует особо подчеркнуть, что для корректного заключения, например, о выгодности инвестиций в проект следует в комплексе анализировать как показатели эффективности с учетом их взаимосвязей, так и отдельные значения некоторых результатов, содержащихся в каждом из трех перечисленных выше отчетов.

3. Расчет коэффициентов финансовой оценки. Большое количество коэффициентов финансовой оценки призвано охватить практически все аспекты функционирования предприятия, поэтому обычно рассматривают только основные группы этих показателей.

3.1. Точка безубыточности— объем производства, при котором объем выручки становится равным суммарным производственным издержкам. Зависит от соотношения переменных (зависящих от объема производства) и постоянных (не зависящих от объема производства) производственных затрат.

3.2. Коэффициенты рентабельности. Рентабельность оборотных и внеоборотных активов, рентабельность собственного капитала, инвестиций, рентабельность продаж дают возможность оценить эффективность каждого отдельного звена, позволяющего функционировать предприятию.

3.3. Коэффициенты общей (текущей) ликвидности и мгновенной (срочной) ликвидности характеризуют обеспеченность обязательств предприятия соответствующими типами активов.

3.4. Группа коэффициентов покрытия характеризует способность предприятия обеспечивать выплату процентов и возврат основной суммы займа в срок без нарушения финансовой устойчивости.

4. Анализ чувствительности иллюстрирует зависимость основных показателей эффективности от важнейших параметров, характеризующих бизнес-предприятия, позволяет увидеть, влияние каких факторов на деятельность предприятия наиболее существенно, изменениями каких параметров при дальнейшем анализе можно пренебречь, каков «запас прочности» у предприятия, что может отрицательно повлиять на его устойчивость.

1.3.3. Формирование критериев качества проекта

Бизнес-планирование не только позволяет прогнозировать развитие бизнеса в случае принятия решения о проектировании и производстве данного типа мехатронного изделия или внедрения РТК, но и позволяет сформулировать экономические критерии качества проектируемого изделия. К ним относятся, например:

- $\Phi_{1,1} \leq \Phi_1(x) \leq \Phi_{1,2}$ — интервал допустимых затрат на проектирование изделия, $\Phi_1(x) \rightarrow \Phi_{1,1}$;

- $\Phi_{2,1} \leq \Phi_2(x) \leq \Phi_{2,2}$ — интервал допустимой себестоимости для Производителя, $\Phi_2(x) \rightarrow \Phi_{2,1}$;

- $\Phi_{3,1} \leq \Phi_3(x) \leq \Phi_{3,2}$ — допустимый интервал срока службы изделия, гарантируемый Производителем, $\Phi_3(x) \rightarrow \Phi_{3,2}$.

Вид критерия зависит от принятой структуры экономических показателей, методов расчета и т. п. и может иметь любой математически определенный вид, где x — вектор переменных параметров экономической ситуации. Таким образом, если спроектированное и поставленное на производство изделие обеспечит значения экономических критериев в допустимых интервалах, то тем самым будет обеспечен положительный для Производителя результат бизнес-планирования. Если значения критериев будут достигать своих полезных экстремумов, то будет получен наилучший вариант бизнес-плана. Если значения критериев будут достигать своих плохих, но допустимых значений, то будет обеспечен допустимый результат бизнес-плана.

В связи с этим встает задача проектирования «хороших» в некотором смысле изделий.

При любых попытках формализации этой задачи и решения ее математическими методами встает ряд проблем, и прежде всего:

- формальная и корректная постановка задачи в смысле «дано..., найти...» (здесь важнейшей проблемой является формулировка того, что значит «хорошо», т. е. формулировка критериев качества);

- выделение существенных критериев из всего множества требований, декларируемых как критерии, часто имеющих один и тот же смысл, но различных по форме, требований некорректных, требований необъективных и т. п.

Эти проблемы частично решаются на пути классификации проектов мехатронных устройств. Проекты мехатронных устройств можно классифицировать по следующим признакам.

Признак А. Тип конечного заказчика проекта. Естественным конечным заказчиком является лицо или группа лиц, называемая Пользователем. Пользователем будем считать физическое или юридическое лицо, приобретающее изделие без цели его дальнейшей перепродажи в форме приобретенного изделия или в форме нового изделия, в которое приобретаемое изделие входит в качестве комплектующего. При выборе приобретаемого изделия Пользователь явно или неявно формирует критерии его выбора. С Пользователем напрямую или через посредников связан Производитель изделия. Формируя свои критерии качества изделия, Производитель явно или опосредованно должен учитывать критерии Пользователя, а также факторы, связанные со схемой поставки, схемой и условиями торговых сделок и т. п., хотя могут существовать и авангардные проекты, риск производства которых Производитель берет полностью на себя и, следовательно, сам формирует критерии качества.

Таким образом, будем различать: А1 — проект для Пользователя, А2 — проект для Производителя.

Признак Б. Назначение проекта. Будем различать следующие назначения проектов:

- коммерческий (Б1) — проект предназначен для извлечения прибыли в явной форме за счет использования результатов проектирования;

- потребительский (Б2) — проект предназначен для удовлетворения личных потребностей физических или юридических лиц, проект не приносит прибыли в явной и сиюминутной форме, либо приносит, но ее трудно выделить и подсчитать;

- общественный (Б3) — проект предназначен для решения задач развития общества в целом (например, фундаментальная наука, культура), проект не приносит прибыли в явной и сиюминутной форме, либо приносит, но ее трудно выделить и подсчитать;

- оборонный (Б4) — проект предназначен для решения задач защиты физических или юридических лиц, государств и всего человеческого общества в целом, обеспечения их безопасности, проект не приносит прибыли в явной и сиюминутной форме, либо приносит, но ее трудно выделить и подсчитать.

Признак В. Способ интеграции проектируемого изделия. С точки зрения отечественных, международных и многих национальных стандартов проектирования различают следующие виды объектов проектирования: детали; сборочные единицы; комплексы; комплекты. В связи с этим можно классифицировать проекты по виду проектируемого изделия: В1 — проекты деталей; В2 — проекты сборочных единиц; В3 — проекты комплексов; В4 — проекты комплектов. В классе мехатронных устройств речь может идти только о классах В2 и В3.

Признак Г. Тип кооперации комплектующих проектируемого изделия: И — сборка только из поставляемых типовых комплектующих (отверточная сборка); Г2 — полностью специализированные комплектующие, изготавливаемые Производителем; Г3 — комбинация типов И и Г2.

Кроме приведенных ключей классификации, важным является определенность отношений между Пользователем и Производителем. Здесь выступает на первый план два типа отношений. Первый тип — проект выполняется Производителем по формализованному заказу (техническому заданию, контракту и т. п.). В этом случае Пользователь и Производитель могут согласовать форму проекта, выбрать множество критериев и их характер. Совсем другая ситуация возникает, когда проект ориентирован на неопределенного заказчика — покупателя. В этом случае Производитель должен сам предугадать интересы Пользователя (маркетинг) либо навязать их (агрессивная реклама) и выбрать множество критериев и их характер самостоятельно. В дальнейшем мы будем различать заказные проекты (З) и проекты, ориентированные на неопределенного покупателя (рыночные, Р). Рассмотренная классификация позволяет построить граф ключей классификации (рис. 1).

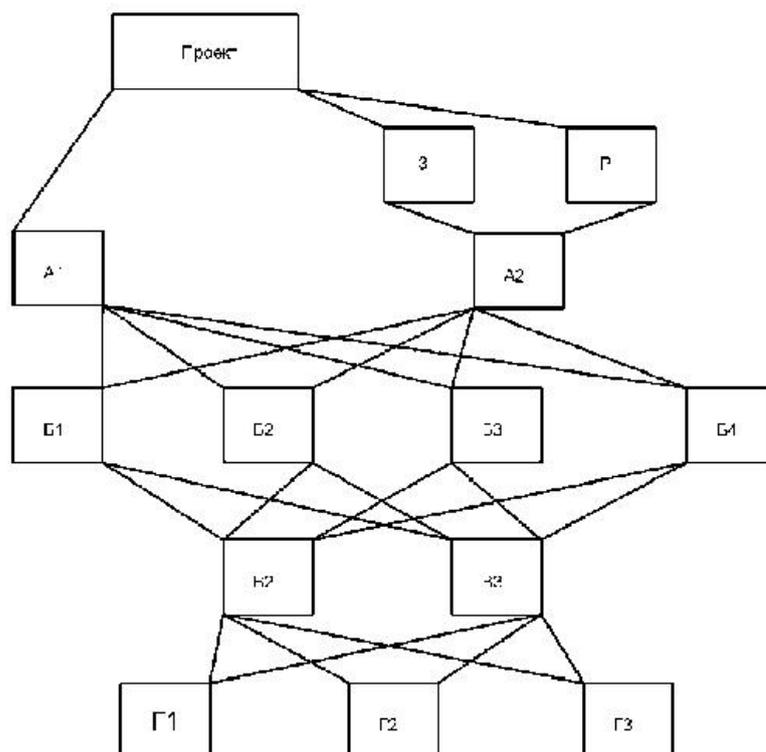


Рис. 1. Граф ключей классификации

На базе построенного графа каждой проектной ситуации может быть присвоено уникальное имя, что позволяет определить характерные критерии качества изделий в этой ситуации, составить базы данных по критериям качества. Пример составления уникального имени проектной ситуации: А1Б2В2Г1 — проект изделия потребительского назначения отверточной сборки для конечных пользователей.

1.3.4. Исходные данные для проектирования

На основании исходных данных формулируют потребность в новом изделии в виде предварительного набора технических характеристик, параметров изделия.

Для решения вопроса об уточненных технических требованиях к вновь создаваемому изделию привлекаются следующие сведения:

- данные об устройствах, которые будут работать с вновь создаваемым образцом;
- данные о необходимой доработке устройств, которые будут работать с вновь создаваемым образцом;

- степень влияния параметров вновь создаваемого образца на параметры процессов, в которых создаваемый образец будет участвовать;
- данные о среде, на которую ориентирован создаваемый образец;
- данные о влиянии новых качеств создаваемого образца на организационно-экономические параметры производства (коэффициент сменности, форму специализации, тип производства, систему оперативного планирования, материально-техническое снабжение и т. п.), быта или другой среды использования изделия;
- данные о социальных последствиях использования новых качеств проектируемого образца на производстве (потребность в квалификации персонала, требования к возрасту, образованию, стажу работы, изменения в интенсивности труда, влияние на заработную плату и т. п.), в быту или в другой среде использования изделия;
- данные о влиянии новых качеств создаваемого образца на существующие конструкции предметов труда и технологическую подготовку производства или другие параметры среды использования;
- данные о влиянии характеристик нового образца на компоновку или планировку среды использования, возможность их наладки и ремонта;
- данные о влиянии характеристик нового образца на параметры автоматизированной системы управления и других систем, обеспечивающих функционирование среды использования;
- данные о влиянии характеристик нового образца на безопасность жизнедеятельности в среде использования;
- данные о результатах социологических исследований по изделиям потребительского назначения;
- лимитная цена образца и лимитная стоимость проектирования.

В результате анализа этих сведений формируют: технико-экономическое обоснование создания нового образца; исходные данные для разработки технического задания (ТЗ) на проектирование; заявку на проектирование или контракт.

В процессе предпроектных работ могут проводиться научные исследования для подтверждения или опровержения определенных концепций, например, для подтверждения технической возможности и экономической целесообразности обеспечения того или иного параметра. Весьма эффективным является проведение на этом этапе патентно-информационного исследования по материалам отечественных и зарубежных источников информации, что сокращает сроки и увеличивает эффективность предпроектных работ.

Патентно-информационные исследования включают:

- обзор источников информации в области техники, связанной с проектируемым объектом, таких как монографии, учебники, периодические издания, экспресс-информация, реферативные журналы, проспекты, специализированные W-EB-страницы сети Internet, опрос экспертов;
- формирование и/или изучение базы данных о разработчиках, производителях и поставщиках комплексов, модулей узлов, деталей и других видов комплектующих проектируемого изделия, программного и информационного обеспечения как самого изделия, так и инструментальных средств проектирования, расходных материалов, приборов и оборудования для обеспечения процесса проектирования;
- сбор предварительной информации об условиях поставки комплектующих и инструментальных средств проектирования; предварительное подписание протоколов о намерениях и контрактов на закупку комплектующих, определенных на данном этапе проектирования.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите исходные данные для предварительного решения о необходимости создания нового образца.
2. Какими свойствами характеризуется современное мировое рыночное производство?
3. Что должно включать в себя бизнес-планирование?
4. Назовите цели разработки бизнес-плана.
5. Какие сведения о вновь создаваемом изделии включаются в уточненные технические требования?
6. Проводятся ли научные исследования на стадии предпроектных работ?
7. Что включают в себя патентно-информационные исследования на предпроектной стадии?

2. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ДВИЖЕНИЯ

2.1. Цель и задачи

Цель занятия – изучить вопросы связанные с разработкой концепции электромехатронной системы движения.

Задачи:

- рассмотреть алгоритм формирования концепции изделия;
- анализ технического задания и формирование функциональной структуры электромехатронной системы движения;
- декомпозиция изделия на принципах мехатроники.

2.2. Задание

Ознакомиться с настоящими методическими указаниями. Ответить на прилагаемые вопросы для самоконтроля знаний.

Составить концепцию электромехатронного изделия согласно алгоритма АП 3.1 (стр. 14). Провести анализ технического задания выданного преподавателем.

Оформить отчет о проделанной работе.

2.3. Методические указания

2.3.1. Разработка концепции изделия

Проектирование любого изделия является, как правило, сложной итерационной процедурой, содержащей множество неформальных решений. Тем не менее существующая теория и накопленный опыт позволяют определить последовательность проектных действий, приводящих к конечной цели — выпуску проектной документации, по которой можно изготовить изделие, удовлетворяющее ТЗ.

Первым этапом проектирования является разработка концепции изделия. Концепция изделия — это система взглядов на будущее изделие, отражающая потребности Пользователя и возможности Изготовителя, как правило, сформированная состоянием мирового и регионального сообщества, уровнем развития и способом формирования коллектива проектировщиков и его структурой. На концепцию изделия влияет масса факторов экономического, информационного, национального, исторического и т.п. характера, но с усилением глобализации мировой экономики доминирующими становятся первые два.

Концепция изделия формируется в виде системы общих проектных решений (ОПР) по изделию.

Алгоритм АП 3.1. Формирование ОПР по варианту проекта.

Исходные данные: результаты предпроектного исследования, техническое задание на разработку.

Процедура АП 3.1.

1. Начало. Анализ ТЗ, формирование функциональной структуры.
2. Декомпозиция изделия на принципах мехатроники.
3. Формирование критериев качества проекта.
4. Формирование ОПР по механизму и датчикам его состояния.
5. Разработка ОПР по устройству управления мощностью двигателя.
6. Определение ОПР по внешней информационной системе.
7. Разработка ОПР по устройству управления.
8. Моделирование взаимных соответствий частей изделия в силу принятых ОПР.

9. Анализ результатов моделирования и коррекция ОПР по пп. 3-7 данного алгоритма.

Анализ ТЗ, формирование функциональной структуры.

Анализ ТЗ (позиция АП 3.1.1) проводят на:

- соответствие нормативным документам на момент проектирования;
- соответствие результатам, достигнутым мировой наукой и техникой, отечественным достижениям и достижениям Разработчика;
- отсутствие противоречий в описании функций изделия, приведенном в ТЗ, и в исходных данных ТЗ.

Для четкого и однозначного описания концепции будущего изделия применяется функциональная модель или функциональная структура.

Функциональная структура представляет изделие как систему, чаще всего иерархическую, функций, которые выступают в виде проявления процессов, результатов решений, результатов реализации решений, отношений, возможностей и т. п. Функцию можно трактовать как некоторый управляемый преобразователь входного потока (энергия, информация, вещество) в выходной поток (энергия, информация, вещество), использующий при этом некоторые ресурсы (энергию, информацию, вещество, в том числе в форме машин, биоорганизмов, процессов, физических явлений и т. п.).

Функциональная структура должна отвечать на следующие вопросы: «Какие функции выполняет система?», «Какова структура функций?», «Что есть вход и выход функций?», «Что обеспечивает управление функцией?», «Какие ресурсы требуются для выполнения функции?», «Как связаны функции и компоненты изделия?», «Как обеспечить служебное назначение изделия совместным выполнением группы функций без их дублирования и с максимальным эффектом (принцип синергетики)?».

В функциональную структуру должны войти, как минимум, все функции проектируемого устройства, приведенные в ТЗ. По усмотрению Разработчика допускается представлять функции, приведенные в ТЗ, в форме подмножества более мелких (более подробных функций). Кроме того, круг приведенных в ТЗ функций может быть расширен и дополнен функциями, полезными с точки зрения Разработчика.

Документ «Функциональная структура изделия» оформляют в виде таблицы или графической схемы. Форма таблиц или графические формы не регламентированы, но сложившаяся практика часто применяет формы в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1

Функциональная структура изделия

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...	N	N+1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	-----	---	-----

Содержание колонок таблицы 4.

1. Номер по порядку строки таблицы.
2. Имя функции. Указывается уникальное в рамках данного проекта имя функции в виде шифра, например «S3».
3. Наименование функции. На естественном языке излагается наименование функции, которое ясно и однозначно отражает ее сущность, например: «Перемещение каретки рабочего органа».
4. Список сопряженных функций. Указывается список имен функций, непосредственно взаимодействующих с данной функцией.
5. Режим выполнения функции. Указывается один из возможных режимов выполнения функции: периодически, по программе, по условию, спорадически.
6. Степень автоматизации выполнения функции: автоматическое (без участия оператора), автоматизированное (с участием оператора), ручное (например, ручной ввод кодов на выходы параллельных портов).
7. Способ реализации функции: программный, программно-аппаратный, аппаратный, организационный (через регламентированные действия оператора).

8. Входные элементы функции. Например, напряжение переменного синусоидального тока.
9. Выходные элементы. Например, осевая сила относительно центра масс каретки.
10. Ресурсы для реализации функции. Указываются оценки требуемых ресурсов для выполнения функции (например, двигатель переменного тока мощностью не менее 180 Вт).
11. Управление реализацией функции. Например, изменение амплитуды и частоты напряжения питания двигателя.
12. Критерий качества выполнения функции. Указывается тип критерия (ограничение или критерий качества) и его формализованная запись. Например, диапазон изменения скоростей от 0,01 до 10 м/с, погрешность позиционирования не более 0,0001 м, погрешность по скорости не более 0,001 м/с, энергопотребление привода — минимальное.
13. Список классов или подклассов комплектующих узлов, с помощью которых можно реализовать функцию.
14. ...*N*. Прочие записи по усмотрению проектировщика.
- N* + 1. Примечания к таблице.

Графические формы функциональных структур могут выступать в виде графов, функциональных и структурных схем и т. п. При представлении функциональной структуры в виде графа его вершинами являются имена функций и другая сопроводительная информация, а ребрами — отношения между функциями. Табличное представление функциональной структуры более информативно, а графическая структура дает представление о топологии системы, помогает ее оптимизировать и найти «зависшие» функции. Поэтому целесообразно использовать обе формы, особенно в сложных проектах.

2.3.2. Декомпозиция изделия на принципах мехатроники

При отыскании ОПР будущее изделие целесообразно разбить на составные элементы, провести декомпозицию изделия (АП 3.1.2). Любая декомпозиция должна отвечать целям, которые перед ней поставлены. Цели декомпозиции:

- упрощение анализа структуры изделия;
- применение типовых, апробированных методов синтеза;
- упрощение конструкции;
- повышение коэффициента стандартизации и/или унификации изделия;
- выявление удобных для интеграции элементов;
- обеспечение технологических условий производства.

При декомпозиции должны учитываться принципы мехатроники, сформулированные выше. Например, разбиение устройства на механическую и электрическую части из условия разделения производства на механическое и электромонтажное, скорее всего, приведет к нарушению принципов мехатроники и снижению качества изделия. Наиболее целесообразно разделение машины на модули движения, а их, в свою очередь, — на характерные для мехатронных модулей движения сборочные единицы. Декомпозицию можно проводить на основании имеющегося опыта, известных аналогов и т. п. Часто применяется следующая схема.

На основании функциональной структуры строится виртуальная структура функциональных блоков. Виртуальный функциональный блок — это элемент, структурная единица изделия, которая выполняет группу функций проектируемого устройства. Например, для выполнения арифметикологических операций вводится блок «Процессор». Функции, выполняемые «Процессором», реально могут выполняться мультипроцессорной системой с иерархической или распределенной структурой, содержащей аналоговые, цифровые или конечноавтоматные процессоры и т. п., но в вир-

туальной структуре вопросы технической реализации могут не рассматриваться. Затем виртуальная структура функциональных блоков преобразуется в архитектуру блоков, модулей, узлов и т. п., которые могут рассматриваться как сборочные единицы будущего изделия.

Пример 3.1.

Структура функциональных блоков мехатронного модуля (рис. 2), построенная на функциональной структуре изделия, состоит из блока внешнего интерфейса, устройств программного управления (УЧПУ), управления мощностью двигателя или, иначе, управляемого источника питания (УИП), преобразования цифрового двоичного кода на выходе УПУ в сигнал управления УИП и согласования этих блоков (драйвера аппаратного, ДА), двигателя асинхронного (АД), механизма передачи движения (МПД), рабочего органа модуля (РО), датчика скорости вала двигателя (ДС), датчика текущего положения вала двигателя (ДП), датчика текущего значения тока двигателя (ДТ), аналого-цифровых преобразователей непрерывно меняющегося сигнала в двоичный цифровой код (АЦП), преобразователя последовательности импульсов с выхода ДП в двоичный параллельный цифровой код — устройства ввода число-импульсных сигналов (УВЧИС).

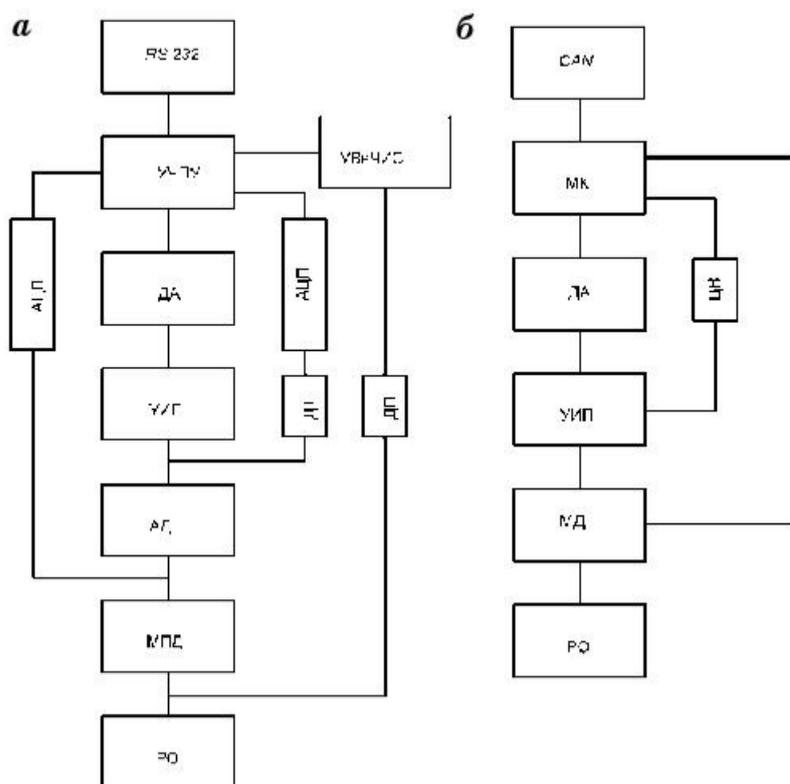


Рис. 2. Пример структуры функциональных блоков:
а — схема до доработки; б — схема после доработки.

В результате предварительной проработки концепции изделия предложена структура изделия (рис. 2б), состоящая из микроконтроллера (МК), драйвера аппаратного (ДА), управляемого источника питания (УИП), мехатронного модуля движения (ММД), рабочего органа модуля (РО), цифрового наблюдателя (ЦН).

При декомпозиции, с учетом принципов мехатроники, предложены следующие проектные решения:

- функции измерения тока и скорости объединены и реализуются одним устройством — электронным цифровым наблюдателем (ЦН) с цифровой обработкой информации в контроллере;

- датчик положения (ДП) объединен одним корпусом с двигателем (АД) и механизмом передачи движения (МПД) в мехатронный модуль движения (ММД);
- функции АЦП, УВЧИС и УЧПУ реализуются одной интегральной микросхемой — микроконтроллером (МК).

2.3.3. Формирование системы критериев качества

Критериями качества проекта могут выступать:

- технические требования (ТЗ);
- общие технические требования к данному классу изделий, определенные международными (ISO 9000), государственными и отраслевыми нормативными актами;
- технические требования, более жесткие, чем в ТЗ, вводимые самим Разработчиком в целях повышения технического уровня изделия, отработки новых идей, ноу-хау, патентов и т. п., формирования научно-технического задела Разработчика, удовлетворения требований рынка, повышения конкурентоспособности изделия;
- экспертные оценки проекта.

Примеры показателей качества объекта проектирования представлены в табл. 2.

Отметим, что группирование показателей качества не нормировано и в различных проектных организациях может быть разным или вообще не применяться, а Δ — величина допуска по данному показателю, устанавливаемая в конкретных проектных условиях.

Специальные критерии, применяемые при проектировании МУ, зависят от его служебного назначения, принципа действия, типа комплектующих, условий эксплуатации и множества других факторов. Комплект критериев, подходящий для одного изделия, может не подходить для другого. В качестве примера рассмотрим состав критериев для отбора вариантов компоновочных схем мехатронного транспортного средства с шаровым движителем («шар — робот», ШР).

Таблица 2

Примеры показателей качества объекта проектирования

Имя	Наименование	Размерность	Extr
Ф1	Общие		
Ф1.1	Масса изделия в целом	кг	min
Ф1.2	Масса подвижных относительно стойки элементов	кг	min
Ф1.3	Моменты инерции осевые для одноподвижных звеньев	кг·м ²	min
Ф1.4	Моменты инерции центробежные для одноподвижных звеньев	кг·м ²	min
Ф1.5	Норма матрицы инерций для многозвенных механизмов	кг·м ²	min
Ф1.6	Сумма габаритных размеров изделия	м	min
Ф1.7	Объем изделия	м ³	min
Ф1.i	Прочие, $i = 8, 9, \dots$	—	—
Ф2	Конструкторско-технологические		
Ф2.1	Удельная материалоемкость $M_y = M/W$, где M — масса устройства; W — главный эксплуатационный параметр	Зависит от W	min
Ф2.2	Удельное энергопотребление $\mathcal{E}_y = P/M$, где P — установленное энергопотребление; M — масса мехатронного устройства	кВт/час·кг	min
Ф2.3	Коэффициент унификации $K_y = E_y/E$, где E_y — число унифицированных сборочных единиц; E — общее число сборочных единиц	—	1
Ф2.4	Коэффициент стандартизации $U_c = E_c/E$, где E_c — число стандартных сборочных единиц	—	1

Ф2.5	Коэффициент интеграции $K_{ин} = \Phi/E$, где Φ — количество функций изделия; E — общее число сборочных единиц	—	max
Ф2.6	Трудоемкость изделия	час	min
Ф2.i	Прочие, $i = 7, 8, \dots$	—	—
Ф3	Технико-экономические		
Ф3.1	Ожидаемый экономический эффект (различные определения)	—	—
Ф3.2	Срок окупаемости инвестиций	лет	min
Ф3.3	Оценка себестоимости для производителя изделия	руб.	min
Ф3.4	Оценка стоимости эксплуатации для потребителя	руб.	min
Ф3.5	Потребляемая мощность электрической энергии питания	В·А, Вт	min
Ф3.6	Коэффициент полезного действия, КПД	%	100
Ф3.i	Прочие, $i = 7, 8, \dots$	—	—
Ф4	Эксплуатационные		
Ф4.1	Погрешности позиционирования, прохождения заданной траектории и сохранения заданной ориентации вдоль траектории, отработки заданного усилия	%	min
Ф4.2	Потребность в профилактике	час/год	min
Ф4.i	Прочие, $i = 3, 4, \dots$	—	—
Ф5	Определяющие качество процессов		
Ф5.1	Диапазон скоростей, ускорений, усилий и т. п.	м/с и т. п.	max
Ф5.2	Наименьшее значение контролируемого перемещения, скорости, ускорения, усилия	м и т. п.	min
Ф5.3	Быстродействие при достижении установившихся значений	с	max
Ф5.4	Величина перерегулирования	%	min
Ф5.5	Величина зоны допустимых отклонений от установившегося значения без потери устойчивости (зависит от типа параметра)	—	A
Ф5.i	Прочие, $i = 6, 7, \dots$	—	—
Ф6	Частотные характеристики		
Ф6.1	Полоса пропускания	Гц	max
Ф6.2	Запас устойчивости по фазе и амплитуде	рад, м	A
Ф6.i	Прочие, $i = 3, 4, \dots$	—	—
Ф7	Специальные, определяющие качество типа изделия		
Ф8	Прочие		

Пример 3.2. Разработка системы критериев отбора компоновок ШР.

В результате проведения патентно-информационных и научных исследований был выявлен ряд компоновочных схем ШР (рис. 3).

В качестве системы критериев отбора компоновок ШР предлагается следующий набор показателей качества, определенных для каждого j -го варианта компоновочной схемы:

- $\Phi_{1,j} = (m_{c,j} / m_{v,j}) \rightarrow \min$ — критерий эффективности движущей массы, где $m_{c,j}$ — масса неподвижных относительно корпуса элементов ШР; $m_{v,j}$ — масса

неподвижных относительно корпуса элементов ШР, участвующих в создании движущей силы;

- $\Phi_{2,j} = (m_{c,j}R_{c,j} / m_{v,j}R_{v,j}) \rightarrow \min$ - критерий эффективности движущего момента,

где $R_{c,j}$ - радиус центра масс (ЦМ) неподвижных относительно корпуса элементов ШР;

$R_{v,j}(t)$ - радиус (ЦМ) подвижных относительно корпуса элементов ШР, участвующих в создании движущей силы;

- $\Phi_{3,j} = R / R_{k,j} \rightarrow \min$ - критерий эффективности использования пространства сферы, где $R_{k,j}$ - радиус сферы размещения полезной нагрузки и элементов ШР; R - внешний радиус корпуса ШР;

- $\Phi_{4,j} = m_j / m_{н,j} \rightarrow \min$ - критерий эффективности использования грузочной способности, где $m_{н,j}$ - масса полезной нагрузки, m_j - общая масса ШР,

- $\Phi_{5,j} = \text{tr}(J_{c,j}) / \text{tr}(J_{v,j}) \rightarrow \min$ - критерий инерциальных потерь, где $\text{tr}(J_{c,j})$ - след тензора инерций неподвижных относительно корпуса элементов ШР; $\text{tr}(J_{v,j})$ - след тензора инерций подвижных относительно корпуса элементов ШР, участвующих в создании движущей силы.

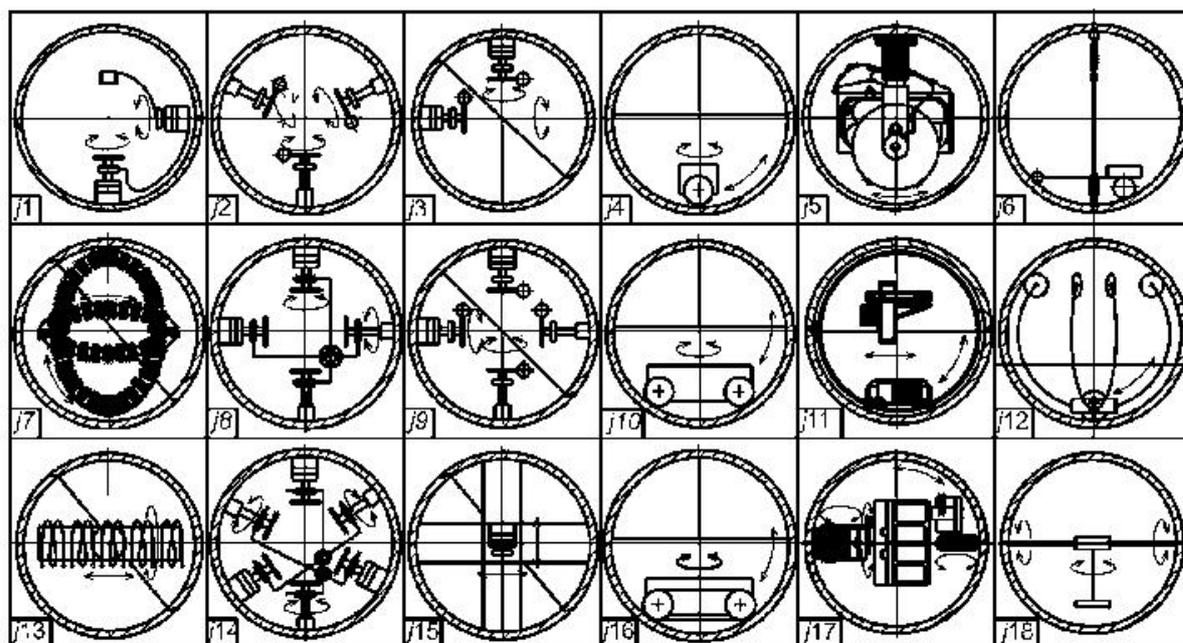


Рис. 3. Примеры компоновочных схем шаровых роботов

Структуризация критериев качества. Множество отобранных критериев может быть слишком большим даже для компьютерной оптимизации. В реальном проектировании мы имеем чаще всего ситуацию, при которой изделие имеет иерархическую структуру сборочных единиц (узлов).

При реализации такого проекта требуется сформулировать критерии качества как проектируемого изделия (глобальные критерии), так и его комплектующих (локальные критерии). Встает естественный вопрос: «Можно ли считать оптимальной сборочную единицу, если ее узлы спроектированы оптимально?». Иногда это очевидно.

Пусть $S_0 > 0$ — стоимость сборочной единицы, а $S_{1,1} > 0, S_{1,2} > 0, \dots, S_{1,i} > 0, \dots, S_{1,n} > 0$ — стоимости узлов, из которых собирается изделие. С некоторым допущением можно полагать, что $S_0 = S_{1,1} + S_{1,2} + \dots + S_{1,n}$, и при снижении стоимости каждой $S_{1,i}$ стоимость сборочной единицы снижается.

Рассуждая аналогичным образом, мы приходим к выводу о возможности распределения критериев качества по уровням иерархии, причем критерии качества нижних уровней иерархии можно рассматривать как параметры (факторы) для критериев верхних уровней иерархии.

Разбивая критерии по уровням иерархии, совпадающим, например, с иерархией сборочных единиц изделия, мы снижаем размерность задачи и можем, оптимизировав проектные решения по узлам верхнего уровня, принять значения критериев нижних уровней, переведя их тем самым в разряд ограничений, или оптимизировать их как целевые функции с меньшими размерностями. Кроме того, оптимизация критериев возможна путем введения функциональных отношений между параметрами и функциональных ограничений на них.

Структурирование критериев и снижение размерности их множества часто является сложной и неформальной задачей. В литературе предлагается множество подходов к этой проблеме, но методов решения, работающих в любых приложениях, не известно.

2.3.4. Выбор и оценка комплектующих на этапе формирования концепции изделия

Концепция варианта создания изделия уже содержит сведения о многих типовых комплектующих, которые мы будем называть допустимыми, в том смысле, что на их базе можно создать работоспособное изделие, соответствующее ТЗ, но оно может быть нелучшим в силу множества принятых критериев. Оценивая комплектующие и отбрасывая часть из них, мы сокращаем количество вариантов. Оценка перспективности комплектующих — это прогноз устойчивости их применения в будущих аналогах, отсутствия конкуренции со стороны изделий со сходными функциями, но выполненных по другим принципам действия, конструкциям и из других материалов. Этот прогноз очень важен, так как, например, появление в ближайшем будущем на рынке иного типа двигателя с лучшими показателями «цена — качество» сделает все проектируемое изделие неконкурентоспособным, а модернизация проекта приведет к большим потерям инвестиций.

Оценка комплектующих с трудом поддается формализации и чаще всего носит экспертный характер, хотя 100% -ного результата этот метод не дает.

Критериями оценки перспективности комплектующих чаще всего служат:

- данные о прекращении их выпуска в связи с новыми разработками аналогичных по функциям комплектующих;
- данные о резком снижении стоимости, росте надежности и улучшении других показателей у альтернативных комплектующих;
- данные о выявлении у некоторых марок комплектующих фактов отрицательного влияния их свойств на среду применения;
- моральное старение образцов и т. п.

Если база данных Разработчика содержит только перспективные комплектующие, то строгое и точное решение проектной задачи по выбору комплектующих дает, например, отыскание .EP-моделей по методике, рассмотренной в главе 1 (решение задачи АП7).

2.3.5. Формирование общих проектных решений

Принятие общих проектных решений по механизму. Общие проектные решения (ОПР), определяющие концепцию механизма (позиция АРЗ.1.4), чаще всего касаются:

- структуры механизма (однозвенная, многозвенная (последовательная, параллельная, комбинированная));
- способов соединения рабочего органа с механизмом;
- типов силовых элементов;

- видов механизмов передачи и преобразования движения;
- способов фиксации ВМЗ при выстоях;
- способов минимизации выбега ВМЗ;
- способов ограничения движения ВМЗ;
- типов и размещения датчиков состояния механизма.

Структура механизма определяется служебным назначением изделия, и с точки зрения стоимости проектирования процесс синтеза механизма является наиболее трудоемким и содержит большой объем конструкторских работ. В то же время это один из самых ответственных разделов проекта, так как именно конструкция ВМЗ определяет энергоемкость и материалоемкость проектируемого изделия, его потребительские свойства и содержит обычно много нетиповых и нестандартных деталей.

ОСОБЕННОСТИ ПРИНЯТИЯ ОПР ПРИ ВЫБОРЕ СТРУКТУРЫ МНОГОЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА

Задача выбора кинематической модели (КМ) для многозвенных механизмов не имеет регулярного или однозначного решения, так как требуемые траектории могут быть реализованы не единственной КМ, но известны приемы оценки приемлемых вариантов.

Одним из таких приемов является метод проекций. Суть метода состоит в нахождении графических проекций траектории-представителя на плоскости XOY , XOZ и YOZ БСК. Затем по виду проекций подбираются подходящие КМ, реализующие траекторию при минимуме звеньев, например, если проекция — окружность, то для ее реализации естественно применить звено типа В, если кольцо — то звено типа ПВ и т. п.

Вторым методом является метод характерных рабочих пространств, т. е. пространств допустимых размещений ХРТ. Метод построен на создании графического образа, например, зоны обслуживания проектируемой машины (рис. 4).

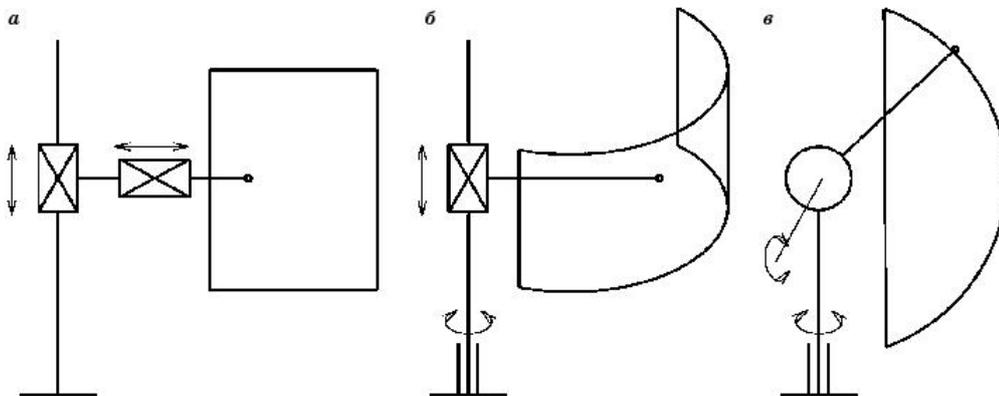


Рис. 4. Примеры выбора КМ по характерным рабочим пространствам:

а — для плоских траекторий произвольной топологии; б — для траекторий произвольной топологии, размещенных на цилиндрической поверхности; в — для траекторий произвольной топологии, размещенных на сферической поверхности.

Тогда каждой характерной форме рабочего пространства соответствует своя формула КМ, естественно ее реализующая. Характерные пространства и реализующие их КМ накапливают и хранят в базе знаний проектирования.

Следующим является метод предпочтительных КМ. Требуемое множество траекторий (или траектория-представитель) разбивается на множества типовых (стандартных) участков. Если заданное множество траекторий топологически подобно и описывается уравнениями, которые отличаются только коэффициентами, то, записав уравнения кривой для каждого участка в параметрической форме, можно поставить ее в соответствие КМ, которая наилучшим образом (в силу установленного набора критериев) реализует требуемые траектории для этого участка, т. е. применяется метод характер-

ных рабочих пространств для участков траектории. В зависимости от количества участков каждого типа выбирается соответствующая модель, которая будет хорошо подходить для большинства участков, а для меньшего числа — будет работоспособной, но не лучшей.

Метод допустимых рабочих пространств. Требуемая траектория, или множество траекторий с учетом внешних ограничений на их топологию, размещается в наиболее подходящем рабочем пространстве, которому соответствует наилучшим образом некоторая КМ. Подходящим типовым рабочим пространством считается такое, поверхности которого эквидистантны наиболее приоритетному типу траекторий. Приоритет типа назначается проектировщиком, исходя из условий точности, простоты реализации движения, простоты управления и т. п.

Различают следующие виды рабочих пространств машин:

- рабочее пространство машины, в котором может находиться исполнительное устройство машины при всех установленных видах ее функционирования;
- рабочая зона машины, в которой может находиться рабочий орган машины при всех установленных видах ее функционирования;
- зона обслуживания машины, в которой рабочий орган машины может выполнять все установленные функции.

Способ соединения рабочего органа с ВМЗ определяется конструкцией рабочего органа и условиями его работы. Для ряда рабочих органов, например в робототехнике, стыковочные элементы стандартизованы.

Тип силового элемента двигателя определяет многие показатели проектируемого изделия. К параметрам выбора силового элемента относятся: тип движения выходного звена, отношение «усилие номинальное/масса»; климатическое исполнение, возможность безредукторной передачи механической энергии, диапазон регулирования по скорости, бескорпусное исполнение, общие технические показатели, ОТП.

Тип механической передачи и преобразователя движения (например, редуктора или мультипликатора) определяется выбором типа двигателя и особенностями преобразования движения и передачи усилия на рабочий орган. Наиболее удачное решение — безредукторный привод.

Выбор способа фиксации механизма при выстоях определяется функциями рабочего органа, кинематическими и динамическими характеристиками его движения. Часто используются следующие приемы: фиксация двигателем, фиксация тормозным устройством; фиксация внешними устройствами типа упоров, защелок и т. п.

Выбор способа минимизации выбега ВМЗ определяется требованиями точности, характером переходного процесса при торможении, типом привода. Для обеспечения минимального выбега используют регулирование переходных процессов в следящих приводах, гашение колебаний в приводах на шаговых двигателях, тормоза, упоры и фиксаторы в разомкнутых приводах.

Для ограничения движения ВМЗ применяют те же приемы и способы, что и при фиксации ВМЗ.

Тип и размещение датчиков состояния механизма определяет такие показатели проектируемого изделия, как стоимость, точность, размеры, надежность. Хотя формально не всякий датчик является механизмом, но на этапе ОПР по механизму его выбор необходим, так как проектное решение по типу датчика и его марке может существенно влиять на конструкцию и параметры механизма.

Проектирование силового элемента может осуществляться также путем использования комплектного привода или типового мехатронного модуля, включающего в себя, как правило, двигатель, механизм передачи движения, датчики и усилитель-преобразователь энергии питания двигателя.

Если выбирается комплектный привод или мехатронный модуль, то существенными факторами его выбора являются: характер движения выходного звена (поступа-

тельное, вращательное, пульсирующее); функциональная структура; мощность номинальная на валу, кВт; диапазон регулирования по скорости, м/с; максимальная нагрузка на валу, Нм (Н); максимальная скорость выходного вала, рад/с (м/с); максимальное ускорение выходного вала, рад/с² (м/с²); установленная потребляемая мощность, В·А, кВт; тип и параметры источников питания привода; границы допустимого изменения мощности входного сигнала управления приводом, Вт; максимальная допустимая ошибка регулирования в размерности регулируемой величины; время переходного процесса, с; структура привода (количество корпусов, их массогабаритные характеристики, характеристики интерфейсов, способ монтажа); ОТП.

Разработка ОНР по устройству управления мощностью двигателя. ОНР по устройству управления мощностью двигателя (позиция АР 3.1.5) (управляемому источнику питания, УИП, усилителю-преобразователю энергии питания (УПЭП) двигателя) определяются выбором двигателя и способа управления его мощностью.

Определение ОНР по внешней информационной системе. Определение ОНР по внешней информационной системе (позиция АП 3.1.6) включает определение принципов действия датчиков и сенсоров; способов и глубины предварительной обработки информации; мест размещения датчиков и сенсоров, места размещения и способов компоновки средств предварительной обработки информации; состава и структуры интерфейсов (тип, носитель информации, тип коммутаторов, способ прокладки, защита от помех, уровень допустимого затухания сигнала, уровень допустимых шумов, способы создания аппаратной и логической совместимости и т. п.).

Одним из важнейших показателей качества ИС является ее точность, зависящая также и от способа размещения датчиков. Для повышения точности измерений применяют разделение информационных и силовых цепей в механизмах МУ, например, силового и информационного редукторов; изоляцию информационных цепей от климатически завязанных цепей; применение бесконтактного контроля и другие технические мероприятия.

Разработка ОНР по устройству управления. В зависимости от служебного назначения и функциональной структуры архитектура устройства управления может быть монопроцессорной (сосредоточенной) или многопроцессорной (мультипроцессорной, мультиагентной). Распределение функций между процессорами может осуществляться по различным принципам. Например, процессоры могут распределяться так, чтобы каждый из них отвечал за управление движением каждой независимой оси машины, либо контролировал работу некоторой подсистемы на определенном уровне иерархии, либо был узлом обработки информации в информационной структуре, либо повышал живучесть системы в качестве дублирующего процессора при ее «горячем резервировании». С точки зрения обмена информацией в мультипроцессорной системе различают структуры: централизованные (иерархические), децентрализованные (кольцевые, кольцевые с центральным процессором, с общей шиной (ОШ), матричные), мультиагентные и их комбинации. Отметим, что принятие решения на этапе ОНР чаще всего является волевой акцией, так как на этой стадии слишком мало данных для обоснованного выбора архитектуры.

Управление движением приводов. Современная мировая практика создания приводов перемещения ВМЗ показала, что наиболее приемлемой с точки зрения простоты в наладке и эксплуатации, а также их унификации является структура с подчиненным регулированием параметров, называемая трехконтурной системой подчиненного регулирования. Ее особенностью является то, что за точность регулирования отвечает контур положения, а за быстроедействие — внутренние контуры. Достаточное быстроедействие такой схемы обеспечивается высокой частотой квантования на участке «процессор — УИП», прямым управлением типа «цифровой код — ток якоря» и малой инерционностью транзисторных ключей.

Современная элементная база позволяет обеспечить полосу пропускания частот в контуре регулирования скорости электроприводов с транзисторным УИП в сотни Гц. При этом появляются широкие возможности комбинированного управления двигателем не только за счет ширины импульсов тока, их периода и количества, но и за счет их амплитуды путем воздействия на управляемый усилитель в УИП. Аналогична ситуация и в двухконтурных приводах (контур тока и контур скорости) с главной обратной связью по скорости.

Другим прогрессивным направлением в создании быстродействующих приводов на базе двигателей переменного тока являются системы векторного управления с прямым цифровым управлением током якоря. Точность позиционирования таких систем обеспечивается датчиками положения ротора с высокой разрешающей способностью. Предельно высокое быстродействие контуров скорости и тока реализуется за счет цифровых релейных регуляторов, цифровых наблюдателей, устройств, работающих на принципах нечеткой логики. Если в таких приводах исключаются ЦАП и АЦП, то это резко увеличивает быстродействие привода. Если измерение аналоговых сигналов необходимо, то используются встроенные в модуль процессора АЦП. Это направление обеспечивает самые высокие требования по быстродействию, в том числе и компенсационное управление в нежестких конструкциях, но требует для своей реализации специализированных процессоров с объектно-ориентированной системой команд, позволяющей решать задачи цифрового регулирования в реальном времени, т. е. с быстродействием примерно в 10-16 млн оп/с и более.

По способу организации следящей системы можно выделить несколько основных схем (рис. 5).

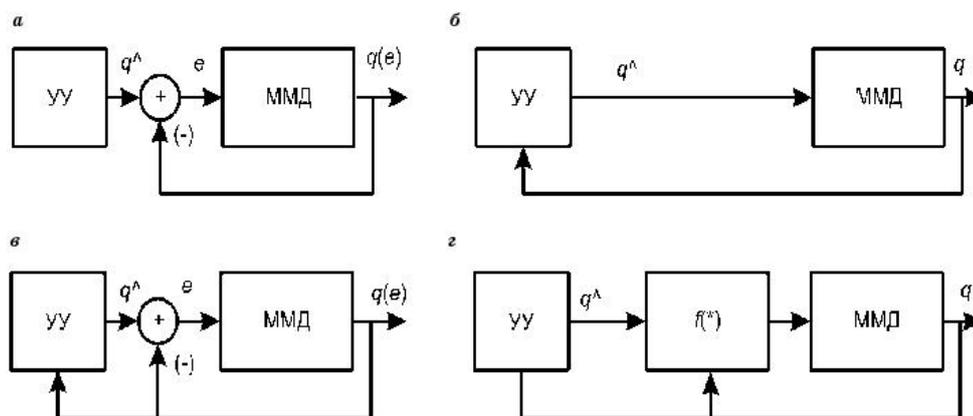


Рис. 5. Основные схемы организации управления мощностью мехатронного модуля движения (ММД) в функциях рассогласования e , между состоянием вектора контролируемых координат $q(e)$ и заданием g , формируемым устройством управления УУ:

а — с УУ в качестве задатчика; б — сУУ в качестве задатчика и регулятора; в — с УУ в качестве адаптивного задатчика; г — с УУ в качестве адаптивного задатчика и особым способом формирования отклонения.

Одним из важнейших этапов принятия ОНР является выбор типа процессора (процессоров) устройства управления. Первым важным фактором выбора процессора является его принципиальное устройство, часто называемое концепцией архитектуры.

В узком смысле под архитектурой понимается архитектура набора команд. В широком смысле архитектура охватывает понятие организации вычислительной системы как структуры функциональных блоков, включая систему организации команд. Рассмотрим основные концепции архитектуры.

Концепция CISC-архитектуры (*Complex Instruction Set Computer* — компьютер со сложным набором команд). Основоположителем CISC-архитектуры можно считать компанию IBM с ее базовой архитектурой -/360, ядро которой используется с 1964 г. до наших дней. Типичным представителем C/SC-архитектуры являются версии процессо-

ров *Intel 386*. Однако сложность вычислительной системы и системы команд *CISC*-архитектуры является главным фактором, ограничивающим производительность процессоров на ее основе.

Концепция *RISC*-архитектуры (*Reduced Instruction Set Computer* — компьютер с сокращенным набором команд) имеет следующие характерные признаки:

- процессор с сокращенным набором команд, которые в идеале выполнялись бы за один машинный такт с одновременным исполнением текущей и выборкой следующей команды, что обеспечивает производительность до 1 млн оп/с на каждый МГц тактовой частоты;
- отдельный доступ к памяти программ и памяти данных;
- увеличенная разрядность шины, по которой считываются инструкции до 8, 12, 16 и более разрядов;
- отказ от архитектуры с регистром-аккумулятором в пользу регистрового файла, от 32 до нескольких сотен регистров общего назначения (РОН);
- симметричная система команд, позволяющая выполнять операции с любым регистром, используя любой метод адресации;
- суперскалярная структура процессора, содержащая несколько параллельно работающих исполнительных устройств;
- отказ от аппаратной реализации сложных способов адресации;
- фиксированный формат команд вместо переменного формата;
- оснащение микросхемы разнообразными периферийными устройствами, в число которых входят аналогово-цифровые преобразователи (АЦП), компараторы, параллельные порты, контроллеры последовательных интерфейсов SPI, USART и I2C, таймеры-счетчики, модули захвата/сравнения, широтно-импульсные модуляторы, таймеры сторожевые, схемы супервизорные, устройства поддержки внешних прерываний, устройства сброса по включению питания и т. п.;
- наличие встроенного аппаратного умножителя;
- применение, как правило, однократно программируемой памяти программ с возможностью внутрисхемного программирования или масочной *ROM (Read Only Memory)*, память, доступная только для чтения, постоянное запоминающее устройство, ПЗУ);
- встроенная *FLASH ROM* с возможностью внутрисхемного программирования;
- сниженное энергопотребление;
- отладка программ в режиме симуляции на программном отладчике, а также непосредственно на внутрисхемном эмуляторе.

Отметим, что в последние годы намечилось слияние *CISC*- и *RISC*-архитектур, отразившееся в архитектурах семейства *Pentium*.

Концепция архитектуры цифровых сигнальных процессоров (*Digital Signal Processor, DSP*). Архитектура адаптирована для выполнения рекуррентных полиномиальных вычислений, что сокращает время расчета.

Концепция *DSP* содержит ряд особенностей.

Вычислительные процедуры в *CISC* и *RISC* реализуют функциональную зависимость между входом и выходом. В *DSP* используются операторные зависимости между функцией входа и функцией выхода.

2. Аппаратные средства *DSP* воспроизводят математическую структуру вычислительной процедуры обработки сигнала, положенной в основу конкретного прибора. Было разработано огромное количество одномерных и многомерных однородных структур, с помощью которых можно реализовать множество алгоритмов цифровой обработки сигнала. Так сформировалась технология транспьютерных сетей — однородных сетевых структур, в узлах которых находятся многофункциональные процессоры — транспьютеры.

3. В DSP медленные алгоритмы, такие как программирование, заменяют процедурами формирования фазовых траекторий, в которых вычисление отклика на входной сигнал математически соответствует построению так называемой изображающей точки в фазовом пространстве состояний.

Концепция нейро-архитектуры (*Neuro Computer, NC*). Нейрокомпьютер — это вычислительная система с параллельными потоками одинаковых команд и множественным потоком данных, в которой процессорный элемент однородной структуры упрощен до уровня нейрона, резко усложнены связи между элементами и программирование перенесено на изменение весовых коэффициентов связей между вычислительными элементами. Нейрон осуществляет взвешенное суммирование поступающих на его вход сигналов. Результат такого суммирования образует промежуточный выходной сигнал, который преобразуется активационной функцией в выходной сигнал нейрона. Активационную функцию можно считать нелинейной усилительной характеристикой искусственного нейрона, имеющей большой коэффициент усиления для слабых сигналов и ослабление для больших возбуждений. Коэффициент усиления вычисляется как отношение выходного сигнала нейрона к вызвавшему его небольшому приращению взвешенной суммы входных сигналов.

Объединение нейропроцессорных элементов порождает нейросеть. Основные преимущества нейрокомпьютеров связаны с массовым параллелизмом обработки, что обуславливает высокое быстродействие, низкие требования к стабильности и точности параметров элементарных узлов, устойчивость к помехам и разрушениям при большой пространственной размерности системы.

Одним из самых важных этапов разработки нейросети является ее обучение.

Концепция архитектуры процессоров с математикой нечеткой логики (*Fuzzi Computer, FC*). *FC* реализует особую математику нечетких множеств.

Над нечеткими множествами строятся или могут быть построены любые виды исчислений, известных в математике четких множеств, но вычислительные трудности в операциях над элементами нечетких множеств достаточно высоки. Поэтому наиболее распространены вычислители на базе исчисления нечеткой логики (фаззи-логики), аналога алгебры логики над четкими множествами. Для программно-аппаратной реализации математических операций исчисления нечеткой логики и создаются процессоры *FC*-архитектуры.

Кроме процессоров в устройство числового программного управления, или контроллер, входит так называемая обвязка — устройства ввода/вывода.

Вопросы для самоконтроля

1. Сколько решений может иметь процедура проектирования изделия?
2. Что необходимо выполнить на первом этапе проектирования изделия?
3. Из чего формируется концепция изделия?
4. Какие должны быть исходные данные для формирования концепции электро-мехатронного изделия?
5. В чем заключается анализ технического задания на проектирование электро-мехатронного изделия?
6. В чем заключаются цели декомпозиции изделия на принципах мехатроники?
7. На какие модули целесообразно разделить мехатронную систему при ее декомпозиции?
8. Что может выступать критериями качества при разработке концепции изделия?
9. Назовите критерии оценки перспективности комплектующих мехатронной системы движения.
10. Чего касаются общие проектные решения?

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО СТОЛА И СИСТЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОГО ИЗДЕЛИЯ

3.1. Цель и задачи

Цель практического занятия в изучении методов проектирования рабочего стола (или захватного устройства) и системы крепления обрабатываемого изделия.

Задачи:

- 1) изучение конструктивных особенностей захватных устройств электромехатронных систем движения;
- 2) классификация захватных устройств;
- 3) основные этапы проектирования захватных устройств и рабочих столов.

3.2. Задание

Разработать алгоритм проектирования захватного устройства или рабочего стола четырехкоординатного манипулятора для лазерной обработки поверхности детали имеющей форму:

- сферы;
- цилиндра;
- усеченного конуса;
- плоской пластины;
- тора;
- поверхности вращения общего вида;
- цилиндрической линейчатой поверхности общего вида;
- скульптурной поверхности произвольной формы.

3.3. Методические указания

Проектирование рабочих органов мехатронных машин и, в частности, технологических машин отличается с одной стороны колоссальным многообразием проектных задач, а с другой — показывает возможность их проектирования с единых позиций. Единообразие подхода состоит в общей последовательности проектных шагов, но при учете индивидуальных особенностей проекта на каждом шаге. Покажем это на примере проектирования устройств захватных (схватов) промышленных роботов.

3.3.1. Проектирование устройств захватных

В робототехнике различают два класса рабочих органов: устройства захватные, предназначенные для фиксации и ориентации предметов манипулирования с целью их переноса и ориентированного установа в заданном месте или перемещения по заданной траектории с заданной ориентацией, и так называемые технологические головки, т. е. приспособления, выполняющие основные технологические операции, например, сверление отверстий, зачистку поверхностей, резку заготовок и т. п. Рассмотрим проектирование устройств захватных (схватов).

Устройства захватные являются одним из важнейших элементов оснастки роботов и имеют наибольшее (по числу патентов, авторских свидетельств и т. п.) количество проектных решений. Многообразие видов схватов определяется многообразием технологических операций и предметов манипулирования (ПМ).

Схват имеет следующие функциональные элементы:

- несущую конструкцию, состоящую из корпуса и устройства сопряжения с манипулятором;

- привод (пружинный, электромеханический, гидравлический, пневматический, иной);
- устройства силового замыкания ПМ: пальцы (палец и базовая поверхность, 2,3 и более пальцев, пальцы жесткие, гибкие, эластичные); источники магнитных полей (электромагниты, постоянные магниты); источники пневмосиловых полей (статического (вакуумные прососы), динамического (вихревые захваты)); источники электростатических полей; захваты адгезионного типа (клеевые, механические «липучки» и т. п.);
- устройства геометрического замыкания ПМ: постоянной формы (чаши, ковши, короба и т. п.), переменной формы (с подвижными стенками, запорными элементами и т. п.);
- устройства передачи движения элементам силового или геометрического замыкания (пальцам, подвижным стенкам и т. п.): механические передачи (рычажные, кулачковые, зубчатые, винтовые), тяги (толкатели, цепи, тросы, ремни, ленты, рейки и т. п.); пневмо- и гидropередачи; датчики оцувствления схвата (тактильные, силомоментные, локационные и т. п.), датчики состояния ПМ (температуры, радиоактивности и т. п.).

3.3.2. Классификация устройств захватных

1. По отношению к таким свойствам ПМ, как агрегатное состояние вещества ПМ (жидкое, твердое (жесткий ПМ, упругий, пластичный, хрупкий)); форма (отношение трех измерений (пластины, стержни, призмы и т. п.), наличие плоскостей, сферических и цилиндрических поверхностей, отверстий, выступов и т. п.); симметрия (центральная, осевая, плоскостная); особые свойства (влияние внешних факторов, опасность для оборудования и персонала и т. д.).

2. По способу захватывания ПМ: способу фиксации (поддерживание, сжатие (растяжение), притягивание, прилипание); способу приложения фиксирующих сил (параллельного, последовательного, комбинированного действия).

3. Способу удержания ПМ (геометрическое, силовое, комбинированное замыкание).

4. Степени специализации (универсальные, многоцелевые, целевые, специальные).

5. Диапазону параметров ПМ (по массе, размерам, размеру захватывания сжати-ем, площади захватывания притягиванием и прилипанием).

6. По способу базирования ПМ в схвате: с неустановленной базой (фиксирующие); базирующиеся с одной базой, с несколькими базами (перебазирующиеся); центрирующие.

7. По числу позиций ПМ относительно корпуса схвата (однопозиционные, многопозиционные).

8. По характеру крепления к манипулятору (несменяемые, сменные, быстросменные, автоматически сменяемые).

9. По виду управления (неуправляемые, командные, жесткопрограммируемые, адаптивные).

Техническое задание на проектирование устройства захватного (УЗ) выполняется либо в рамках общего ТЗ на проектируемую машину, либо в форме частного ТЗ на устройство захватное, которое реализуется по общей схеме, рассмотренной выше.

3.3.3. Основные этапы и содержание проектирования устройства захватного

Алгоритм проектирования схвата может иметь следующую последовательность проектных действий.

Алгоритм АП 4.1. Проектирование устройства захватного.

Исходные данные: технические требования ТЗ, результаты ОПР.

Процедура АП 4.1.

1. Начало. Анализ данных ТЗ и результатов ОПР.
2. Формирование критериев качества УЗ.
3. Выбор способа захватывания и удержания ПМ.
4. Выбор и расчет устройств силового или геометрического замыкания.
5. Выбор и расчет привода.
6. Проектирование устройств контроля и управления.
7. Проектирование сопряжения с манипулятором.
8. Моделирование работы УЗ.
9. Выпуск проектной документации.
10. Испытания и сдача образцов.

Таблица 3

Способы схватывания ПМ при силовом замыкании

Способ схватывания	Силовой фактор	Преимущества	Недостатки
Поддерживание	Реакция опор, диссипативные силы	Простота, низкая стоимость, отсутствие энергопитания	Низкая точность базирования, ограниченные возможности по номенклатуре ПМ
Сжатие	Усилия пальцев	Точное базирование, полная фиксация ПМ, неограниченность номенклатуры ПМ	Сложность конструкции, значительные масса и габариты, высокая стоимость, сложный расчет
Притягивание	Электромагнитное поле	Простота, низкая стоимость, точное базирование	—
	Постоянное магнитное поле	Простота, минимальная стоимость, точное базирование ПМ	Малая грузоподъемность, сложное отпусkanie ПМ, только ферромагнитные ПМ, остаточная намагниченность, наличие специальных поверхностей ПМ
	Статическое пневмосилое поле	Простота, низкая стоимость, точное базирование, пожаровзрывобезопасность	Необходимость больших площадей притягивания, недопустимость сквозных отверстий в ПМ, невозможность работы с раскаленными ПМ
	Вихревое поле	Притягивания твердых тел любой формы и температуры	Низкий КПД, сложный расчет, небольшие диапазоны изменения габаритов ПМ
	Электростатическое поле	Притягивания неферромагнетиков, простота, экономичность	Малая грузоподъемность, требование гладких поверхностей на ПМ, малая номенклатура ПМ
Прилипание	Силы адгезии	Простота, низкая стоимость, высокая технологичность, отсутствие питания	Малая грузоподъемность, ограниченная номенклатура ПМ, сложное отпусkanie ПМ

Рассмотрим подробнее позиции алгоритма АП 4.1.

Позиция АП 4.1.1. Анализ ТЗ и ОПР состоит в осмыслении задачи проектирования, отыскании аналогов проектных решений, их критическом анализе и уточнении вариантов концепций проекта.

Позиция АП 4.1.2. Критериями качества проекта выступают технические требования к ТЗ, технико-экономические показатели ТЗ, критерии, принятые на этапе формирования ОПР, дополнительные критерии.

Позиция АП 4.1.3. Выбор способа захватывания и удержания определяется целым рядом факторов. Рассмотрим достоинства и недостатки этих способов (табл. 3).

Выбор способа захватывания определяется формой поверхности ПМ, его материалом. Обычно имеется несколько вариантов. Основным правилом является выбор

удовлетворяющего ТЗ, экономически наиболее эффективного варианта. Затем выбирается способ приложения фиксирующих сил. Эта задача в основном относится к проектированию схватов с силовым замыканием пальцами и поддерживающих схватов. Примеры организации захватывания и удержания приведены на рис. 6.

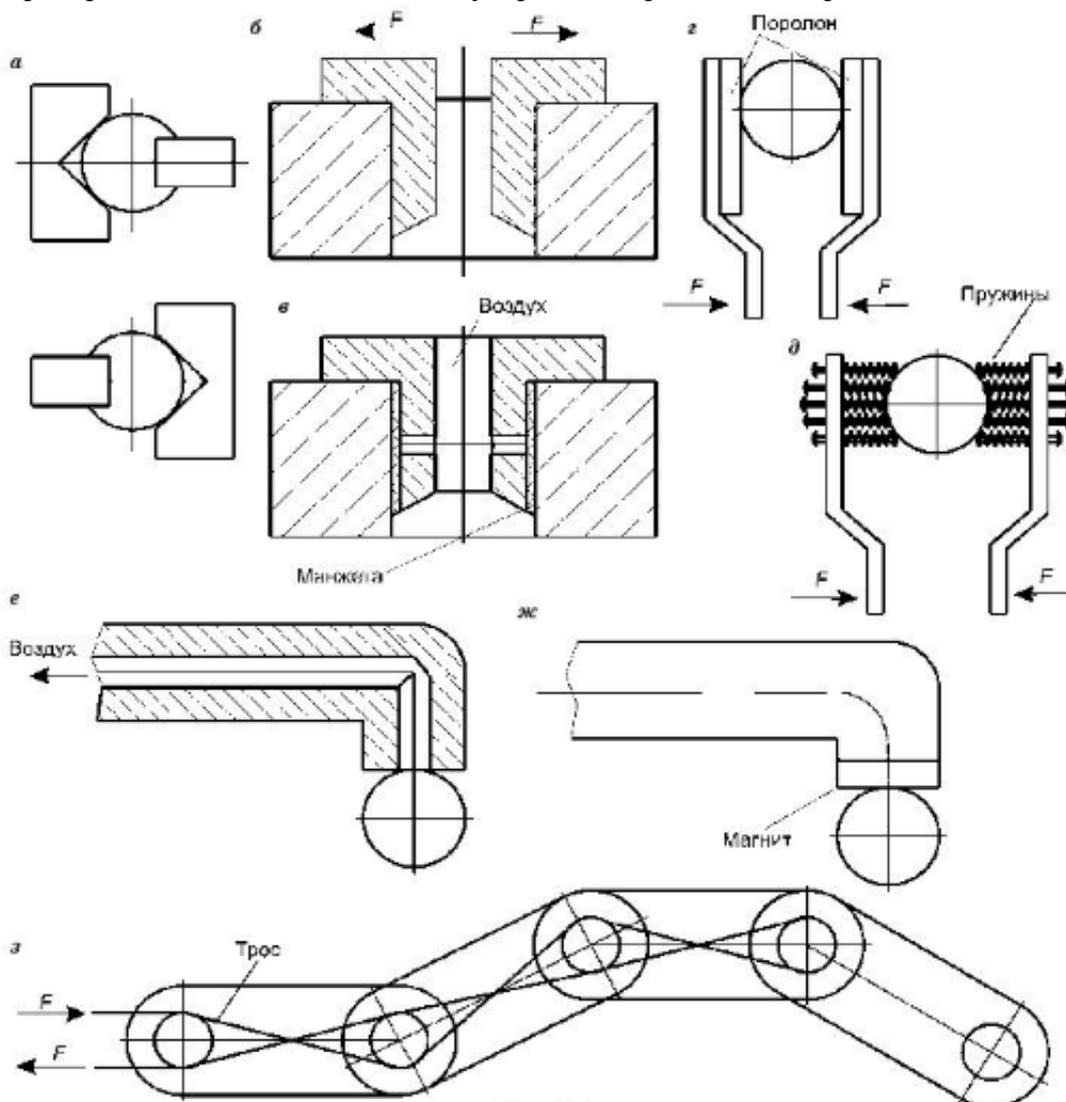


Рис. 6. Примеры организации захватывания и удержания:

а — формой губок; б — растяжением губками; в — созданием напряжения в зазоре; г, д — податливыми элементами; е — присасыванием; ж — притягиванием; з — геометрическим замыканием многозвенным механизмом.

Важной частью этого этапа является определение способа базирования ПМ. Различные формы контактов пальцев с ПМ по-разному обеспечивают самобазирование ПМ относительно пальцев (рис. 7).

Для ликвидации неопределенности базирования применяют комбинацию нескольких форм контакта (рис. 8).

При самобазировании в пальцевых захватах в зависимости от способа захватывания может происходить смещение баз, что надо учитывать при расчетах.

Минимальная величина раскрытия губок схвата L_{\min} определяется соотношением

$$L_{\min} = d + \varepsilon_{\text{уст}} + \varepsilon_{\text{поз}} + \varepsilon_{\text{зав}} + \varepsilon_{\text{дет}}, \quad (1)$$

где d — размер захватывания; $\varepsilon_{\text{уст}}$ — погрешность манипулятора; $\varepsilon_{\text{поз}}$ — погрешность исходного позиционирования; $\varepsilon_{\text{зав}}$ — погрешность зазора между захватывающими поверхностями и ПМ; $\varepsilon_{\text{дет}}$ — погрешность изготовления ПМ.

Примеры способов базирования и замыкания ПМ в схвате приведены на рис. 9.

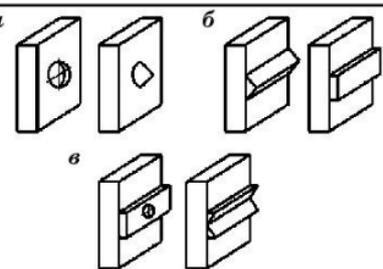
	Форма ПМ						Форма контактов пальцев		
	Призма	<i>P</i>	Цилиндр	<i>Z</i>	Шар	<i>S</i>	<i>a</i> 		
	Контакт типа		Контакт типа		Контакт типа				
1	<i>P + A</i>		<i>Z + A; Z + B</i>		<i>S + A; S + B; S + C</i>				
2	<i>P + B</i>		<i>Z + C; Z + E</i>		<i>S + C</i>				
3	<i>P + C; P + E</i>		<i>Z + E</i>		<i>S + D</i>				
Неопределенность					<i>P</i>		<i>Z</i>		<i>S</i>
Ориентации по трем осям					1 <i>A</i>		1 <i>A, 1B</i>		3 <i>D, 2E, 1A, 1B, 1C</i>
Ориентации по двум осям					2 <i>B</i>		2 <i>E, 2C</i>		—
Ориентации по одной оси					3 <i>C, 3E</i>		3 <i>E</i>		—
Положения по трем осям					—		1 <i>A</i>		1 <i>A, 1B</i>
Положения по двум осям					7 <i>A, 2B, 3C, 3C</i>		2 <i>E, 2C, 1B</i>		1 <i>C</i>
Положения по одной оси					—		3 <i>E</i>		—

Рис. 7. Связь неопределенности базирования с формой контактов

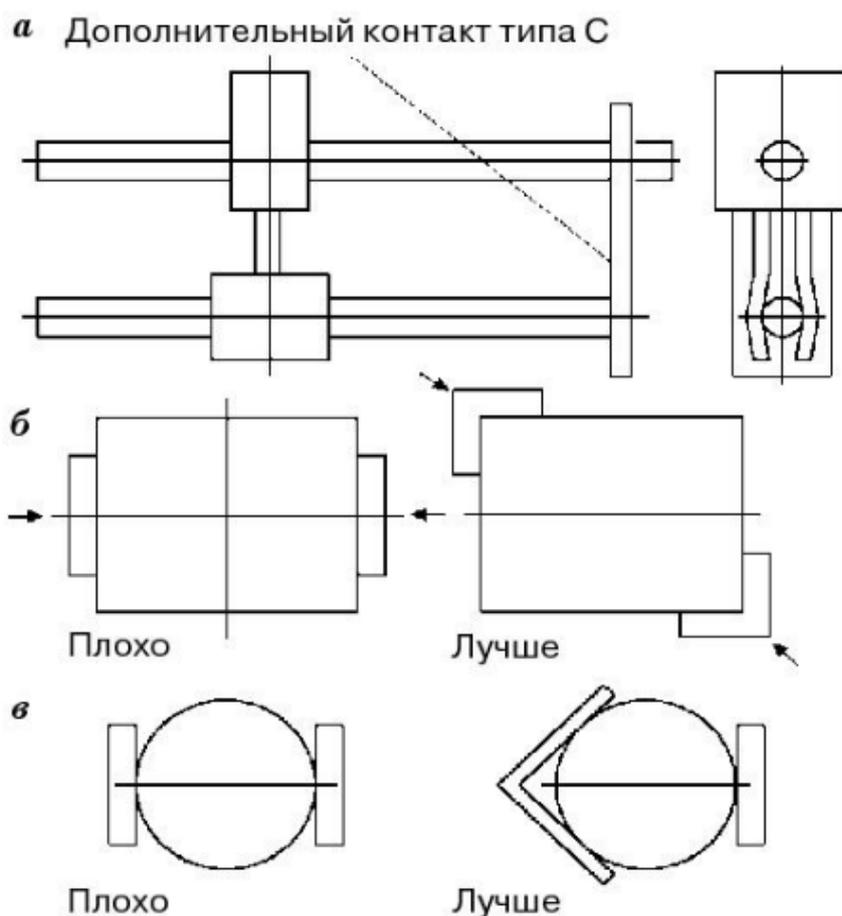


Рис. 8. Примеры устранения неопределенности базирования ПМ:
 а — базирование цилиндрического ПМ; б — учет формы ПМ.

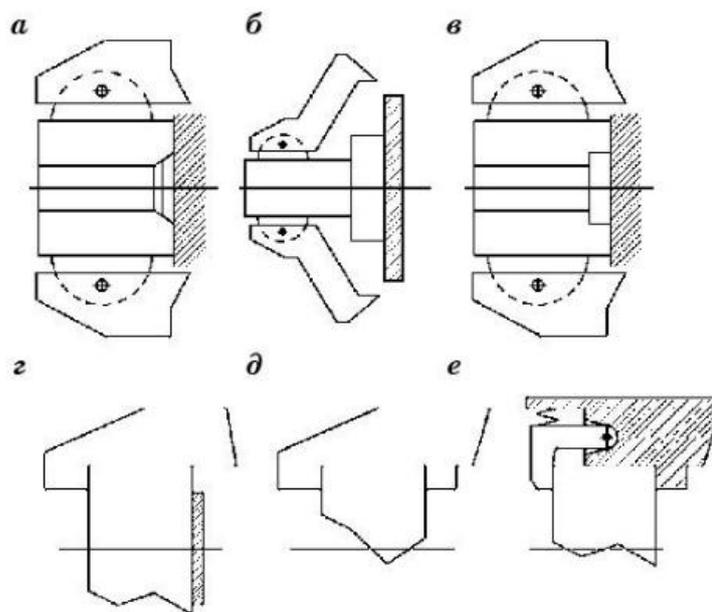


Рис. 9. Способы базирования и замыкания:
 а, б, в — дополнительными базами и формой контактов; г, д — формой губок; е — специальной защелкой.

Позиция АР 4.1.4. На этом этапе проектирования рассчитывают необходимые усилия прижатия ПМ к контактным поверхностям схвата, механизм передачи усилия от привода схвата, усилие привода и его мощность. В силовой расчет схвата закладывается следующий принцип: «ПМ должен быть удержан без проскальзывания при максимально допустимых вырывающих усилиях, приложенных к нему».

Наихудшая ситуация возникает в случае, когда ПМ удерживается только силами трения, а нагружение на ПМ максимальное.

Максимальное нагружение можно оценить как

$$S = mg + m(\max |a_{q,1}| + \max |a_{q,2}| + \dots + \max |a_{q,n}| + a_k),$$

где m – масса ПМ; g – ускорение свободного падения; $\max |a_{q,i}|$ – максимальное ускорение i -го звена манипулятора; a_k – кориолисово ускорение ПМ, связанное с одновременным его вращением и поступательным движением.

При захватывании ПМ он может сместиться от расчетной базы на некоторую величину ΔX , зависящую от конструкции (см. рис. 10г).

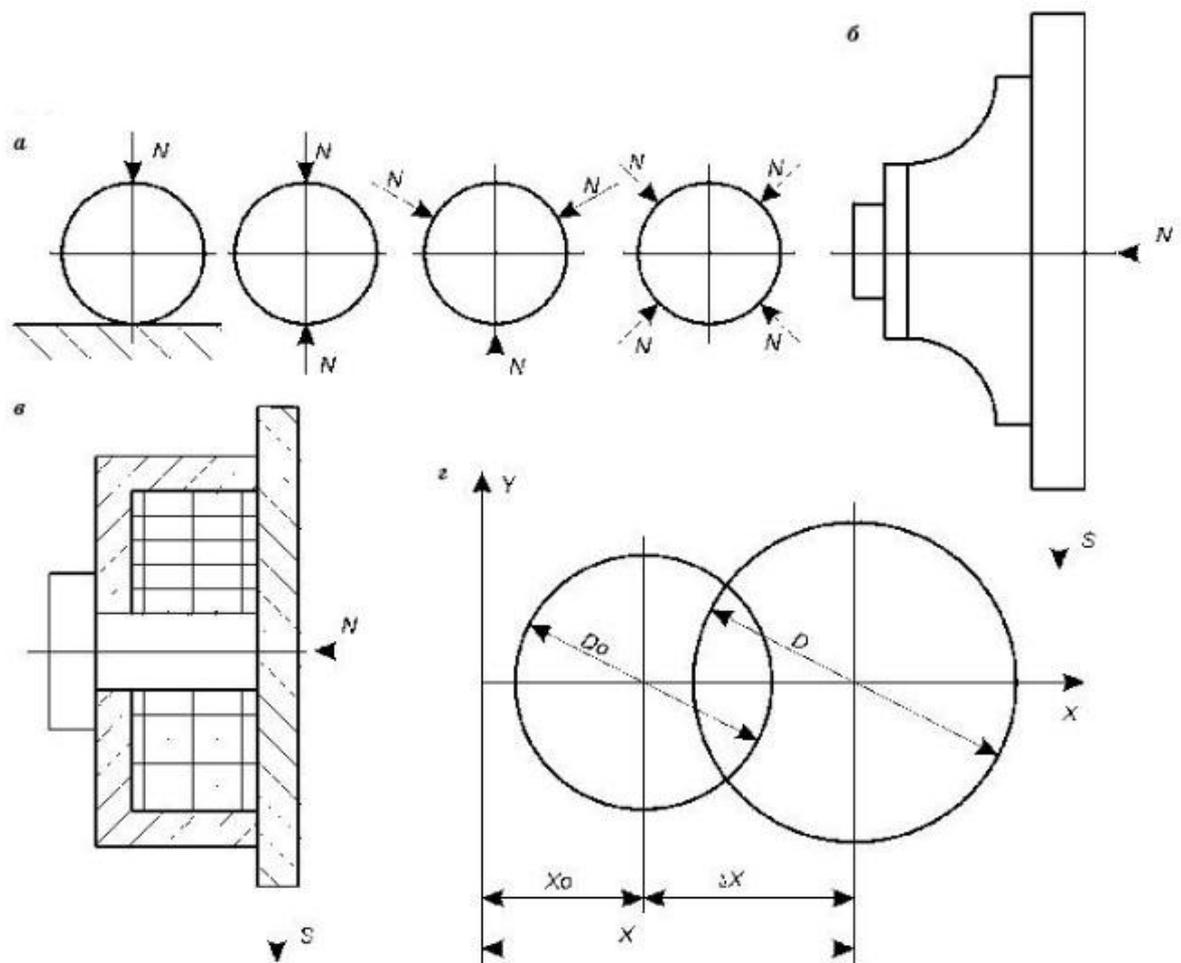


Рис. 10. Схемы удерживающих сил и смещения:

а — силы сжатия пальцевых схватов; б — силы притягивания вакуумных присосов;
 в - силы притягивания электромагнитных схватов; г — смещение центров симметрии при захватывании ПМ с разными размерами.

Далее определяются нормальные составляющие удерживающих сил (рис. 10).
 Формулы для расчета и расчетная схема для пальцев с уголковыми контактами приведены на рис. 11.

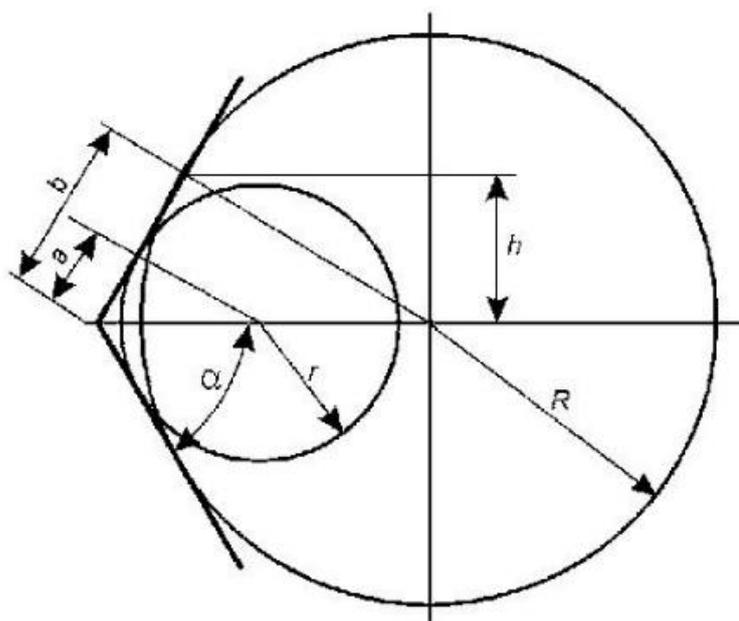


Рис. 11. Расчетная схема для уголковых контактов

Формулы для расчета уголкового контакта:

$$\left. \begin{aligned} \Delta R &= R - r; \\ a &= \frac{r}{\operatorname{tg} \alpha}; \\ b &= \frac{R}{\operatorname{tg} \alpha}; \\ h &= 2b \sin \alpha, \end{aligned} \right\}$$

где l — длина полки; R — максимальный радиус ПМ; α — угол контакта; β — максимальное расстояние до контакта; a — минимальное расстояние до контакта; i — минимальный радиус ПМ; ΔR — диапазон захватывания; h — расстояние между точками контакта губок и осью.

Следующим этапом является выбор схемы передачи усилия от двигателя к пальцам для пальцевых схватов и схемы замыкания ПМ в схвате. Кинематические схемы различных проектных решений передач показаны на рис. 12.

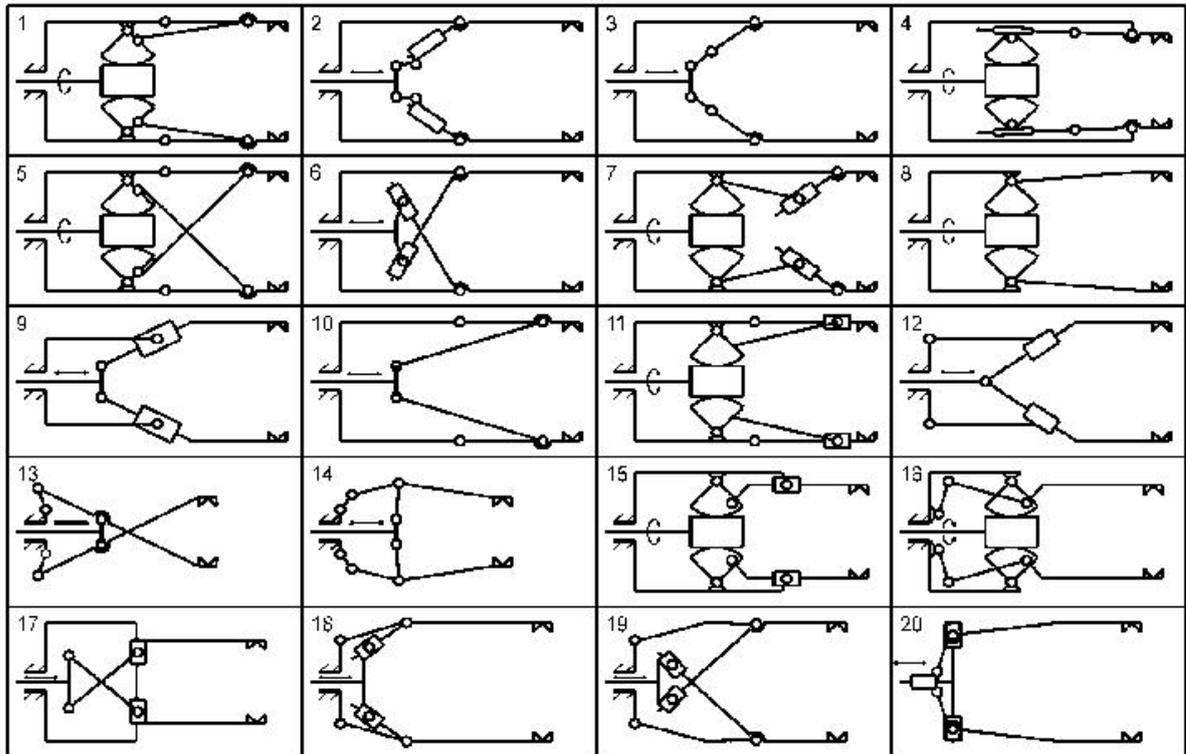


Рис. 12. Примеры кинематических схем различных проектных решений по схватам

Параметрами выбора типа кинематической схемы могут быть: количество звеньев; виды механизмов передачи движения; вид движения привода (поступательное или вращательное); наличие эффекта смещения базы и его величина Δx ; чувствительность механизма схвата:

$$F(\alpha) = \frac{[\Delta X(\alpha)^2 + \Delta Y(\alpha)^2]^{0.5}}{|\Delta q|},$$

где α - вектор геометрических параметров механизма (длины звеньев, углы между звеньями и т.п.); $\Delta X(\alpha)$ - смещение характерной точки Р, выбираемой разработчиком из условий проектирования, например, на оси симметрии ПМ, губки схвата по оси X; $\Delta Y(\alpha)$ - смещение точки Р по оси Y, БСК, связанной с корпусом схвата; Δq - смещение оси привода.

При выборе схемы важно также учитывать характер зависимости усилия сжатия от величины сжатия пальцев и плавность сведения пальцев (см. рис. 13).

При этом выбираются передаточное отношение механизма передачи движения пальцем от двигателя, требуемый ход $q_{дв}$, усилие $Q_{дв}$ и скорость движения $V_{дв}$, которые определяются из соотношений

$$Q_{дв} > \frac{kF_{\max}}{i}; q \geq L_{\max} i; V_{дв} \geq \frac{L_{\max} i}{t_{\max}},$$

где k – число пальцев; i – передаточное отношение; F_{\max} – усилие пальца максимальное; $Q_{дв}$ – усилие двигателя; $q_{дв}$ – ход двигателя; L_{\max} – ход пальцев максимальный; t_{\max} – максимальное допустимое время сведения пальцев.

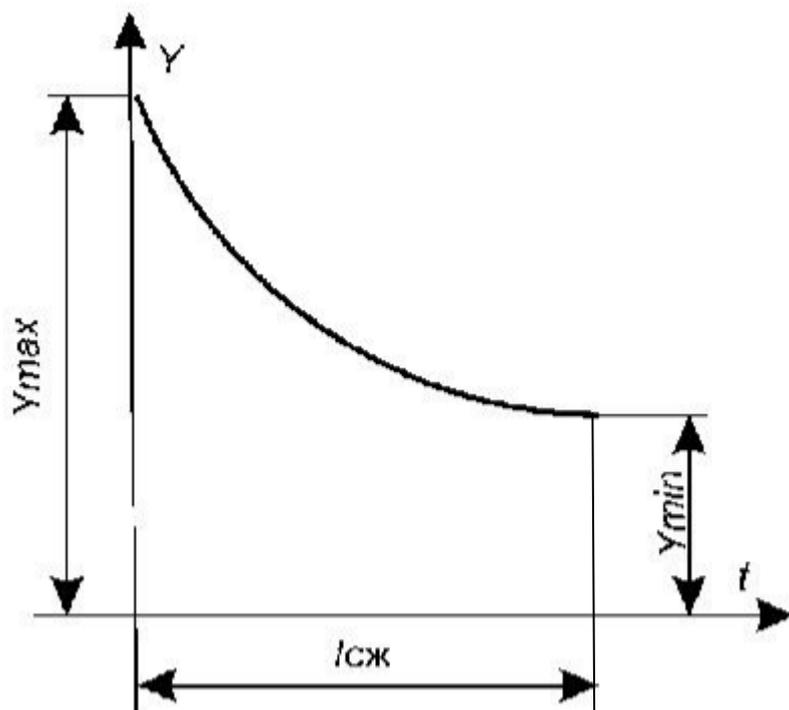


Рис. 13. Закон сведения пальцев

Передача движения может осуществляться зубчатыми колесами, передачей «колесо — рейка», передачей «винт — гайка», червячной передачей, кулачковым механизмом, рычагом, кулисным механизмом, тросовой, ременной передачей. Компонка пальцевых схватов должна обеспечивать их минимальную массу и габариты.

Кроме элементов базирования, силового или геометрического замыкания, передачи движения и корпуса схвата, могут компоноваться датчики информации, элементы переналадки схвата, элементы, предохраняющие от повреждения ПМ, устройства, охлаждающие схват при работе с горячими ПМ. Элементы, предохраняющие от повреждения поверхность изделия при его захвате, как правило, представляют собой специальные губки схвата. Для таких целей применяются порошковые наполнители, помещенные в оболочку из эластичных материалов (рис. 14а). Наполнителем может быть специальный магнитный порошок, который при отсутствии магнитного поля находится во взвешенном состоянии.

При создании магнитного поля порошок отвердевает и принимает форму охватываемого изделия. Магнитное поле может создаваться слабыми электромагнитами.

Для захвата сложных рамных изделий применяется захват с эластичной лентой (рис. 14б), которая поддерживается жестким перемещающим механизмом.

Элементами переналадки пальцевого схвата могут быть сменные контакты, пальцы, система замыкания.

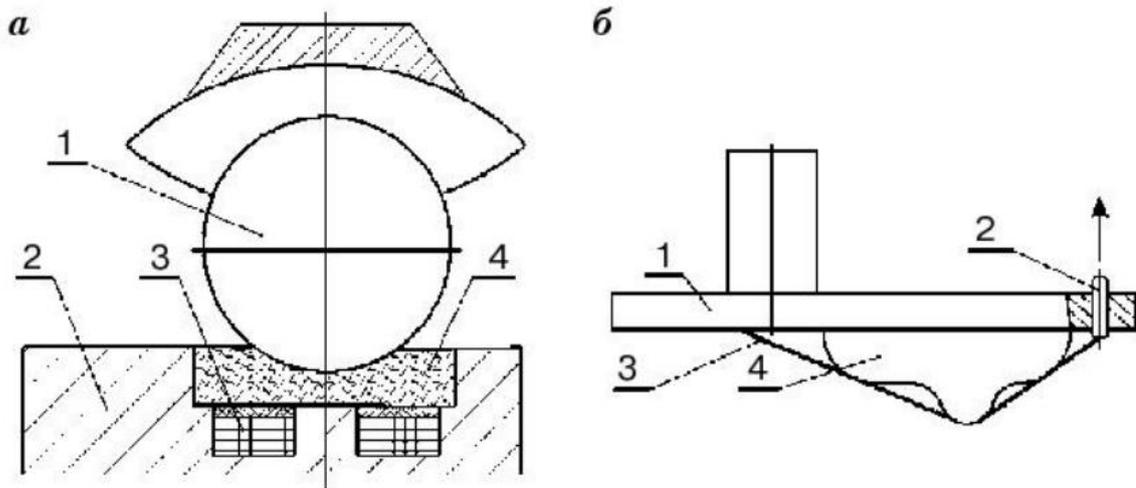


Рис. 14. Схваты:

- а — схваты с порошковыми губками: 1 — ПМ; 2 — корпус; 3 — электромагнит; 4 — ферропорошок;
 б — схваты с лентой: 1 — корпус; 2 — шток двигателя; 3 — лента; 4 — ПМ.

Устройства для охлаждения схвата применяются в случае работы с горячими изделиями. С этой целью в манипуляторе предусматривается система циркуляции охлаждающей жидкости. В губках схвата имеются специальные полости для циркуляции охлаждающей жидкости.

Вакуумные схваты применяются преимущественно при работе с листовыми изделиями. Они отличаются простотой конструкции и небольшой массой. В качестве элемента удержания изделия используется чашка-присос (рис. 15), изготовленная из резины или пластмассы. Присосы позволяют также осуществлять захват ПМ с достаточно сложной поверхностью при использовании множества присосов с малой присасывающей поверхностью. В настоящее время присосы являются самым ненадежным элементом схвата.

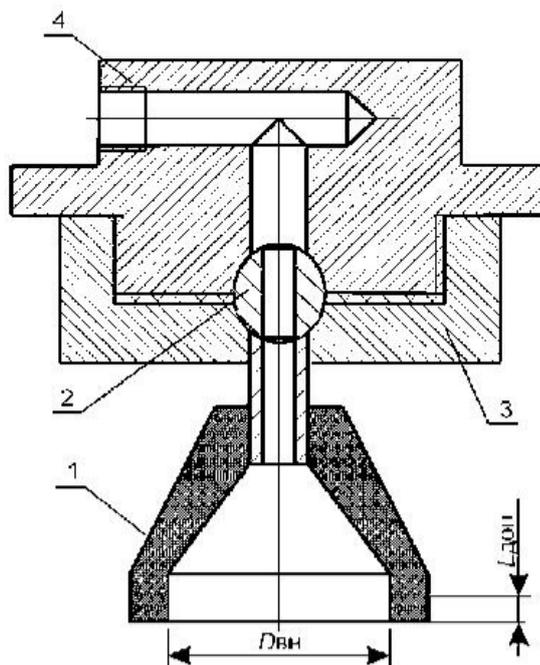


Рис. 15. Вакуумный схват:

- 1 - присос; 2 — шаровой штуцер; 3 - гайка; 4 — корпус.

В качестве базовых поверхностей в вакуумном схвате устанавливаются специальные фиксирующие устройства, так как схваты слабо удерживают ПМ при сдвигающих усилиях. Погрешность захватывания ε определяется только погрешностью позиционирования робота $\varepsilon_{\text{поз}}$ и установкой изделия на исходной позиции перед захватом $\varepsilon_{\text{уст}}$: $\varepsilon = \varepsilon_{\text{поз}} + \varepsilon_{\text{уст}}$.

Величина перемещения схвата для осуществления надежного прижатия присоса равна допустимой величине деформации присоса в направлении нормали к поверхности $L_{\text{доп}}$ (для резины может составлять 1-5 мм).

Усилие прижатия изделия к присосу вычисляется как разность давлений:

$$F = K_p(P_a - P_b)S,$$

где P_a – атмосферное давление, кг/м²; P_b – давление, создаваемое вакуумным насосом, кг/м²; S – площадь внутренней поверхности присоса, м²; K_p – коэффициент, учитывающий изменения давления и свойства присоса; $K_p=0,6-0,9$.

Для обеспечения надежного захвата ПМ больших размеров применяется несколько присосов.

В многономенклатурном производстве должна быть предусмотрена возможность смены схвата для работы с различными ПМ.

К вакуумным можно отнести и схваты, в которых для удержания изделия используется свойство газа уменьшать давление в направлении по нормали к скорости его истечения. В отличие от обычных вакуумных такие схваты не требуют высокой герметичности и могут применяться для пластинчатых ПМ, имеющих отверстия. На рис. 16 приведена конструкция подобного схвата.

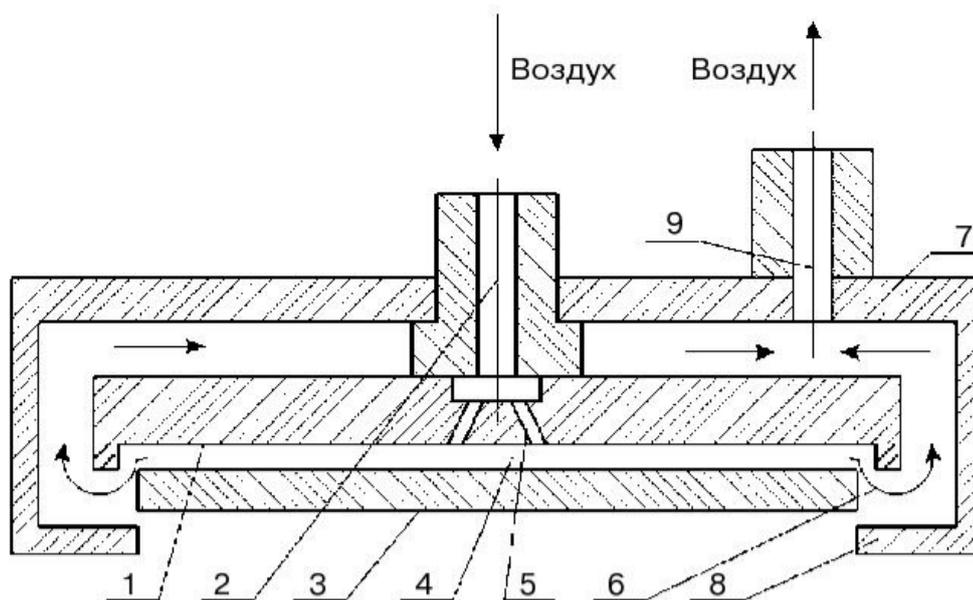


Рис. 16. Вакуумный схват истечения:

1 — плата; 2 — штуцер; 3 — ПМ; 4 — поверхность базирования ПМ; 5 — каналы; 6 — базирующие кромки; 7 — корпус; 8 — бортик; 9 — выхлопной канал.

Электромагнитные схваты работают аналогично вакуумным. В качестве элемента, выполняющего удержание ПМ, применяются различные конструкции сердечника электромагнита. Сердечник в месте захвата должен повторять поверхность ПМ. В качестве базовых поверхностей в электромагнитном схвате устанавливают специальные фиксирующие устройства для удержания ПМ от бокового смещения. Погрешность захватывания ε определяется так же, как и для вакуумных присосов.

Для надежного прижатия электромагнита к поверхности ПМ его устанавливают на специальной подпружиненной подвеске (см. рис. 17).

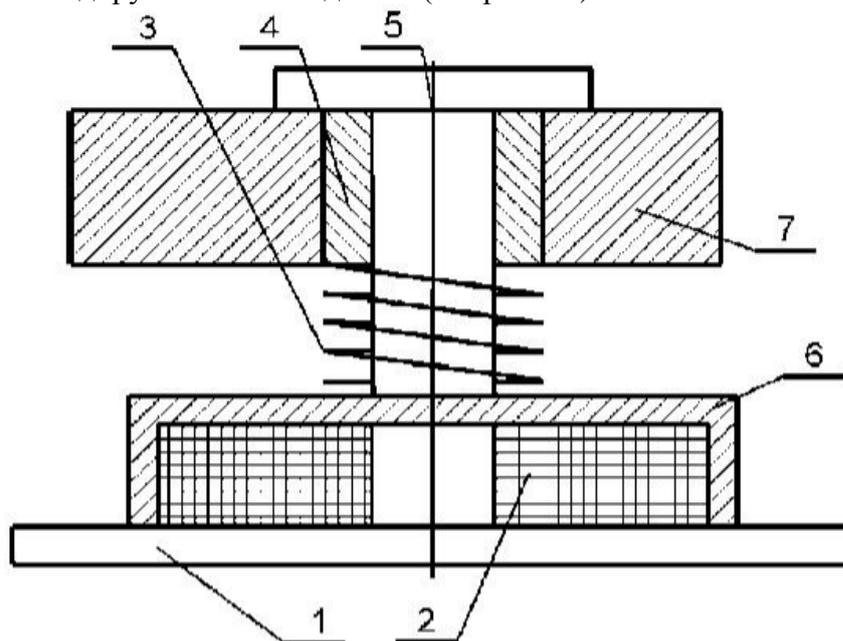


Рис. 17. Электромагнитный схват:
1 — ПМ; 2 — обмотка; 3 — пружина; 4 — втулка сердечник; 6 — ярмо; 7 — корпус.

С достаточной для инженерной практики точностью электромагнитный схват можно рассчитать по алгоритму АП 4.2.

Алгоритм АП 4.2. Расчет электромагнита схвата.

Исходные данные: m – масса ПМ, кг; $K_{тр}$ – коэффициент трения между поверхностью ПМ и торцом ярма электромагнита (ЭМ); S – максимальное нагружение, Н; δ – максимальный зазор между ПМ и торцом ярма; d – диаметр сердечника; U – напряжение питания, В; размеры площади захватывания ПМ, мм (рис. 18).

Процедура АП 4.2.

1. Рассчитать максимальную отрывающую силу: $F_T = (S + mg) / K_{тр}$.
2. Принять за тяговое усилие $F > F_T$.
3. Вычислить количество ампервитков обмотки: $Iw = (2 \cdot 10^7 F)^{0,5} \delta / \pi d$.
4. Рассчитать площадь сечения окна $D_{ок}$, мм², при допустимой плотности тока S_T , А/мм²: $S_T < 1-2$ А/мм², и коэффициенте заполнения окна обмотки проводом, $K_{зап} \geq 0,5$: $D_{ок} = Iw / S_T K_{зап}$.
5. Принимаем высоту окна h из размеров площади захватывания ПМ, мм, рассчитываем, округляя до нормального размера, ширину окна c , мм: $c = D_{ок} / h$.
6. Принимаем толщину гильзы катушки $h_1 = 0,2-1,5$ мм с учетом материала и технологии.
7. Рассчитываем длину средней линии обмотки L_{cp} , мм: $L_{cp} = (d + 2h_1 + h)\pi$.
8. Рассчитываем диаметр провода обмотки при его удельном сопротивлении ρ , Ом/м·мм², $d_{пр} = 0,365(D_{ок} K_{зап} U / \pi^2 L_{cp} Iw \rho)^{0,25}$ и принимаем ближайший стандартный диаметр.
9. Рассчитываем число витков $w = 4D_{ок} K_{зап} / \pi d_{пр}^2$, округляем до целых.

10. Рассчитываем рабочий ток I , А, рабочую мощность обмотки $W_{\text{раб}}$, Вт, фактическую плотность тока $S_{\text{т.ф}}$, А/мм²: $I = I_w$; $W_{\text{раб}} = IU$; $S_{\text{т.ф}} = 4I / \pi d_{\text{пр}}^2$. Если $S_{\text{т.ф}} < 1$, то переходим к п.11, в ином случае возвращаемся к п.5 и увеличиваем размер s .

Вопросы для самоконтроля

1. Сколько классов захватных устройств существует в робототехнике?
2. Какие функциональные элементы имеет схват?
3. Дайте классификацию устройств захватных?
4. Назовите основные этапы проектирования захватного устройства.
5. Какие способы схватывания существуют при силовом замыкании?
6. Приведите примеры устройств для схватывания и удержания предметов.
7. Приведите примеры способов базирования и замыкания в схвате.
8. Приведите примеры устранения неопределенностей при базировании.
9. Приведите расчетную схему для уголкового контакта.
10. Приведите пример кинематической схемы проектного решения по схватам.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ МЕХАТРОННЫХ МАШИН

4.1. Цель и задачи

Цель – изучение методик и алгоритмов проектирования кинематических моделей механизмов электромехатронных систем движения.

Задачи:

- 1) рассмотрение последовательности принятия проектных решений при проектировании механизмов;
- 2) выбор исходных данных для моделирования кинематической схемы механизма.

4.2. Задание

По выданному преподавателем техническому заданию разработать механизм электромехатронной системы движения с 1, 2, 3 и 4 степенями свободы. Разработать необходимые исходные данные. Подготовить 3D модель кинематической модели механизма. Обосновать выбор той или иной схемы.

4.3. Методические указания

4.3.1. Последовательность принятия проектных решений при проектировании механизмов

Алгоритм АП 5.1. Разработка механизма мехатронной машины.

Исходные данные: ТЗ, концептуальная модель, данные о нагрузке, требования к законам движения.

Процедура АП 5.1.

1. Анализ ТЗ и вариантов проекта, принятых на этапе ОПР.
2. Разработка исходных данных для проектирования.
3. Разработка кинематической модели механизма.
4. Разработка механической модели механизма.
5. Моделирование механизма.
6. Подготовка и выпуск проектной документации по стадиям проектирования.

Рассмотрим подробнее содержание позиции АП 5.1.1 — анализ ТЗ и вариантов проекта, принятых на этапе ОПР. Анализ ТЗ проводят на:

- соответствие нормативным документам на момент проектирования;
- соответствие результатам, достигнутым мировой наукой и техникой, отечественным достижениям и достижениям Разработчика;
- отсутствие противоречий в концептуальной модели и исходных данных.

4.3.2. Разработка исходных данных для проектирования механизмов

Разработка исходных данных для анализа и синтеза кинематических моделей механизмов (КММ). Если исходные данные полностью приведены в ТЗ или при разработке или выборе РО, то их подготовка не требуется. Но чаще всего технические требования ТЗ содержат только информацию о той поверхности, по которой должен перемещаться рабочий орган, например, о форме поверхностей обрабатываемых деталей. Такую поверхность можно рассматривать как траекторию движения некоторой заранее выбранной характеристической рабочей точки, ХРТ, рабочего органа. Рассмотрим метод построения такой траектории как математической модели.

Параметрическое задание траектории. Поверхность второго порядка описывается уравнением

$$H(X, Y, Z) = a_{11}X^2 + a_{22}Y^2 + a_{33}Z^2 + 2a_{12}XY + 2a_{13}XZ + 2a_{23}YZ + 2a_{14}X + 2a_{24}Y + 2a_{34}Z + a_{44}, \quad (1)$$

где X, Y, Z — координаты точек, принадлежащих поверхности $H(X, Y, Z)$, определенные в инерциальной системе координат $\{X, Y, Z\}$, которую будем называть базовой системой координат (БСК).

Если пересечь эту поверхность любой плоскостью, то можно выделить траекторию, принадлежащую этой поверхности. Пусть эта плоскость задана уравнением $Z=t$, где t — значение некоторого параметра из множества допустимых значений. Выбор именно этой плоскости определяется только традициями, системами координат, правилами программирования УЧПУ и т. п., но в общем может быть произвольным. Значение параметра допустимо, если при этом значении t поверхность и плоскость пересекаются, т. е. существует решение системы:

$$\left. \begin{aligned} H(X, Y, Z) &= 0; \\ Z - t &= 0. \end{aligned} \right\}$$

В плоскости $Z = t$ любая точка траектории может быть задана радиус-вектором $\mathbf{A}(t)$ и углом $\Psi(t)$, причем всегда может быть установлена технологически обусловленная связь между параметром t и углом Ψ (например, через технологический параметр «подача, p », $\Psi(t) = t / p$ и т. п.). Будем считать, что определен угол $\Psi(t)$. Обозначим норму вектора \mathbf{A} $A(t) = \|\mathbf{A}(t)\|$. Тогда можно записать скалярную форму рассмотренной выше системы:

$$\left. \begin{aligned} X(t) &= A(t)\cos[\Psi(t)]; \\ Y(t) &= A(t)\sin[\Psi(t)]; \\ Z(t) &= t. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), получим параметрическую форму записи уравнения поверхности общего вида

$$\begin{aligned} &A(t)^2[a_{11}\cos(\Psi(t))^2 + a_{22}\sin(\Psi(t))^2 + 2a_{12}\cos(\Psi(t))\sin(\Psi(t))] + \\ &+ 2A(t)[a_{13}\cos(\Psi(t))t + a_{23}\sin(\Psi(t))t + a_{14}\cos(\Psi(t)) + \\ &+ a_{24}\sin(\Psi(t))] + a_{33}t^2 + 2a_{34}t + a_{44} = 0. \end{aligned}$$

Обозначив

$$\begin{aligned} A_1(t) &= a_{11}\cos(\Psi(t))^2 + a_{22}\sin(\Psi(t))^2 + 2a_{12}\cos(\Psi(t))\sin(\Psi(t)), \\ A_2(t) &= a_{13}\cos(\Psi(t))t + a_{23}\sin(\Psi(t))t + a_{14}\cos(\Psi(t)) + a_{24}\sin(\Psi(t)), \\ A_3(t) &= a_{33}t^2 + 2a_{34}t + a_{44}, \end{aligned}$$

получим уравнение $A(t)^2 A_1(t) + 2A(t)A_2(t) + A_3(t) = 0$, решение которого относительно $A(t)$ примет вид

$$A(t) = \left\{ \frac{-A_2(t) \pm (A_2(t)^2 - A_1(t)A_3(t))^{0,5}}{A_1(t)} \right\}. \quad (3)$$

4.3.3. Разработка кинематической модели механизма

Кинематическую модель (КМ) механизма проектируют с целью:

- выбора количества и типов кинематических пар механизма;
- определения длин звеньев;
- определения необходимых линейных и угловых перемещений в кинематических парах;
- оптимизации геометрических характеристик КМ;
- определения рабочих пространств механизма;

- получения всех кинематических характеристик КМ (линейные скорости и ускорения требуемых точек механизма, угловые скорости и ускорения звеньев, скорости и ускорения обобщенных координат);

- построения анимационных моделей механизма;

- формирования законов программного кинематического управления механизмом.

Разработка кинематической модели механизма включает в себя:

- разработку схемы кинематической ВМЗ по ГОСТ 2.703-68;

- формирование уравнений кинематики проектируемого механизма.

Кинематические модели одноподвижных механизмов. Схемы кинематические строятся из условных графических обозначений (УГО), установленных нормативной документацией. Пример схемы кинематической ВМЗ приведен на рис. 18.

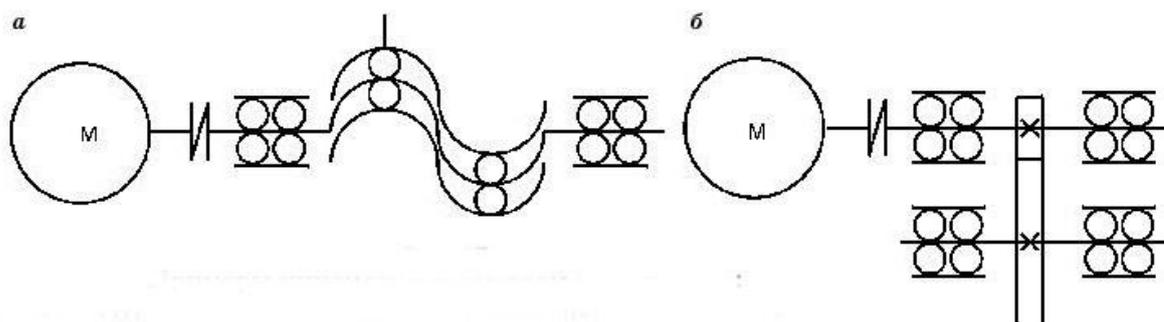


Рис. 18. Примеры кинематических схем механизмов:

а — типа П (поступательного движения); б — типа В* (вращательного движения без изменения формы механизма).

Кинематические схемы даже одноподвижных механизмов могут быть достаточно сложными, но имеют в основном только информативный характер (задача этих схем — показать, как устроен механизм).

Уравнения кинематики устанавливают связь между входными и выходными координатами и их производными. Например, аналитическая кинематическая модель одноподвижного механизма (рис. 18), состоящего из двигателя вращения, муфты, шариковинтовой передачи и каретки линейного перемещения, может быть изображена в виде

$$X(t) = i\alpha(t); \quad v(t) = dX(t)/dt = i\omega(t) = id\alpha(t)/dt; \quad a(t) = i\varepsilon(t) = id\omega(t)/dt,$$

где $X(t)$ — перемещение каретки; $\alpha(t)$ — угол поворота двигателя; i — кинематическое передаточное отношение; $v(t)$ — скорость поступательного движения; $\omega(t)$ — частота вращения (угловая скорость); $a(t)$ — ускорение поступательного движения; $\varepsilon(t)$ — ускорение вращения (угловое ускорение).

Вопросы для самоконтроля знаний

1. Какие исходные данные нужны для проектирования механизма?
2. В чем заключается технический анализ при проектировании механизма?
3. Каким уравнением описывается поверхность второго порядка?
4. Как определить порядок поверхности?
5. Что такое – параметрическое задание траектории?
6. Назовите последовательность принятия проектных решений при проектировании механизмов.
7. Для чего проектируют кинематическую модель механизма?
8. Что включает в себя разработка кинематической модели механизма?

9. Какие инструментальные средства существуют для автоматизации процесса проектирования механизмов?
10. Приведите примеры кинематических схем механизмов.

Литература

1. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: Учебное пособие.— СПб.: Издательство «Лань», 2012. — 608 с.
2. Осипов О.Ю. Мультикоординатные электромехатронные системы движения: моногр. / О.Ю. Осипов, Ю.М. Осипов, С.В. Щербинин. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2010. – 320 с.
3. Щербинин С.В. Компьютерная графика в примерах и задачах горного и машиностроительного производства / А. Б. Ефременков, С. В. Щербинин. – Томск: ТПУ, 2009. – 192 с.

МЕТОДЫ И ТЕОРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ

Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине «**Методы и теория оптимизации**» для магистрантов 6 курса, обучающихся по направлению 221000.68 "Мехатроника и робототехника" по магистерской программе "Проектирование и исследование мультикоординатных электромехатронных систем движения"

Составитель Щербинин Сергей Васильевич

Подписано к печати
Формат 60x84/16. Бумага офсетная
Печать RISO. Усл.печ.л. Уч.-изд.л.
Тираж 50 экз. Заказ . Бесплатно