

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ
КАФЕДРА ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

учебной дисциплины по выбору вуза цикла профессиональной подготовки

«СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН»

для студентов направления подготовки
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
профиль «Гидравлические машины, гидроприводы и
гидропневмоавтоматика»

Рассмотрено
на заседании кафедры
«Энергомеханические системы»
Протокол № 6 от 16.02.2017 г.

Донецк, 2017

САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

1 Сущность процесса проектирования

Сущность процесса проектирования **конструкций и технологических процессов** производства заключается в разработке **новых средств**, которые должны с **минимальными затратами и максимальной эффективностью** выполнять предписанные им функции в требуемых условиях

Проектирование любого технологического объекта — **создание, преобразование и представление** в принятой форме образа этого еще не существующего объекта. В любом случае инженерное проектирование начинается при наличии выраженной потребности общества в некоторых технических объектах, которыми могут быть объекты производства, промышленные изделия или процессы. Проектирование включает в себя разработку **технического предложения** и (или) **технического задания (ТЗ)**, отражающих эти потребности, и реализацию ТЗ в виде проектной документации.

Обычно ТЗ представляют в виде некоторых документов, и оно является исходным (первичным) описанием объекта. Результатом проектирования, как правило, служит **полный комплект документации**, содержащий достаточные сведения для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть проект, т.е. окончательное описание объекта. Следовательно, **проектирование — процесс**, заключающийся в **получении и преобразовании** исходного описания объекта в **окончательное описание** на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского характеров.

Проектирование сложных объектов основано на применении идей и принципов, изложенных в ряде теорий и подходов. Наиболее общим подходом является **системный подход**, идеями которого пронизаны различные методики проектирования сложных систем. В результате проектирования создаются новые, более совершенные объекты, отличающиеся от своих аналогов и прототипов более **высокой эффективностью** за счет использования новых физических явлений и принципов функционирования, более **совершенной элементной базы**

и структуры, улучшенных конструкций и прогрессивных технологических процессов.

По степени новизны различают следующие задачи проектирования:

- **частичная модернизация существующего объекта** (изменение его параметров, структуры и конструкции), обеспечивающая сравнительно небольшое (несколько десятков процентов) улучшение одного или нескольких показателей качества для оптимального решения тех же или новых задач;
- **существенная модернизация**, которая предполагает значительное улучшение (в несколько раз) показателей качества;
- **создание новых объектов**, основанных на новых принципах действия, конструирования и производства для резкого увеличения (на несколько порядков) показателей качества при решении тех же или существенно новых задач.

С точки зрения последовательности выполнения различают основные стадии проектирования:

- ▶ **предварительное проектирование, результатом которого являются технические предложения (аван-проект).** Эта стадия в наибольшей степени насыщена элементами научного поиска, теоретическими расчетами, экспериментальными исследованиями. Они завершаются обычно созданием лабораторных макетов;
- ▶ **эскизное проектирование**, результатом которого является эскизный проект. Поиск эффективных конструкторских решений. Эта стадия связана с большим объемом теоретических изысканий, сложных расчетов и заканчивается созданием экспериментального образца проектируемого изделия и его тщательными экспериментальными исследованиями;
- ▶ **техническое проектирование**, при котором выполняется тщательная проработка всех **схемных, конструкторских и технологических решений.** Создается техническая документация на разрабатываемую аппаратуру и процессы ее производства. Итогом являются **технический проект**, содержащий необходимую документацию, и **опытный образец изделий**,

прошедший всесторонние испытания в реальных условиях эксплуатации.

Создание технической документации, на основе которой происходит в дальнейшем единичное, серийное или массовое производство — это особенно трудоемкий процесс.

С точки зрения содержания решаемых задач выделяют следующие этапы:

- **структурное проектирование**, при котором выбираются и формулируются цели проектирования, обосновываются исходные данные и определяются принципы построения системы, формируется структура проектируемого объекта, его составных частей. В результате формируются и формулируются **частные технические задания** на проектирование отдельных составных частей объекта;
- **функциональное проектирование**, имеет целью аппаратную реализацию составных частей системы (комплексов, устройств, узлов). При этом выбирают элементную базу, принципиальные схемы и оптимизируют параметры (осуществляют структурный и параметрический синтез схем) с точки зрения обеспечения наилучшего функционирования и эффективного производства.
- **конструирование**, называемое также техническим проектированием, решает задачи компоновки схем и размещения элементов и узлов, соединений узлов, также задачи теплоотвода, защиты от внешних воздействий и т. п. При этом стремятся оптимизировать принимаемые решения по конструктивно-технологическим, экономическим и эксплуатационным показателям. На этом этапе проектирования разрабатывают техническую документацию, необходимую для изготовления и эксплуатации гидро- пневмосистемы.
- **технологическая подготовка производства** обеспечивает разработку технологических процессов изготовления отдельных блоков и всей системы в целом. На этом этапе проектирования создается технологическая документация на основе предшествующих результатов.

Этапы проектирования состоят из отдельных проектных процедур, которые заканчиваются частным проектным решением. Типичными для проектирования ГПС процедурами являются **анализ** и **синтез** описаний различных уровней и

аспектов.

Процедура **анализа** состоит в определении свойств заданного (или выбранного) описания. Примерами такой процедуры могут служить расчет переходных процессов в гидросистеме, определение реакции системы на заданное воздействие. Анализ позволяет оценить степень удовлетворения проектного решения заданным требованиям и его пригодность.

Процедура **синтеза** заключается в создании проектного решения (описания) по заданным требованиям, свойствам и ограничениям. При этом в процессе синтеза может создаваться структура схемы (структурный синтез) либо определяться параметры элементов заданной схемы, обеспечивающие требуемые характеристики (параметрический синтез).

Процедуры анализа и синтеза в процессе проектирования тесно связаны между собой, поскольку обе они направлены на создание приемлемого или оптимального проектного решения. Важной проектной процедурой является **оптимизация**, которая приводит к оптимальному (по определенному критерию) проектному решению.

Процедура оптимизации состоит в многократном анализе при целевом изменении параметров схемы до удовлетворительного приближения к заданным характеристикам. Оптимизация обеспечивает создание (синтез) проектного решения, но включает поэтапную оценку характеристик (анализ).

2 Этапы жизненного цикла промышленных изделий

Жизненный цикл промышленных изделий включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до утилизации по окончании срока его использования.

К ним относятся этапы

- ▶ проектирования,
- ▶ технологической подготовки производства (ТПП),
- ▶ собственно производства,
- ▶ реализации продукции,
- ▶ эксплуатации,

- ▶ утилизации.

На всех этапах жизненного цикла изделий имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с **максимальной эффективностью**.

На этапах проектирования, ТПП и производства нужно обеспечить выполнение ТЗ при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат. Понятие эффективности включает в себя не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий. Особую важность требования удобства эксплуатации имеют для сложной техники, например, в авиа- или автомобилестроении.

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные промышленные изделия, оказывается невозможным без широкого использования *автоматизированных систем*, основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов.

3 Моделирование гидропневмосистем

Для проведения задач анализа применяют математические модели и языки моделирования (имитационное моделирование), позволяющие проводить анализ объекта в динамике (VHDL и VERILOG).

Моделирование - это работа по прогнозированию характеристик жизненного цикла гидропневмосистемы до её производства. Характеристики системы включают затраты на её разработку, эксплуатацию, расходные материалы (топливо), продолжительность жизни, ударопрочность, прочность, безопасность, шум, надежность, комфортность, простоту изготовления и обслуживания, затраты на гарантийный ремонт, время выведения на рынок, прибыльность и многое другое. Моделирование выполняется при помощи программного обеспечения, способного прогнозировать все эти характеристики

жизненного цикла гидравлических и пневматических систем. Моделирование выполняется для прогнозирования будущего, а особенности изделия систематически варьируются с целью улучшения характеристик на раннем этапе разработки, при этом решения о технологическом и материальном оснащении принимаются заранее. Моделирование помогает проектировщикам понять, какие компромиссы и решения в области проекта они должны сделать для оптимизации продукции. Моделирование сокращает и заменяет дорогостоящий длительный процесс создания физических прототипов и их тестирования.

3.1 Моделирование на этапах жизненного цикла изделия

Моделирование может использоваться для сокращения времени на каждом этапе жизненного цикла промышленных изделий и для создания правильного проекта изделия - такого, который было бы легко воплотить в производство, легко продавать и обслуживать – в самом начале процесса, до планирования основных затрат (оборудование и материалы).

Значение моделирования на этапе Концептуального Проектирования.

На этапе разработки концепции, основное решение на высшем уровне принимается исходя из рыночных потребностей в данном изделии, требований функциональности продукта и нужд бизнеса. Моделирование на этом этапе позволяет разработчикам концепции проверить ее, чтобы убедиться, что продукт можно изготовить в соответствии с заданными требованиями и потребительскими свойствами. Моделирование облегчает первоначальную оценку различных концепций проекта, предоставляя возможность удовлетворения всех требований к функциональности в установленных рамках времени и затрат средств на выполнение работ по данному проекту.

Значение моделирования на этапе Детального Проектирования.

На этом этапе проект в целом уже определен, включая его отдельные узлы и компоненты с заданными потребительскими свойствами. Определены геометрия, материалы и стадии производственного процесса. Моделирование на этом этапе позволяет удостовериться, что данный проект реален, его можно будет выполнить и поставить на рельсы серийного производства. Весь проект может быть

сmodelирован, от системы в целом до каждого отдельного компонента. На этом этапе моделирование выполняется инженерами-разработчиками и инженерами-технологами, планирующими производство.

Значение моделирования на этапе Испытаний.

Это один из важных этапов в жизни проекта, т.к. он определяет дальнейшую судьбу изделия. Этап испытаний начинается тогда, когда доступен образец. Большинство компаний создают несколько натуральных прототипов и подвергают их тщательному тестированию. Если экспериментальные образцы не проходят испытаний, проект изменяется и образец проходит новые испытания, до тех пор, пока не будет получен положительный результат. Такой цикл создания, испытания и устранения дефектов требует значительных временных, производственных и финансовых затрат. Моделирование может использоваться на этой стадии для уменьшения числа прототипов и физических циклов восстановления и повторного испытания, путем моделирование тестируемого образца на компьютере. Если тестируемый образец не проходит модельных испытаний, повторное изменение проекта очень недорого. Используя компьютерное моделирование на данном этапе удастся сократить затраты на разработку прототипов более чем на 50%, а это значительная экономия времени и средств. Кроме этого, моделирование может быть использовано для сокращения времени и объема испытаний натурального образца. Например, при помощи моделирования можно «пробежаться» по образцу, сообщив «данные», которые бы измерялись при физическом испытании. Это позволяет инженерам, производящим испытание, заранее и более качественно определять критерии измерений и нагрузки/динамического нагружения, экономя время и исключая «работу вслепую» как часто бывает при лабораторных исследованиях.

Значение моделирования на этапе Производства.

Всем понятно, что на этом этапе продукция изготавливается. В данном случае моделирование используется для оптимизации процессов производства с целью минимизации отходов и этапов обработки. Моделирование улучшает процедуру изготовления продукта и снижает затраты на гарантийный ремонт, выявляя и исключая те параметры проекта, которые могут вызвать дефекты во

время процесса производства. Более того, некоторые из новых производственных процессов, такие как гидроформование и суперпластическое формование, требуют моделирования для идентификации параметров производственного процесса, таких как температура, давление и скорость.

Значение моделирования на этапе Маркетинга/Продаж.

Моделирование может использоваться не только для разработки и производства технического изделия. Оно также может применяться для маркетинга и продаж продукции. Моделирование можно использовать в коммерческих предложениях, чтобы показать, как продукт будет выглядеть в конкретных условиях и какими интересными свойствами он может быть интересен покупателю. Результаты моделирования могут использоваться в рекламе для придания продукту образа «высокотехнологичного». Продажи увеличатся благодаря тому, что моделирование улучшает дизайн, а также саму продукцию, т.е. ее потребительские свойства.

Значение моделирования на этапе Поддержки и Сопровождения.

В дальнейшем, после реализации, продукция будет нуждаться в поддержке, техническом обслуживании, капитальном и текущем ремонте. Моделирование может использоваться на этом этапе для проведения ремонта и для модификаций изделия, обеспечивая корректировку проблемы, при этом одновременно сохраняя функциональность первоначального дизайна и набор полезных свойств. Задачи этого этапа очень четко просматриваются в аэрокосмической промышленности, где моделирование применяется для продления ресурса жизненного цикла изделий.

Значение моделирования на этапе Утилизации.

Это последний и тоже достаточно важный этап жизненного цикла изделий и технологий, особенно актуальный в настоящее время. Когда срок полезного использования изделия закончен, оно утилизируется или перерабатывается. Моделирование здесь применяется для выбора таких производственных процессов и упаковочных материалов, при которых возможна экономичная переработка изделия, включая различные типы материалов, которые были использованы для его изготовления. Во многих отраслях промышленности число

«контактирующих частей» во время производства на порядок превышает число фактических частей в продукте. Применение моделирования позволяет спланировать их повторное использование или эффективную утилизацию еще на этапе эскизного проектирования самого изделия, значительно задолго до начала его эксплуатации.

3.2 Системы поддержки принятия решений

Математическое моделирование объектов применяется, как правило, для расчета и выбора оптимальных параметров объекта или системы, при условии, что построение математической модели возможно, и для условий статистики. Если построение математической модели невозможно, то применяют статистические методы и методы нейро-сетевого подхода. Также для проведения задачи анализа в настоящее время получили широкое распространение **СППР** (***Системы Поддержки Принятия Решений***), **СПР** и экспертные системы, которые строятся на принципах искусственного интеллекта, в основе лежит продукционный подход, **семантические сети** и **фреймы**, и языки искусственного интеллекта (Prolog и Lisp).

Фреймы – совокупности взаимосвязанных данных, позволяющих точно определить характер объекта.

СППР и экспертные системы могут включать в себя одновременно весь спектр вышеуказанных моделей и средств.

Существует множество определений **СППР**, отражающих точки зрения представителей различных дисциплин и научных школ. Так **СППР** может определяться, как "основанная на использовании моделей совокупность процедур по обработке данных и суждений, помогающих руководителю в принятии решений".

В некоторых случаях предлагается рассматривать **СППР** в качестве "интерактивных автоматизированных систем, которые помогают лицам, принимающим решения, использовать данные и модели, чтобы решать неструктуризованные проблемы". **СППР** может выглядеть как "компьютерная информационная система, используемая для поддержки различных видов

деятельности при принятии решений в ситуациях, где невозможно или нежелательно иметь автоматическую систему, которая полностью выполняет весь процесс решения". Большинство исследователей согласны, что **СППР** предназначены для решения слабоструктуризованных проблем.

В процессе принятия решений возникла необходимость в субъективных, экспертных моделях, которые могут быть крайне полезны для **ЛПР** (*лицо принимающее решение*). Возникла также необходимость в учете знаний многих экспертов, в анализе принятых ранее решений. В структуре **СППР** появился блок "*база знаний*" (**БЗ**), и такие системы получили название "*интеллектуальных*".

Развитие технических программных средств, позволяющих "индустриализировать" технологию создания новых систем, привело к формированию еще одной точки зрения на **СППР**, которая получила название "*адаптивного проектирования*". Сторонники этого подхода считают, что термин **СППР** имеет право на существование только в тех случаях, когда "конечная система" возникает в ходе адаптивного процесса проектирования и внедрения.

3.3 Процесс принятия решений

ТПР, а следовательно, и **СППР** подразумевает под собой использование процесса, представленного на рис. 3.1.

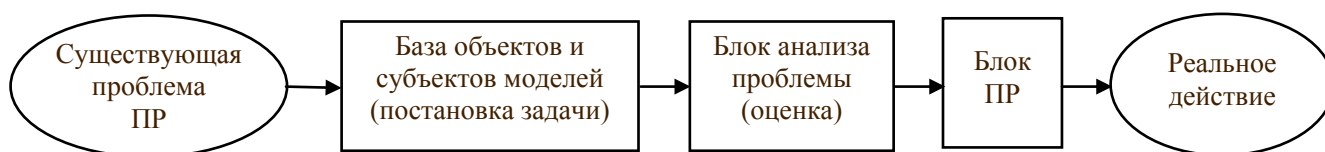


Рис. 3.1. Процесс принятия решения

Начинаем с некоей существующей проблемы решения, с которой столкнулся человек, которому необходимо принять это решение. Внимание направлено на то, чтобы применить последовательность видимых шагов для внесения ясности, применительно к ситуации, когда человек, которому необходимо принять решение, смог предпринять рекомендованные действия.

Первый шаг (постановка задачи) – формальная модель той реальной ситуации, с которой столкнется ЛПР. Назовем это формальное представление проблемы *"базой объективных и субъективных моделей"*. В основе решения лежит процесс, направленный на выделение альтернативных подходов к решению проблемы, которые логически согласуются с *базой знаний (БЗ)* и отсюда рекомендуются для дальнейшего анализа. Затем предстоит усовершенствовать оценку анализов с тем, чтобы достичь интуиции, почему предложенный альтернативный подход не только является логически правильным, но и выглядит убедительным, что человек будет действовать в полном соответствии с ним. Оценка может содержать некоторые варианты анализов с тем, что оценка действительно соответствует содержанию проблемы. В какой-то момент, оценка покажет, что предложенный альтернативный подход настолько верен, что для ЛПР нет смысла продолжать анализ.

Целью процесса является синтез основы решения. Рисунок 3.2 более детально демонстрирует роль *"базы объективных и субъективных моделей"*. Основа включает в себя три части: **альтернативный подход**, который выбрал ЛПР, **доступная информация** и **предпочтения**, отдаваемые ЛПР.

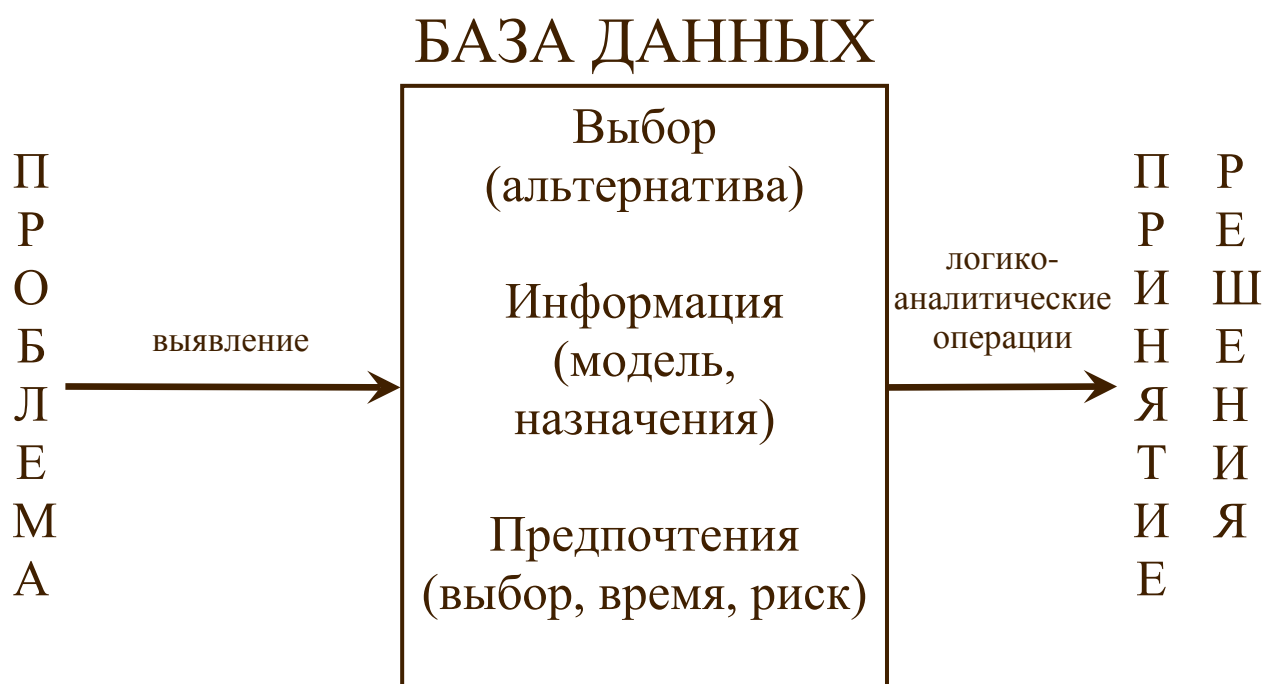


Рис. 3.2. Схема выявления и оценки БД

3.4 Концептуальные модели

Анализ существующих точек зрения на специфические отличия **СППР** от других типов автоматизированных систем в системах проектирования позволяет выделить в качестве оснований классификации **СППР** следующие наиболее существенные признаки:

- концептуальные модели;
- решаемые задачи;
- обеспечивающие средства;
- области применения.

В рамках информационного подхода **СППР** в промышленных **САПР** и **САИТ** относят к классу автоматизированных информационных систем, основное назначение которых – улучшить деятельность работников умственного труда в организациях путем применения информационной технологии.

3.5 Концептуальная модель СППР (информационный подход)

Важной особенностью **СППР** в промышленных **САПР** и **САИТ** является их способность формировать модели для принятия решений. Предполагается, что в **БМ** следует встраивать не локальные модели, а модели, объединенные с **БД** (рис. 3,3). Процедуры моделирования должны обеспечивать гибкость построения

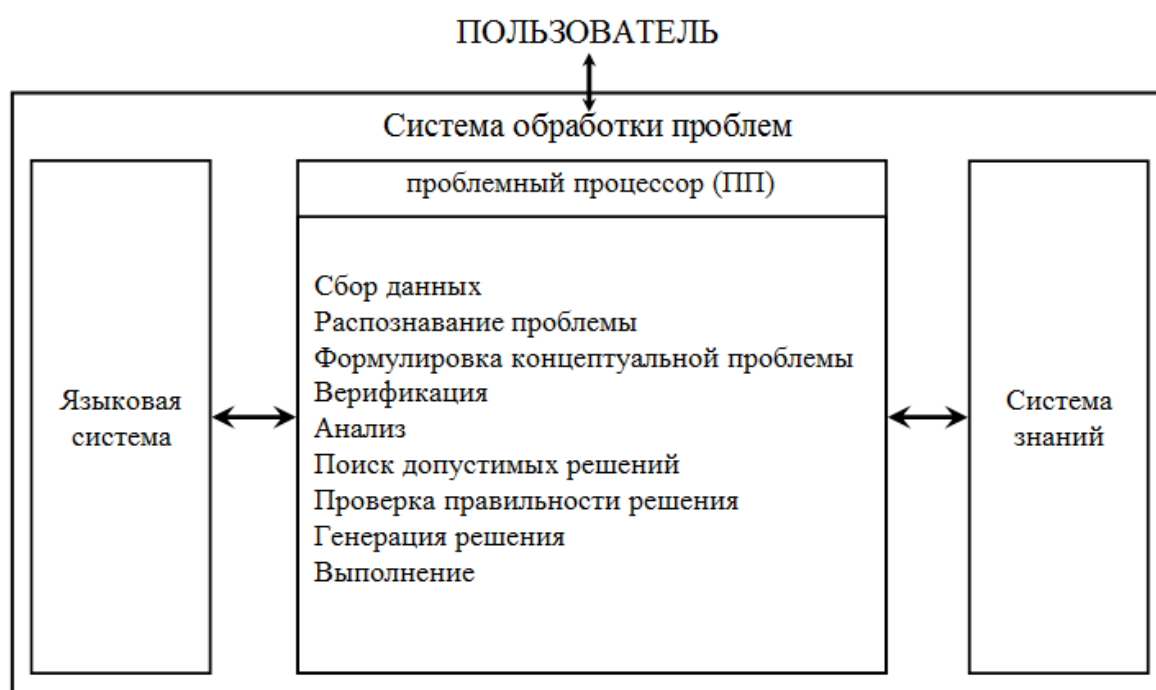


Рис. 3.3. Концептуальная модель СППР

моделей и легкость управления ими, а система управления – возможность обслуживать широкий спектр моделей, быстро и легко создавать новые модели, управлять БД с помощью функций управления.

Отличительной особенностью **СППР** в промышленных **САПР** и **САИТ**, которые основаны на знаниях, является, по мнению их создателей, явное выделение отсутствовавшего ранее аспекта поддержки решений: способности к "пониманию" проблемы, извлечь информацию и подготовить ответ. Степень участия программных средств человеко-машинной системы в этом процессе предлагается рассматривать в качестве грубой меры **ИИ СППР**.

3.6 Инструментальный подход СППР (подход, основанный на знаниях)

Возросшее внимание к методам разработки и внедрения **СППР** в промышленных **САПР** и **САИТ** обусловило появление инструментального подхода в концептуальных моделях **СППР**.

Можно выделить три условия систем:

- **Специализированные САПР** (работают конечные пользователи; поддержка решения отдельных прикладных программ (задач) в конкретных ситуациях);
- **СППР-генераторы** (пакеты связанных программных средств поиска и выдачи данных);
- **СППР-"инструментарий"** (высший уровень технологичности – языки, совершенные ОС, средства ВВ и прочее).

4 Автоматизация проектирования

4.1 Структура САПР

Автоматизация проектирования осуществляется САПР.

Принято выделять в САПР инженерной механики системы **функционального, конструкторского и технологического проектирования** (рис. 4.1).

Первые из них называют системами расчетов и инженерного анализа, или системами **CAE (Computer Aided Engineering)**.

- планирования и управления предприятием **ERP** (*Enterprise Resource Planning*);
- планирования производства и требований к материалам **MRP-2** (*Manufacturing Requirement Planning*);
- производственная исполнительная система **MES** (*Manufacturing Execution Systems*), а также **SCM** и система управления взаимоотношениями с заказчиками **CRM** (*Customer Requirement Management*).

Наиболее развитые **системы ERP** выполняют различные бизнес-функции:

- планирование производства,
- закупками,
- сбытом продукции,
- анализом перспектив маркетинга,
- управлением финансами,
- персоналом,
- складским хозяйством, учетом основных фондов и т. п.

Системы **MRP-2** ориентированы главным образом на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством, а системы **MES** — на решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом.

На этапе реализации продукции выполняются функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводится анализ рыночной ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые изделия. Эти функции осуществляет система **CRM**.

Маркетинговые задачи иногда возлагаются на систему **S&SM** (*Sales and Service Management*), которая, кроме того, используется для решения проблем обслуживания изделий. На этапе эксплуатации применяют также специализированные компьютерные системы, занятые вопросами ремонта, контроля, диагностики эксплуатируемых систем.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами контролируют и используют данные, характеризующие состояние технологического оборудования и протекание технологических процессов. Именно их чаще всего называют **системами промышленной автоматизации**.

SCADA в процессе управления (1)

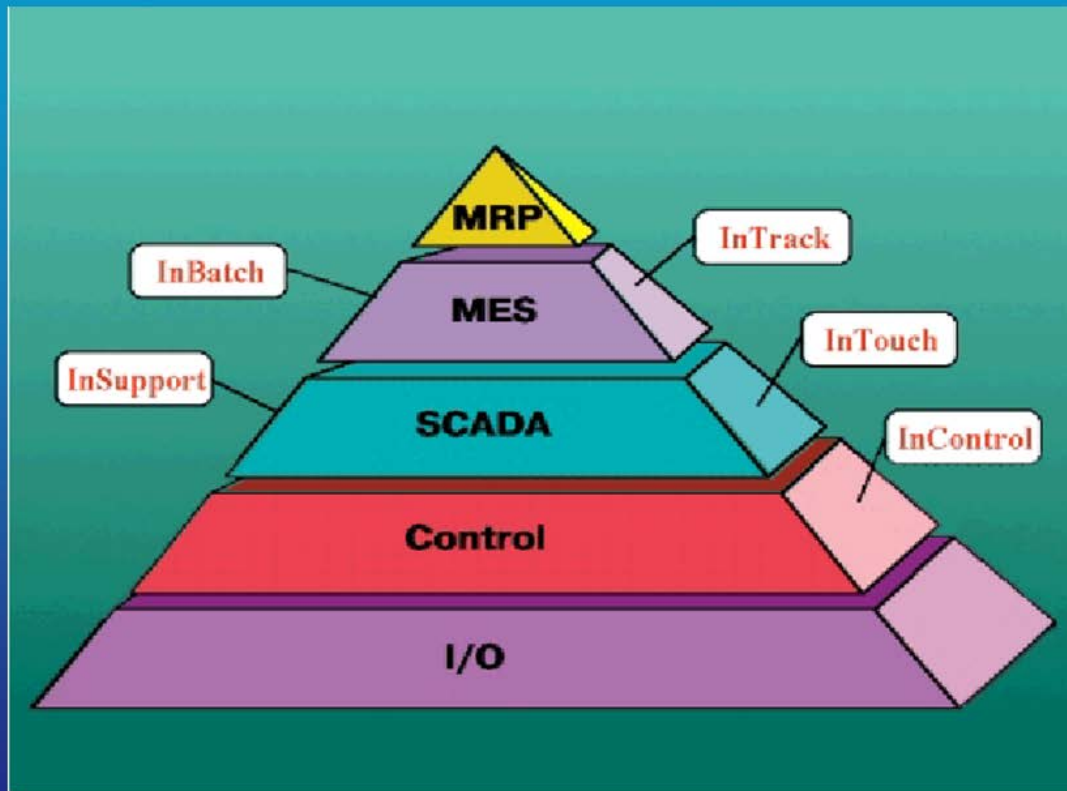


Рис. 4.2. SCADA-системы в процессе управления

Для выполнения диспетчерских функций (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и разработки ПО для встроенного оборудования в состав АСУТП вводят систему **SCADA** (рис. 4.2, 4.3, 4.4) (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Непосредственное программное управление технологическим оборудованием осуществляют с помощью системы **CNC** (*Computer Numerical Control*) на базе **контроллеров** (специализированных компьютеров, называемых промышленными), которые встроены в технологическое оборудование.

В последнее время усилия многих компаний, производящих программно-аппаратные средства **АС**, направлены на создание *систем электронного бизнеса* (**E-Commerce**). С помощью **E-Commerce** объединяют в едином информационном пространстве:

- запросы заказчиков
- данные о возможностях множества организаций, специализирующихся на предоставлении различных услуг и выполнении тех или иных процедур и

Архитектура SCADA-систем (1)

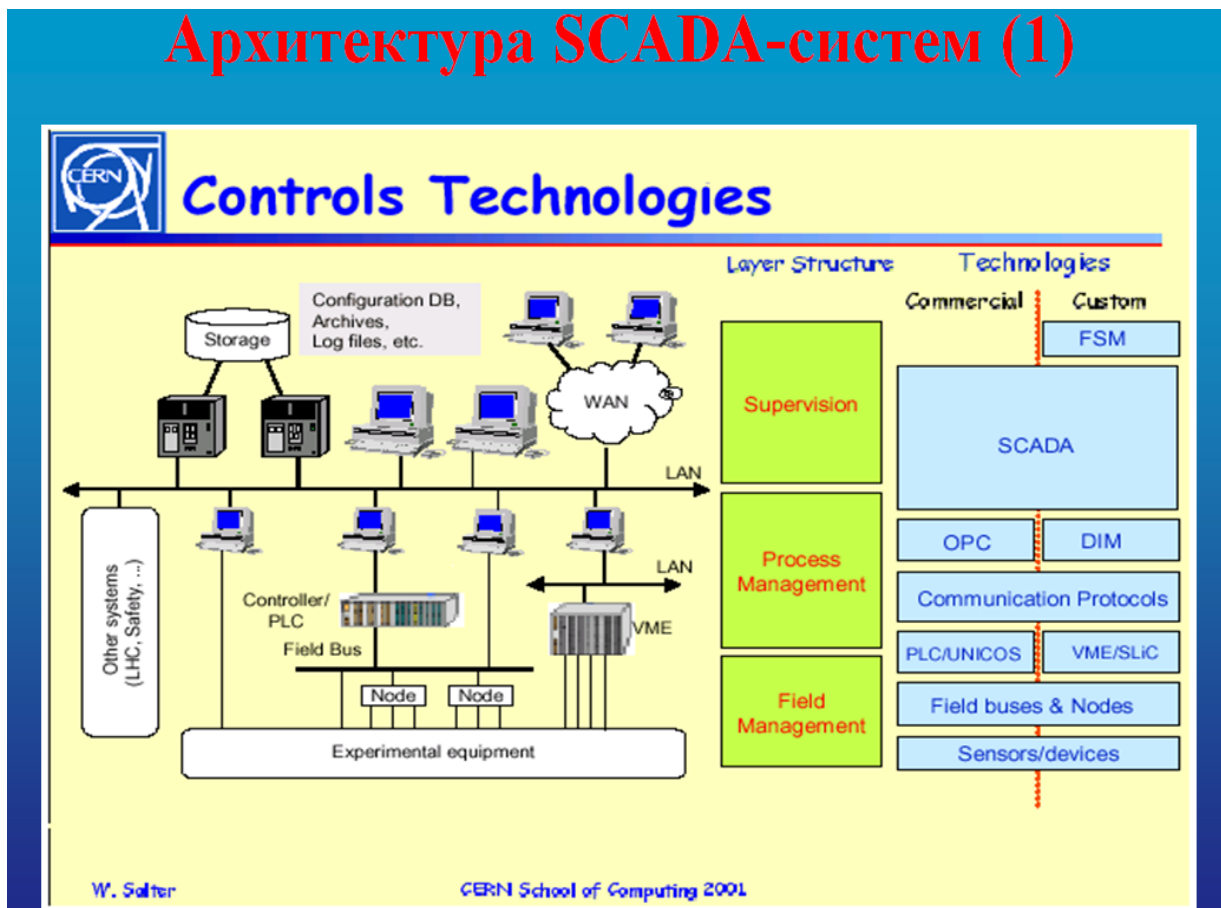


Рис. 4.3. Архитектура SCADA-систем

операций по проектированию, изготовлению, поставкам заказанных изделий.

Такие системы *E-Commerce* называют системами управления данными в интегрированном информационном пространстве *CPC (Collaborative Product Commerce)* или *PLM (Product Lifecycle Management)*.

Проектирование непосредственно под заказ позволяет добиться наилучших параметров создаваемой продукции, а оптимальный выбор исполнителей и цепочек поставок ведет к минимизации времени и стоимости выполнения заказа.

Характерная особенность *CPC* — обеспечение взаимодействия многих предприятий, т. е. технология *CPC* является основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют **САПР, ERP, PDM, SCM, CRM** и другие *АС* разных предприятий.

Как и любая сложная система, САПР состоит из подсистем. Различают подсистемы *проектирующие и обслуживающие*.

Проектирующие подсистемы непосредственно выполняют проектные

Архитектура SCADA. Аппаратные средства

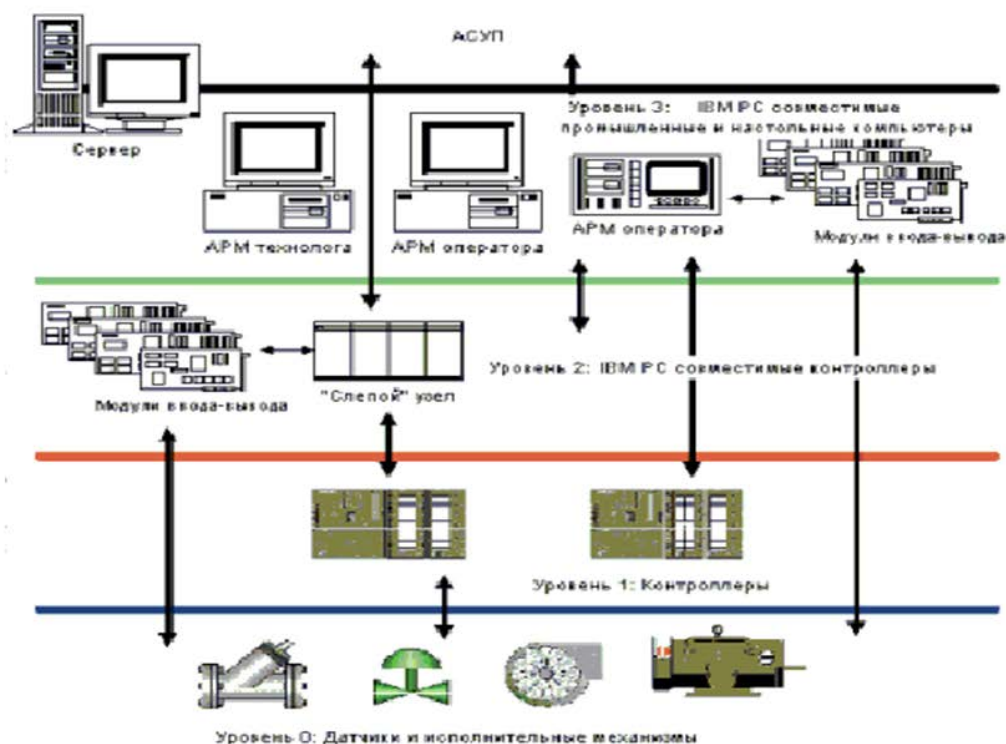


Рис. 4.4. Аппаратные средства SCADA-систем

процедуры. Примерами *проектирующих подсистем* могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схмотехнического анализа, трассировки соединений.

Обслуживающие подсистемы обеспечивают функционирование *проектирующих подсистем*, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными *обслуживающими подсистемами* являются подсистемы управления проектными данными, подсистемы разработки и сопровождения программного обеспечения *CASE (Computer Aided Software Engineering)*, обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

4.2 Виды обеспечения САПР

Структурирование САПР по различным аспектам обуславливает появление *видов обеспечения САПР*. Принято выделять **семь видов** обеспечения САПР:

- *техническое (ТО)*, включающее различные аппаратные средства (ЭВМ,

периферийные устройства, сетевое коммутационное оборудование, линии связи, измерительные средства);

- **математическое (МО)**, объединяющее математические методы, модели и алгоритмы для выполнения проектирования;
- **программное**, представляемое компьютерными программами САПР;
- **информационное**, состоящее из базы данных, **СУБД**, а также включающее другие данные, которые используются при проектировании; отметим, что вся совокупность используемых при проектировании данных называется информационным фондом САПР, база данных вместе с **СУБД** носит название **банка данных**;
- **лингвистическое**, выражаемое языками общения между проектировщиками и ЭВМ, языками программирования и языками обмена данными между техническими средствами САПР;
- **методическое**, включающее различные методики проектирования; иногда к нему относят также математическое обеспечение;
- **организационное**, представляемое штатными расписаниями, должностными инструкциями и другими документами, которые регламентируют работу проектного предприятия.

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например по приложению, целевому назначению, масштабам (комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы — ядра САПР.

По приложениям наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР:

- ▶ САПР для применения в отраслях общего машиностроения. Их часто называют машиностроительными САПР или системами *MCAD (Mechanical CAD)*;
- ▶ САПР для радиоэлектроники: системы *ECAD (Electronic CAD)* или *EDA (Electronic Design Automation)*;
- ▶ САПР в области архитектуры и строительства.

Кроме того, известно большое число специализированных САПР, или выделяемых в указанных группах, или представляющих самостоятельную ветвь

классификации. Примерами таких систем являются САПР ГПС, САПР больших интегральных схем (БИС); САПР летательных аппаратов; САПР электрических машин и т. п.

По сложности объектов проектирования:

- ▶ САПР низкосложных объектов (количество составных частей до 100);
- ▶ САПР среднесложных объектов (100-10 000);
- ▶ САПР высокосложных объектов (выше 10 000).

По уровню автоматизации:

- ▶ низкоавтоматизированные (до 25% проектных процедур автоматизировано);
- ▶ среднеавтоматизированные (25%-50%);
- ▶ высокоавтоматизированные (50%-75%).

По уровню комплексности:

- ▶ одноэтапные (один этап проектирования);
- ▶ многоэтапные (несколько этапов);
- ▶ комплексные (весь процесс создания изделия).

По числу уровней технического обеспечения:

- ▶ одноуровневый (на основе ЭВМ среднего и высокого класса со штатным периферийным оборудованием);
- ▶ двухуровневый (на основе ЭВМ среднего и высокого класса, в качестве интеллектуальных терминалов – персональные ЭВМ);
- ▶ комплексный (на основе ЭВМ среднего и высокого класса, объединенных в сеть и каждая из ЭВМ имеет сеть интеллектуальных терминалов на основе персональных ЭВМ).

5 Мехатронные системы

5.1 Основные понятия

Мехатроника – это новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движения, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики, компьютерного управления движением машин и

агрегатов.

Понятие СИНЕРГЕТИКА (от греч. «син» — «со-», «совместно» и «эргос» — «действие»), созданное профессором Штутгартского университета Германом Хакеном, междисциплинарное направление, которое занимается изучением систем, состоящих из многих подсистем различной природы (электронов, атомов, молекул, клеток, нейронов, механических элементов, органов животных, людей, транспортных средств и т.д.)

Мехатроника изучает синергетическое объединение узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами с целью проектирования и производства качественно новых модулей, машин, систем и комплексов машин с интеллектуальным управлением их функционирования.

Пояснение к определению. Мехатроника изучает машины с качественно новыми характеристиками. Этот подход является универсальным и может быть применен в машинных системах различного назначения.

Синергия - это совместное действие, направленное на достижение единой цели. При этом важно, что в мехатронных системах составляющие части, не просто дополняют друг друга, а объединяются таким образом, что образованные системы обладают качественно новыми свойствами.

Интегрированные мехатронные элементы выбираются разработчиком уже на стадии проектирования машин, а затем обеспечиваются необходимые инженерная и технологическая поддержка при производстве и эксплуатации машин.

Основой разработки мехатронных систем служат методы параллельного проектирования. Т.е. одновременный и взаимосвязанный синтез всех компонентов.

Базовым объектом изучения мехатроники являются **мехатронный модуль**, который выполняет движения по одной управляемой координате. Из таких модулей, как из функциональных кубиков, komponуются сложные системы модульной архитектуры.

Мехатронные системы предназначены для реализации заданного движения.

Критерий качества выполнения движения определяется постановкой конкретной прикладной задачи. Специфика задач автоматизированного машиностроения состоит в необходимости координирования перемещения в пространстве с управлением различными внешними процессами.

В современных мехатронных системах для реализации высокого качества и точности движения применяются методы **интеллектуального управления**. Данная группа методов опирается на новые идеи теории управления современным аппаратным и программным средством вычислительной техники, перспективные подходы к синтезу управляемого движения мехатронных систем.

Новые требования, предъявляемые к функциональным характеристикам технологических модулей и машин:

- **Сверхвысокие скорости** движения рабочих органов машин, определяющие новый уровень производительности технологических машин;
- **Сверхвысокие точности** движения, необходимые для реализации **прецизионных технологий** (вплоть до микро- и наноперемещений);
- **Максимальная компактность** конструкции и минимизация

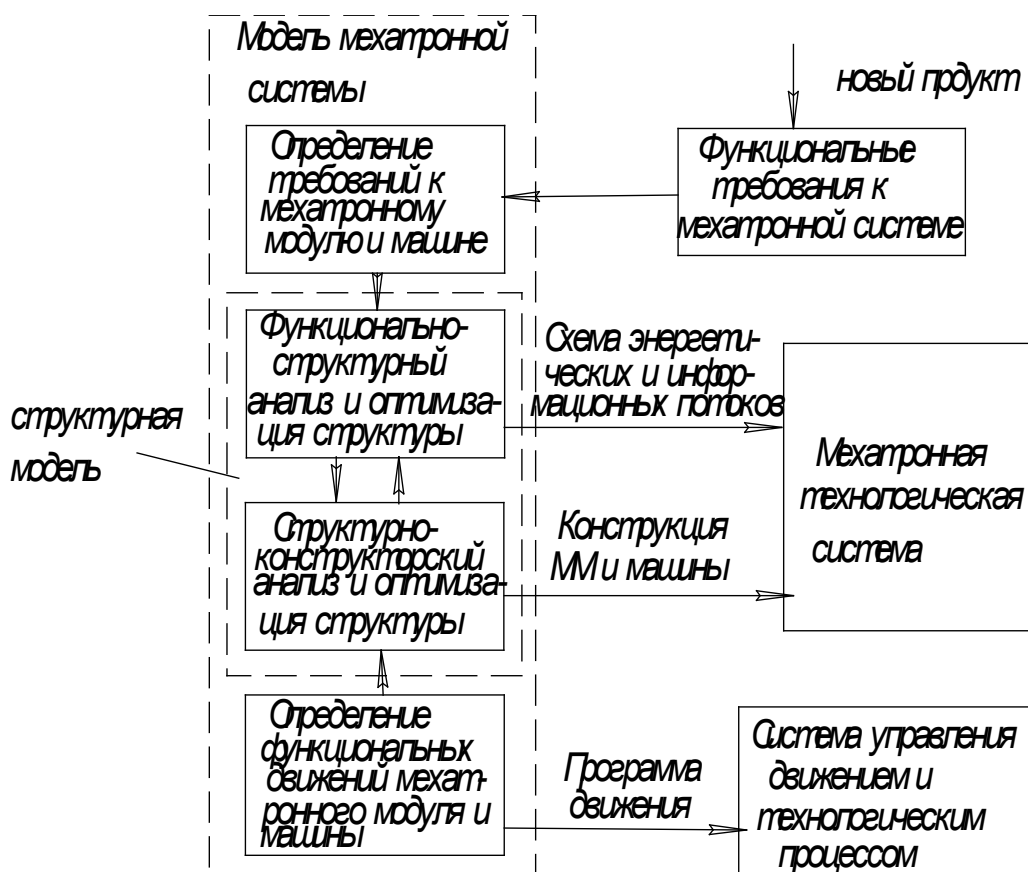


Рис. 5.1. Структурная модель мехатронной системы

массогабаритных показателей модулей;

- **Интеллектуальное поведение** машин, функционирующих в изменяющихся и неопределенных внешних средах;
- Реализация быстрых и точных перемещений рабочих органов **по сложным контурам и поверхностям**;
- Существенное **расширение технологических и функциональных возможностей** оборудования без увеличения его стоимости;
- Способность системы к **реконфигурации** в зависимости от выполняемой конкретной задачи или операции;
- **Высокая надежность и безопасность** функционирования.

5.2 Структура и принципы построения мехатронных систем

Внешней средой для машин пневмогидропривода является технологическая среда, которая содержит различное основное и вспомогательное оборудование, технологическую оснастку и объекты работ.

При выполнении мехатронной системой заданного функционального движения объекты работ оказывают возмущающее воздействие на рабочий орган (например, сила резания для операций механообработки, контактные силы и моменты сил при сборке, сила реакции струи жидкости при операции гидравлической резки и т.п.).

Устройство компьютерного управления осуществляет следующие основные функции:

- **управление процессом механического движения** мехатронного модуля или многомерной системы в реальном времени с обработкой сенсорной информации;
- **координацию управления** механическим движением мехатронной системы и сопутствующими внешними процессами. Как правило, для реализации функции управления внешними процессами используются дискретные входы/выходы устройства;
- **взаимодействие с человеком-оператором через машинный интерфейс** в режимах автономного программирования (режим off-line) и

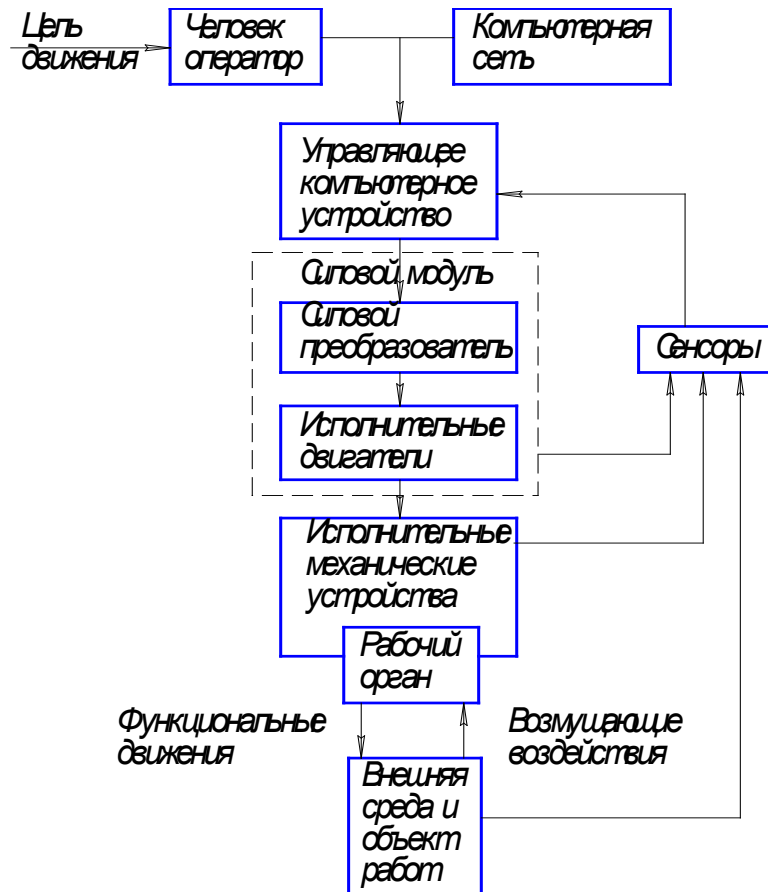


Рис. 5.2. Схема мехатронной системы

непосредственно в процессе движения мехатронной системы (режим on-line);

- **Организацию обмена данными** с периферийными устройствами, сенсорами и другими устройствами системы.

Задачей мехатронной системы является преобразование входной информации, поступающей с верхнего уровня управления в целенаправленное механическое движение с управлением на основе принципа обратной связи. Характерно, что электрическая энергия (гидравлическая, пневматическая) используется в современных системах как **промежуточная** энергетическая форма.

5.3 Построение мехатронных модулей на основе синергетической интеграции элементов

Мехатронные модули – это базовые функциональные компоненты мехатронных систем и машин с компьютерным управлением, предназначенные для выполнения движений, как правило, по одной управляемой координате (рис.

5.3).

Синергетическая интеграция – это не просто соединение отдельных частей в систему с помощью интерфейсных блоков, а построение единого приводного модуля через конструктивное объединение и даже взаимопроникновение элементов, которые имеют, как правило, различную физическую природу.

Сущность мехатронного подхода к проектированию состоит в объединении в единый приводной модуль составляющих элементов. Применение мехатронного подхода к проектированию модуля движения базируется на **определении возможных точек интеграции элементов в структуре привода.**

Приведем схему энергетических и информационных потоков в электромеханическом мехатронном модуле.

Исторически мехатроника развивались из электромеханики, опираясь на ее достижения, в настоящее время идет дальше путем системного объединения электромеханических систем с компьютерными системами управления, встроенными датчиками и интерфейсами.

Высокая точность, предельное быстродействие, сложные законы перемещения рабочего органа в пространстве и во времени – достижения, которые возможны в мехатронных системах.

6 Исполнительные устройства систем мехатроники

К ним можно отнести:

- пропорциональные и дискретные приводы;

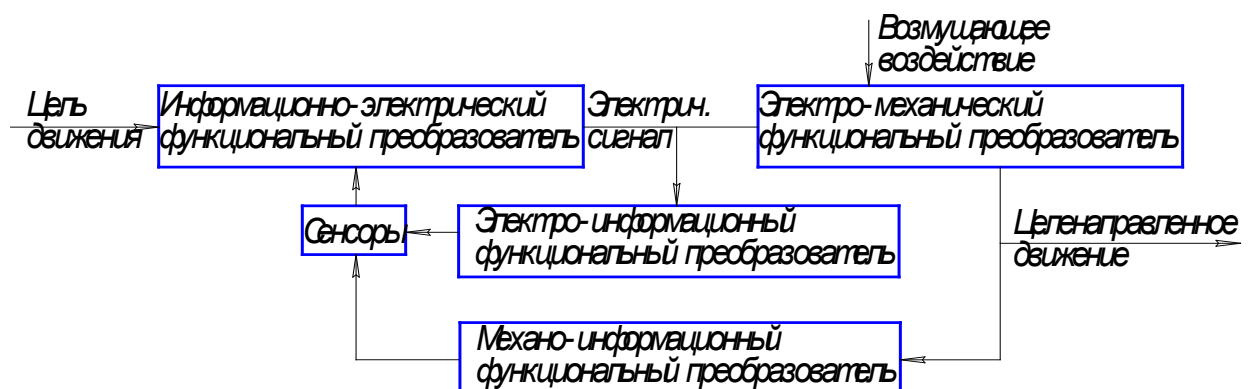


Рис. 5.3. Структурная схема мехатронного модуля

- управляемые распределители и насосы;
- пропорциональные клапаны, регуляторы;
- и другие устройства, способные совершать дозированное преобразование одного вида энергии в другой.

6.1 Электрические приводы

В электрическом приводе используется преобразование электрической энергии в механическую энергию. Применяется в системах механотроники грузоподъемностью до 35 кг: на базе

- асинхронных двигателей;
- двигателей постоянного тока;
- шаговых двигателей.

Асинхронные двигатели допускают ступенчатое регулирование частоты вращения путем изменения количества подключенных пар полюсов или пропорциональное регулирование путем изменения частоты управляющего напряжения переменного тока.

В двигателях постоянного тока частота вращения регулируется амплитудой подведенного напряжения постоянного тока.

В шаговых электродвигателях с частотно-импульсной системой управления частота вращения определяется частотой управляющих импульсов, а угол поворота - количеством управляющих импульсов.

Достоинства ЭП:

- высокий К.П.Д.;
- использование одного вида энергии в управляющей и силовой частях;
- бесшумность в работе;
- экологическая чистота.

Недостатки:

- способ преобразования электрической энергии в механическую энергию;
- преобразование осуществляется с помощью электромагнитного поля, что приводит к снижению жесткости и возрастанию инерционности привода;
- в результате частота реверса электроприводов обычно не превышает 70 Гц

- и для них характерны низкие динамические характеристики;
- наличие силовых электрических обмоток и коллекторный подвод энергии делают привод **пожаро- и взрывоопасным** и ограничивают его применение в ряде химических производств, при выполнении покрасочных работ, при обслуживании отдельных видов складских помещений и ряда других технологических процессов;
 - чувствительность электродвигателей к внешним электромагнитным полям снижает надежность электроприводов;
 - электрические приводы характеризуются низкими массогабаритными показателями. Удельная мощность приводов с асинхронными электродвигателями достигает 100 Вт/кг, а с двигателями постоянного тока - 40 Вт/кг;
 - узкий диапазон регулирования скорости;
 - сложность получения линейных перемещений;
 - и узкий температурный диапазон;
 - мощность электрических следящих приводов обычно не превышает 2 кВт.

6.2 Пневматические приводы

Весьма распространены в мехатронных системах, однако, способны решать только узкий круг технологических задач, в основном применяются в цикловых системах управления, где требуется высокая точность позиционирования (до десятых долей миллиметра).

Пневматический привод отличает:

- Высокая скорость перемещения;
- Легкость получения угловых и линейных перемещений;
- Грузоподъемность пневматического привода обычно не превышает 20 кг.

Однако:

- высокая степень сжимаемости воздуха не позволяет строить точные пневматические следящие приводы с грузоподъемностью более 10 кг;
- для построения маломощных следящих приводов обычно используются пневмоцилиндры с электропневматическими распределителями.

Пневмопривод относится к категории экологически чистых приводов и широко используется в мехатронных системах фармацевтической и пищевой промышленности.

6.3 Гидравлические приводы

Гидравлические исполнительные устройства (ГИУ) используются в системах мехатроники, грузоподъемность которых превышает 35 кг. Удельная мощность ГИУ достигает 200 Вт/кг и более.

ГИУ позволяют обеспечить:

- Высокое быстродействие (линейных перемещений 1,5-2 м/с, угловых 6,3-8 рад/с).
- Частота реверса достигает 200 Гц.
- Малая сжимаемость жидкости обеспечивает высокую жесткость.
- К.п.д. гидравлических приводов может колебаться от 0,9 до 0,18 (при различных способах регулирования скорости)
- Существенным достоинством является легкость получения линейных и угловых перемещений.

Достоинствами являются:

- Компактность;
- Высокая удельная мощность;
- Пожаробезопасность;
- При использовании синтетических жидкостей температурный диапазон может расширяться от -60 до +200 °С.

Главными недостатками ГИУ являются:

- Наличие, по крайней мере 2-х видов энергии, необходимость установки громоздкой насосной станции;
- Возможность утечек рабочей жидкости;
- Значительный шум при работе;
- В некоторых случаях необходимость применения специальных мер по охлаждению рабочей жидкости.

6.4 Следящий привод

При ручном и автоматическом управлении машинами часто возникает необходимость обеспечить контролируемое перемещение рабочего органа и позиционирование его в любом промежуточном положении с требуемой точностью. Эта задача решается использованием **следящего привода**, который передает, например, движение руки человека, с многократным усилением по мощности.

Следящие приводы бывают с механическим, гидравлическим, пневматическим или электрическим управлением. Коэффициент усиления по мощности у следящих гидро- и пневмоприводов в большинстве случаев лежит в пределах 100...10000, у электрогидравлических – может достигать и больших значений.

Следящие гидро- и пневмоприводы широко применяются в технике: в механизмах рулевого управления автомобилей, тракторов, самолетов, в станках с копировальными устройствами или ЧПУ, в промышленных роботах, автоматических манипуляторах, в механизмах управления подъемными, транспортными, горными, строительными и др. машин.

Следящие приводы могут входить в состав более мощных гидро- или пневмоприводов, выполняя вспомогательные функции. В этом случае их называют **приборными следящими приводами, гидроусилителями или сервоприводами.**

Принцип действия следящих приводов состоит в непрерывном **сравнении входного управляющего сигнала с перемещением выходного звена** и в регулировании потока рабочей среды пропорционально рассогласованию этих величин.

6.5 Гидравлические следящие приводы (гидроусилители)

6.5.1 Общие сведения

Гидроусилитель - совокупность гидроаппаратов и объемных гидродвигателей, в которой движение управляющего элемента преобразуется в движение управляемого элемента большей мощности, согласованное с движением

Блок-схема следящего привода (рис.6.2) состоит из следующих основных элементов:

- **задающего устройства ЗУ**, которым формируется сигнал управления, пропорциональный требуемому перемещению исполнительного механизма (датчики, реагирующие на изменение условий работы или параметров технологического процесса);
- **сравнивающего устройства СУ**, или датчика рассогласования, устанавливающего соответствие сигнала воспроизведения, поступающего от исполнительного механизма, сигналу управления;
- **усилителя У**, которым производится усиление мощности сигнала управления за счет **внешнего источника энергии ВИЭ**;
- **исполнительного механизма ИМ**, которым перемещается объект управления и воспроизводится программа, определяемая задающим устройством;
- **обратная связь ОС**, которой исполнительный механизм соединен со сравнивающим устройством или с усилителем. Обратная связь является отличительным элементом следящего привода.

Величина $x = f(t)$ (перемещение или скорость), сообщаемая задающим устройством сравнивающему устройству, называется "**входом**", а $y = \varphi(t)$ (перемещение или скорость), воспроизведенная исполнительным механизмом, - "**выходом**". Разность $(x - y) = \varepsilon$ называется ошибкой слежения или рассогласования системы.

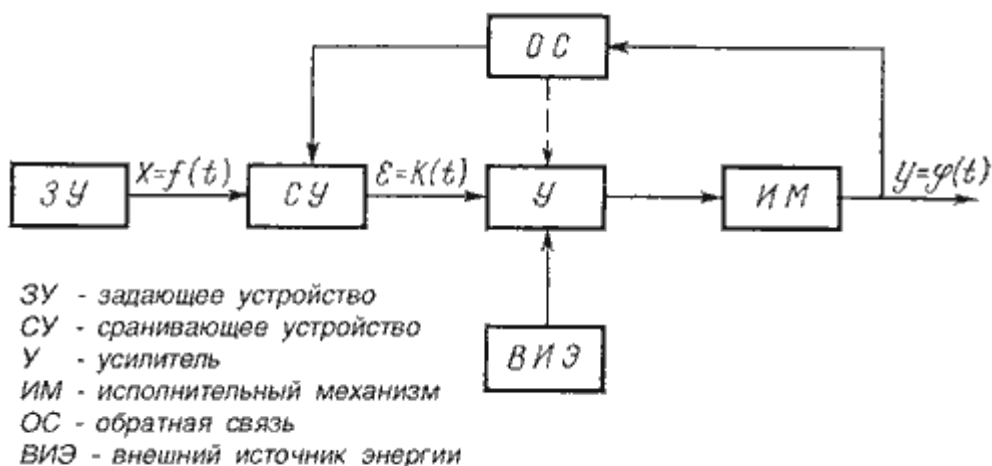


Рис. 6.2. Блок-схема следящего привода

Принцип работы следящего привода заключается в следующем. Изменение условий работы машины или параметров технологического процесса вызывает перемещение задающего устройства, которое создает рассогласование в системе. Сигнал рассогласования воздействует на усилитель, а через него и на исполнительный механизм. Вызванное этим сигналом перемещение исполнительного механизма через обратную связь устраняет рассогласование и приводит всю систему в исходное положение.

Рассмотрим работу следящего привода на примере принципиальной схемы рулевого управления автомобиля (рис.6.3).

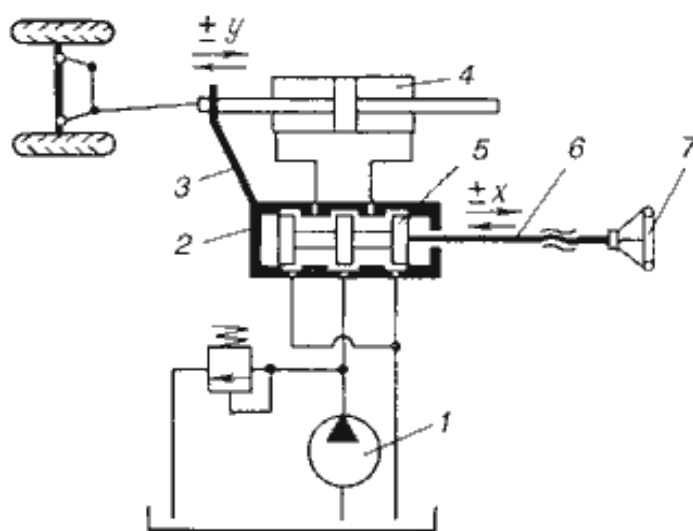


Рис. 6.3. Принципиальная схема следящего рулевого привода автомобиля

При прямолинейном движении автомашины все элементы системы рулевого управления находятся в исходном положении. Жидкость из насоса 1 поступает к гидроусилителю золотникового типа. Золотник 5 усилителя занимает нейтральное положение, а в обеих полостях исполнительного механизма 4 установилось одинаковое давление. При необходимости изменить направление движения автомобиля водитель поворачивает рулевое колесо 7. Связанный с рулевым колесом винт 6 перемещает золотник усилителя на величину x , вызывая рассогласование в системе. При этом проходные сечения одних рабочих окон усилителя уменьшаются, а других увеличиваются. Это создает перепад давлений у исполнительного механизма, а его поршень приходит в движение, перемещаясь на величину y и поворачивая колеса автомобиля. Одновременно через обратную связь 3 движение поршня передается на втулку 2 усилителя. Совокупность 2 и 3

является сравнивающим устройством. Втулка перемещается в том же направлении, что и золотник 5 до тех пор, пока рассогласование в гидросистеме, вызванное поворотом рулевого колеса, не будет устранено. При непрерывном вращении водителем рулевого колеса поршень со штоком будет также непрерывно перемещаться, вызывая соответствующий поворот колес. При этом небольшие усилия водителя, прикладываемые к рулевому колесу, гидроприводом преобразуются в значительные усилия на штоке поршня, необходимые для управления автомобилем.

6.5.2 Классификация гидроусилителей

Применяемые в автоматизированных гидроприводах гидроусилители классифицируют по следующим признакам.

По *методу управления* различают гидроусилители без обратной связи и с обратной связью между управляющим элементом и ведомым звеном исполнительного механизма.

По *конструкции управляющего элемента* гидроусилители подразделяют на усилители с дросселирующими гидрораспределителями золотникового типа, с соплом и заслонкой, со струйной трубкой, крановые, с игольчатым дросселем.

По *числу каскадов усиления* гидроусилители подразделяют на одно-, двух- и многокаскадные. Многокаскадные применяют в тех случаях, когда требуется получить на выходе большую мощность и сохранить при этом высокую чувствительность гидроусилителя.

По *виду сигнала управления* гидроусилители подразделяют на усилители с механическим и электрическим сигналами управления.

Важными характеристиками усилителей являются коэффициенты усиления: по мощности k_N , по расходу k_Q , по скорости k_v и по давлению k_P :

$$k_N = \frac{N_{\text{вых}}}{N_{\text{вх}}}; \quad k_Q = \frac{\partial Q}{\partial x}; \quad k_v = \frac{\partial v}{\partial x}; \quad k_P = \frac{\partial P}{\partial x}$$

где $N_{\text{вых}}$, $N_{\text{вх}}$ - мощности на ведомом звене исполнительного элемента гидроусилителя и мощность, затрачиваемая на его управление; δQ , δv , δP - изменение расхода, скорости движения ведомого звена исполнительного элемента и давления жидкости на выходе при изменении положения управляющего

элемента гидроусилителя на величину δx .

6.5.3 Гидроусилитель золотникового типа

Гидроусилители золотникового типа получили наибольшее распространение. Они просты по конструкции, разгружены от аксиальных статических сил давления жидкости, легко управляемы, имеют высокий КПД и обеспечивают достижение значительных коэффициентов усиления по мощности.

Схема следящего гидроусилителя золотникового типа с гидродвигателем прямолинейного движения и жесткой рычажной обратной связью представлена на рис.6.4.

Этот гидроусилитель состоит в основном из тех же элементов что и рассмотренный выше усилитель рулевого привода автомобиля. При перемещении тяги 2, связанной с ручкой управления, перемещается шарнир 1 дифференциального рычага 7 обратной связи, с которым связаны штоки силового цилиндра 5 и золотника распределителя 3. Так как силы, противодействующие смещению золотника распределителя, значительно меньше соответствующих сил, действующих в системе силового поршня 4, то шарнир 6 может рассматриваться в начале движения тяги 2 как неподвижный, ввиду чего движение его вызовет через рычаг 7 смещение плунжера золотника распределителя 3. В результате при смещении золотника из нейтрального положения, жидкость поступит в

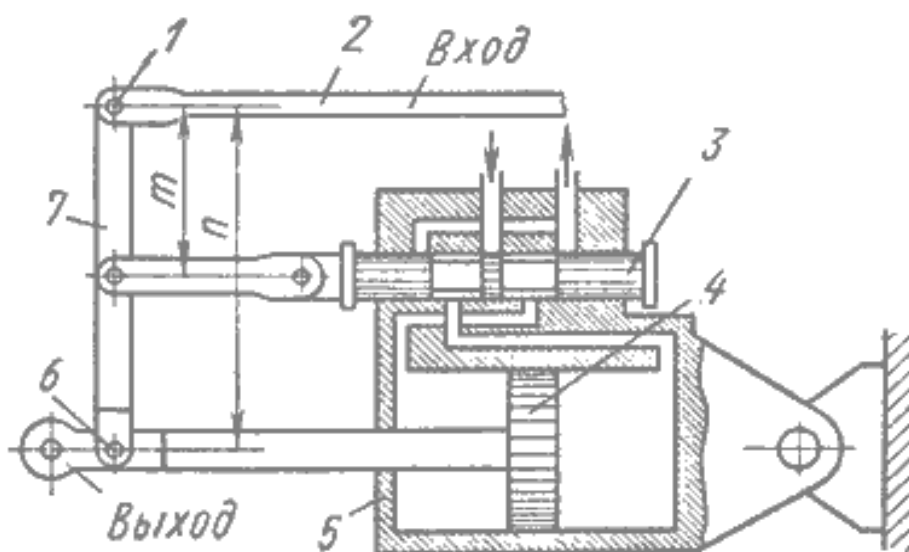


Рис. 6.4. Схема гидроусилителя золотникового типа с обратной связью:
1 - шарнир; 2 - тяга; 3 - золотник распределителя; 4 - поршень; 5 - корпус силового цилиндра; 6 - шарнир; 7 - дифференциальный рычаг.

соответствующую полость цилиндра 5, что вызовет перемещение поршня 4, а следовательно, и шарнира 6, связанного с "выходом". При этом выходное звено сместится пропорционально перемещению тяги 2.

После того как движение тяги 2 будет прекращено, продолжающийся выдвигаться поршень 4 сообщит через рычаг 7 обратной связи плунжеру золотника распределителя 3 перемещение, противоположное тому, которое он получал до этого при смещении тяги 2 управления. Так как при этом расходные окна золотника будут в результате обратного движения плунжера постепенно прикрываться, количество жидкости, поступающей в цилиндр 5, уменьшится, вследствие чего скорость его поршня будет уменьшаться до тех пор, пока плунжер золотника не придет в положение, в котором окна полностью перекроются, при этом скорость станет равной нулю.

При перемещении плунжера золотника в противоположную сторону движение всех элементов регулирующего устройства будет происходить в обратном направлении.

В действительности отдельных этапов движения "входа" и "выхода" рассматриваемого следящего привода с жесткой обратной связью не существует, и оба движения протекают практически одновременно, т.е. имеет место не ступенчатое, а непрерывное "слежение" исполнительным механизмом за перемещением "входа".

6.5.4 Гидроусилитель с соплом и заслонкой

Гидроусилитель с соплом и заслонкой (рис. 6.5) состоит из управляющего элемента в виде нерегулируемого дросселя 1, междроссельной камеры 2, регулируемого дросселя, выполненного в виде сопла 3, заслонки 4 и задающего устройства 6, а также из исполнительного элемента 5.

Жидкость подается к гидроусилителю со стороны нерегулируемого дросселя. Из междроссельной камеры одна часть жидкости Q_2 вытекает через щель, образованную торцом сопла и заслонкой, а другая Q_1 поступает к исполнительному элементу. При изменении положения заслонки изменяются давление в междроссельной камере и расход через сопло. Одновременно изменяются усилие на исполнительный элемент, расход Q_1 и скорость v движения

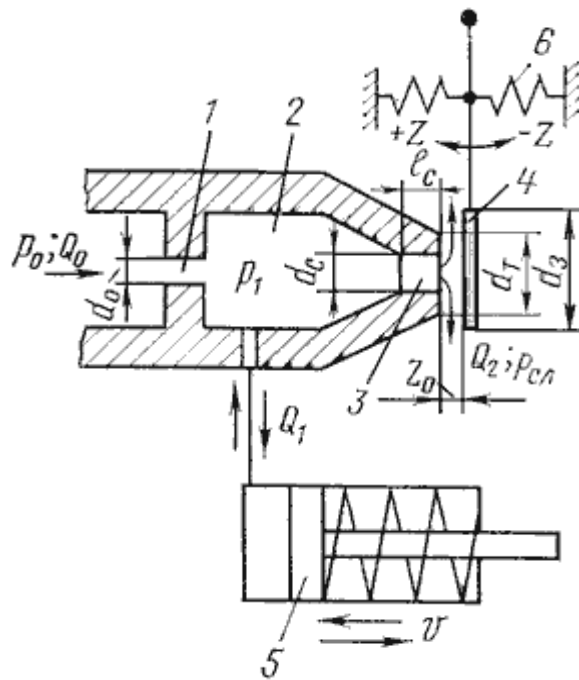


Рис. 6.5. Гидроусилитель с соплом и заслонкой

выходного звена. Нерегулируемый дроссель может быть выполнен в виде пакета тонких шайб с круглыми отверстиями.

Сопло гидроусилителя выполняется в виде цилиндрического насадка или в виде капиллярного канала. Увеличение диаметра сопла приводит к увеличению расхода и быстродействия системы. Заслонка имеет плоскую форму и перемещается от воздействия на нее сигнала управления.

Гидроусилитель типа сопло-заслонка отличается простотой конструкции, надежностью в работе и быстродействием. К нему можно подводить жидкость с большим давлением питания P_0 . В устройстве сопло-заслонка отсутствуют трущиеся пары, что обеспечивает его высокую чувствительность. Недостатком является непроизводительный расход жидкости через сопло, низкий КПД и невысокий коэффициент усиления по мощности.

6.5.5 Гидроусилитель со струйной трубкой

Гидроусилитель со струйной трубкой (рис. 6.6) состоит из трубки 5 с коническим насадком на конце, сопловой головки 1 с двумя наклонными коническими расходящимися каналами и устройства управления. Устройство управления струйной трубкой состоит из задающего устройства 4 в виде регулируемой пружины, толкателя 6 и ограничителя 3 хода струйной трубки. Каналы сопловой головки соединены с исполнительным элементом 8

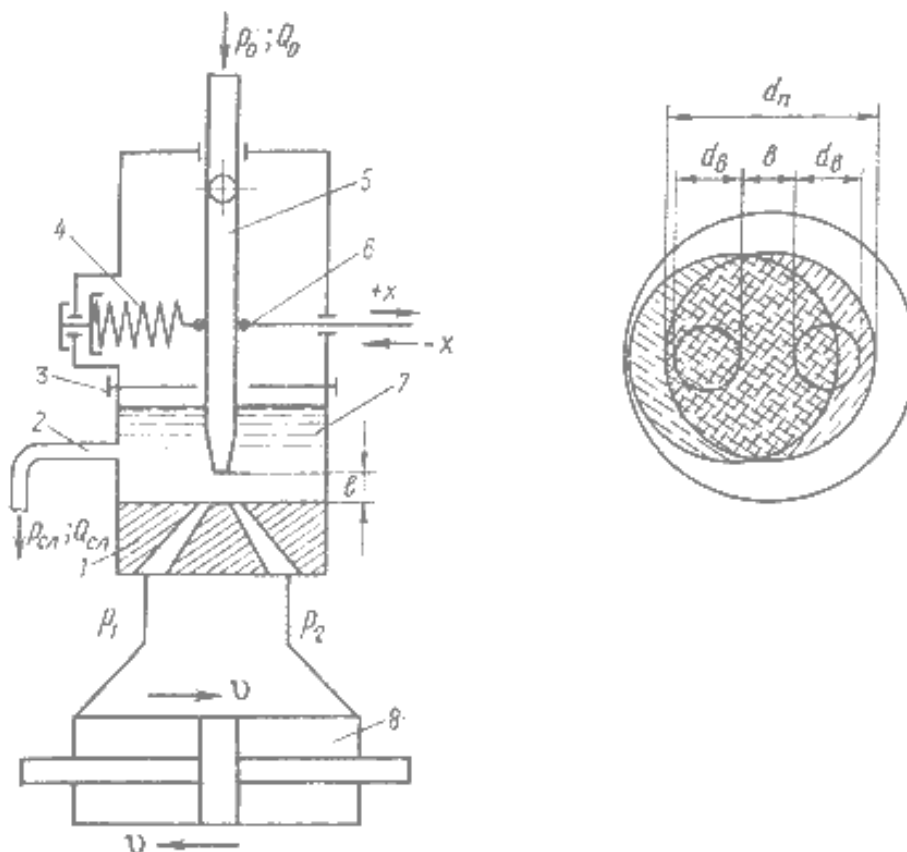


Рис. 6.6. Гидроусилитель со струйной трубкой

гидроусилителя. Жидкость с параметрами P_0 и Q_0 подается к трубке от источника питания. По трубке 2 жидкость отводится от гидроусилителя на слив.

Принцип работы гидроусилителя со струйной трубкой основан на преобразовании удельной потенциальной энергии давления в удельную кинетическую энергию струи, вытекающей из конического насадка, и последующем преобразовании этой энергии в удельную потенциальную энергию давления в каналах сопловой головки.

Гидроусилитель работает следующим образом. При отсутствии сигнала управления струйная трубка занимает нейтральное положение по отношению к отверстиям в сопловой головке. Вытекающая из насадка струя в одинаковой мере перекрывает оба отверстия, вследствие чего давления в каналах сопловой головки одинаковы, а выходное звено исполнительного элемента неподвижно. При подаче сигнала управления на толкатель струйная трубка смещается из нейтрального положения, равенство площадей отверстий, перекрытых струей, и равенство давлений в каналах сопловой головки нарушается. В результате выходное звено исполнительного элемента начинает перемещаться. При изменении знака сигнала

управления выходное звено будет двигаться в другую сторону. Вытесняемая из исполнительного элемента жидкость попадает через канал в сопловой головке в полость 7 усилителя и далее на слив. Для того чтобы в каналы сопловой головки вместе с жидкостью не попал воздух, насадок струйной трубки делают погруженным в жидкость.

6.5.6 Двухкаскадные усилители

Для повышения чувствительности усилителя и обеспечения одновременно увеличения мощности выходного сигнала применяют двухкаскадные устройства, первой ступенью усиления которых является обычно усилитель типа сопло-заслонка, а второй - золотник. Принципиальная схема такого устройства показана на рис. 6.7. Междроссельная камера *a* этой схемы соединена с правой полостью основного распределительного золотника, плунжер 2 которого находится в равновесии под действием усилия пружины 4 и давления жидкости в этой камере. Жидкость постоянно подводится в штоковую полость *b* силового цилиндра, поршень которого при одновременной подаче жидкости в противоположную полость перемещается вследствие разности площадей поршня влево, и при соединении этой полости с баком - в правую сторону.

На рис. 6.7 усилитель показан в нейтральном положении, в котором правая полость цилиндра 3 перекрыта. При смещении заслонки 1 равновесие сил, действующих на плунжер 2 золотника, нарушится, и он, смещаясь в

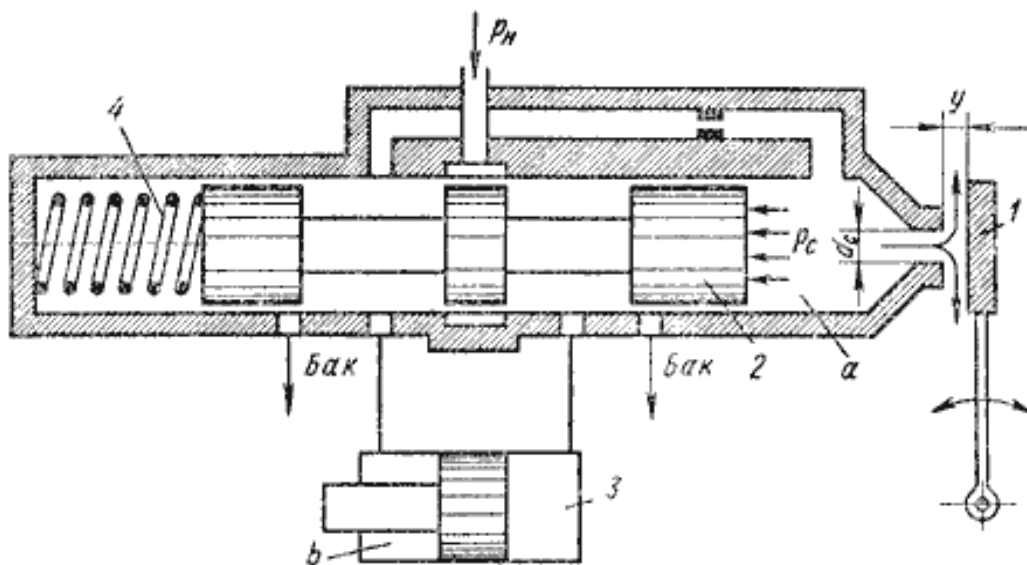


Рис. 6.7. Двухкаскадный усилитель типа сопло-заслонка:
1 - заслонка; 2 - плунжер; 3 - силовой цилиндр; 4 - пружина.

соответствующую сторону, соединит правую полость силового цилиндра 3 либо с полостью питания (давление P_H), либо с баком. Благодаря тому, что усилие, создаваемое давлением жидкости на плунжер 2 золотника, уравновешивается пружиной 4, перемещение распределительного золотника будет пропорционально перемещению заслонки (регулируемого дросселя), в результате чего достигается приближенная пропорциональность расхода жидкости через золотник и перемещения заслонки. Следовательно, в данном случае имеет место обратная связь по давлению.

Схема применения этого распределительного устройства в следящей системе приведена на рис. 6.8. Плунжер золотника 2 в этой схеме находится в равновесии под действием усилия пружины 1 и давления жидкости в камере a , которая соединена с линией питания через дроссель 3 и со сливом - через сверление b в штоке плунжера. Сопротивление последнего канала, а следовательно, и давление в камере a можно изменять смещением заслонки 5; при этом вследствие нарушения равновесия сил натяжения пружины и давления жидкости плунжер золотника будет следовать за заслонкой. Для повышения

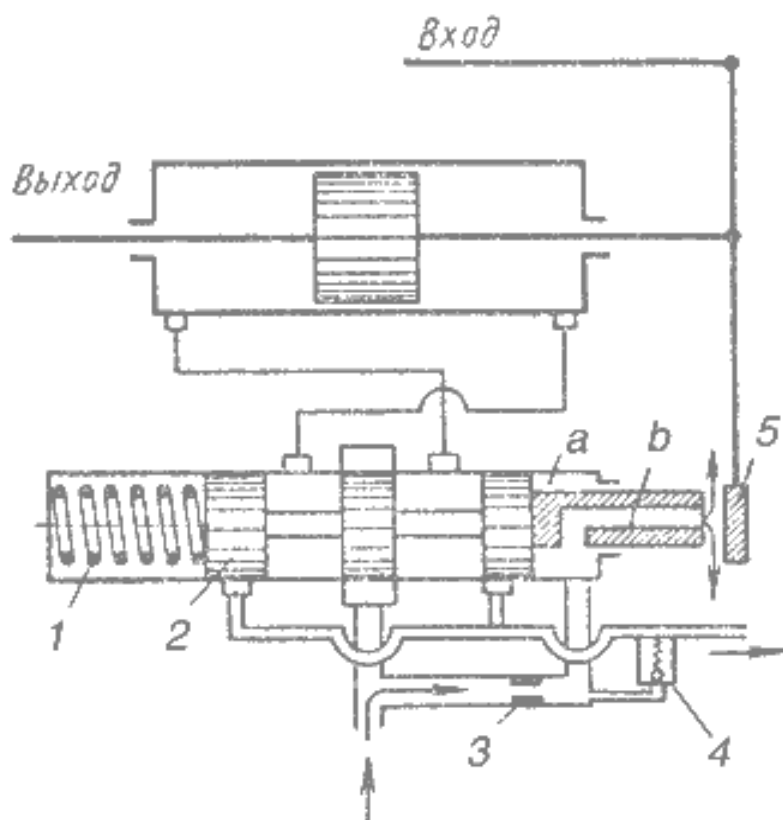


Рис. 6.8. Двухступенчатая следящая система с обратной связью по давлению: 1 - пружина; 2 - плунжер; 3 - дроссель; 4 - клапан; 5 - заслонка.

чувствительности давление в камере *a* обычно понижается с помощью клапана 4 или путем питания этой камеры от отдельного источника и, в частности, от сливной магистрали.

7 Пропорциональная гидравлика

В случае электрогидравлической системы (рис. 7.1 *a*), распределитель имеет электрическое управление от дискретных электромагнитов. Такую систему можно автоматизировать, связав магниты распределителя с контроллером или другой электрической системой управления.

Но электрическая система управления не сможет влиять на значения давления и расхода. Если эти параметры потребуется изменить, работу станка придется остановить. Только после этого вручную можно настроить дроссель или предохранительный клапан.

Пропорциональный распределитель (рис. 7.1 *б*) управляется электрическим сигналом. Этот сигнал изменяет величину расхода и направление потока рабочей жидкости. Скорость перемещение исполнительного органа изменяется за счет изменения расхода.

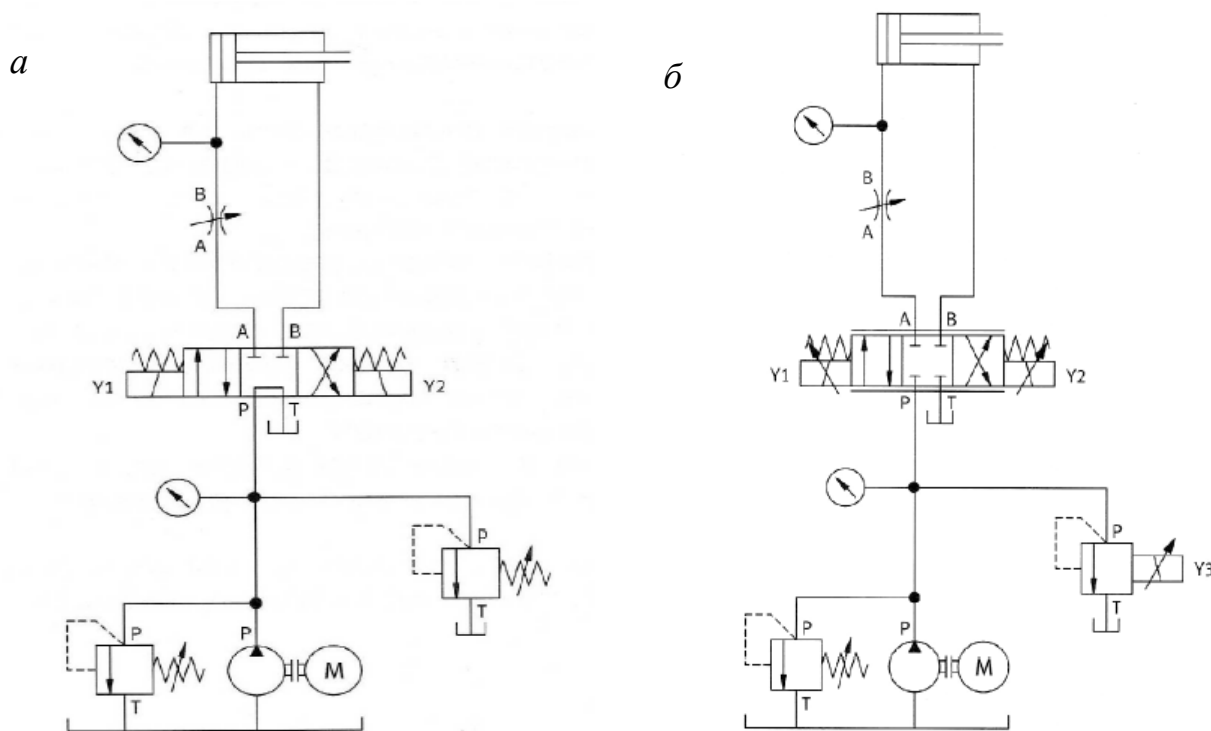


Рис. 7.1. Гидравлическая схема с применением распределителя с электрическим управлением (*a*) и пропорционального распределителя (*б*)

Второй сигнал управления воздействует на пропорциональный предохранительный клапан. Этим сигналом можно постоянно настраивать нужное давление

Пропорциональный распределитель выполняет функции регулировки расхода и распределения потока. Т.о., использование пропорциональной техники позволяет использовать на один элемент меньше.

Пропорциональные клапаны управляются электрическими сигналами, поэтому, не прерывая работу станка, можно:

- с помощью пропорционального предохранительного клапана использовать более низкий уровень давления в режимах уменьшенной нагрузки (например, остановка подачи), что позволяет экономить энергию;
- осуществлять плавный старт и торможение каретки подачи с помощью пропорционального распределителя.

Все настройки пропорциональных клапанов осуществляются автоматически, т. е. без вмешательства оператора.

Сигнал в виде напряжения (обычно в диапазоне от -10 В до +10 В) подается на электронный усилитель, рис. 7.2. Усилитель преобразует это напряжение (входной сигнал) в ток (выходной сигнал). Ток воздействует на пропорциональный электромагнит. Пропорциональный электромагнит перемещает клапан. Исполнительный элемент преобразует энергию жидкости в

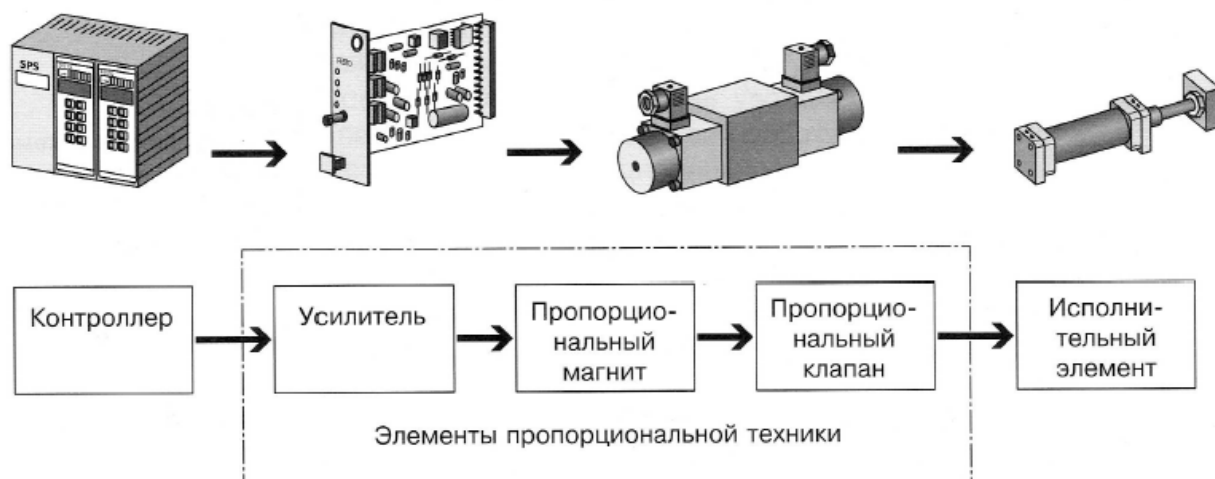


Рис. 7.2. Поток сигналов и элементы пропорциональной гидравлики

кинетическую энергию. Напряжение может иметь бесконечное множество значений, соответственно **скорость** и **усилие** исполнительного элемента (скорость и крутящий момент для гидромотора) могут **настраиваться в широких пределах**.

Преимущества пропорциональных клапанов по сравнению с дискретными:

— непрерывная настройка расхода и давления с помощью электрических входных сигналов;

— автоматическая, непрерывная и точная настройка следующих параметров:

- усилие или момент;

- ускорение;

- скорость перемещения или вращения;

- позиционирование по линейной или угловой координате;

- расход энергии может быть уменьшен благодаря управлению давлением и расходом в соответствии с текущими требованиями;

- один пропорциональный клапан может заменить несколько обычных элементов, например дроссель и распределитель.

Сравнение пропорциональной и сервогидравлики:

Сервоклапаны могут выполнять те же функции, что и пропорциональные.

Благодаря **увеличенной точности** и скорости сервотехника имеет ряд преимуществ. Преимущество же пропорциональной гидравлики заключается в более **низкой стоимости** и менее жестких требованиях по обслуживанию:

— Конструкция клапанов более простая и имеет лучший показатель стоимость-эффективность.

— Перекрытия в золотнике и более мощные пропорциональные магниты для его перемещения увеличивают надежность работы. Требования к фильтрации рабочей жидкости менее жесткие и периоды обслуживания длиннее.

Сервогидравлические приводы часто работают в составе системы с замкнутым контуром. Приводы с пропорциональными клапанами обычно выполняют последовательность перемещений, при которой нет необходимости в

измерительной системе и контроллере. Это значительно упрощает систему.

Пропорциональная техника сочетает возможность непрерывного изменения параметров с прочностью, надежностью и низкой стоимостью клапанов. Пропорциональные клапаны заполняют брешь между дискретными и сервоклапанами.

8 Промышленные пневмоприводы

По характеру действия исполнительных устройств различают системы непрерывного и дискретного действия. Дискретным (двухпозиционным) называется привод, рабочий орган которого имеет два фиксированных положения. Управление его перемещением выполняется наиболее простым релейным способом с помощью моностабильных или бистабильных пневмораспределителей.

Непрерывным или **слеющим** приводом называют привод, позиционирование рабочего органа которого обеспечивается в любой точке заданного диапазона перемещения с требуемой точностью. Заданный закон перемещения выходного звена обеспечивается системами автоматического регулирования с использованием **пропорциональных пневмораспределителей**.

Слеющие пневматические приводы делятся на:

- **Непрерывные** (линейные и нелинейные);
- **Дискретные – цифровые** (ЦСПП) – характеризуются наличием элементов, осуществляющих квантование как по времени, так и по уровню;
- **Импульсные** (ИСПП) – в которых сигналы квантуются по времени.

Принцип действия слеющих приводов состоит в непрерывном сравнении входного управляющего сигнала с перемещением выходного звена пневмодвигателя и в регулировании потока рабочей среды (сжатого воздуха) пропорционально величине рассогласования указанных параметров. Слеющие пневмоприводы работают в соответствии с установленной для них программой. Эта программа обнаруживает отклонение регулируемой величины от управляемого воздействия и вносит коррективы, чтобы свести это отклонение к

нулю.

СПП – это замкнутая активная динамическая система, управляющая перемещением объекта регулирования. При этом регулируемая величина с некоторой точностью воспроизводит приложенное к системе управляющее воздействие:

$$Y = k_x \cdot x$$

Y – перемещение выходного звена привода;

k_x – передаточный коэффициент привода;

x – входное управляющее воздействие.

Как правило, в таких системах используются **ПЛК** (перепрограммируемые логические контроллеры), которые выполняют функции измерительного устройства, устройства сравнения текущего значения регулируемой величины (координаты или давления) с управляющим запрограммированным воздействием, и на основе этого сравнения формируется сигнал ошибки – первичный сигнал управления.

В качестве исполнительных пневматических двигателей используются пневмодвигатели с навесными или встроенными стационарными датчиками положения выходного звена, которые выполняют функции аналоговых (потенциометрических) или цифровых (кодовых, импульсных) датчиков обратной связи.

Методы математического моделирования мехатронных систем

Введение в математическое моделирование

Моделированием

Называется процесс замены одного объекта другим с целью изучения свойств объекта - оригинала путем получения информации об объекте - модели

Модель – представление объекта, системы или явления, в некоторой форме, отличной от их реального существования

Моделирование -
Во-первых, построение модели
Во-вторых, изучение модели
В-третьих, анализ системы на основе данной модели

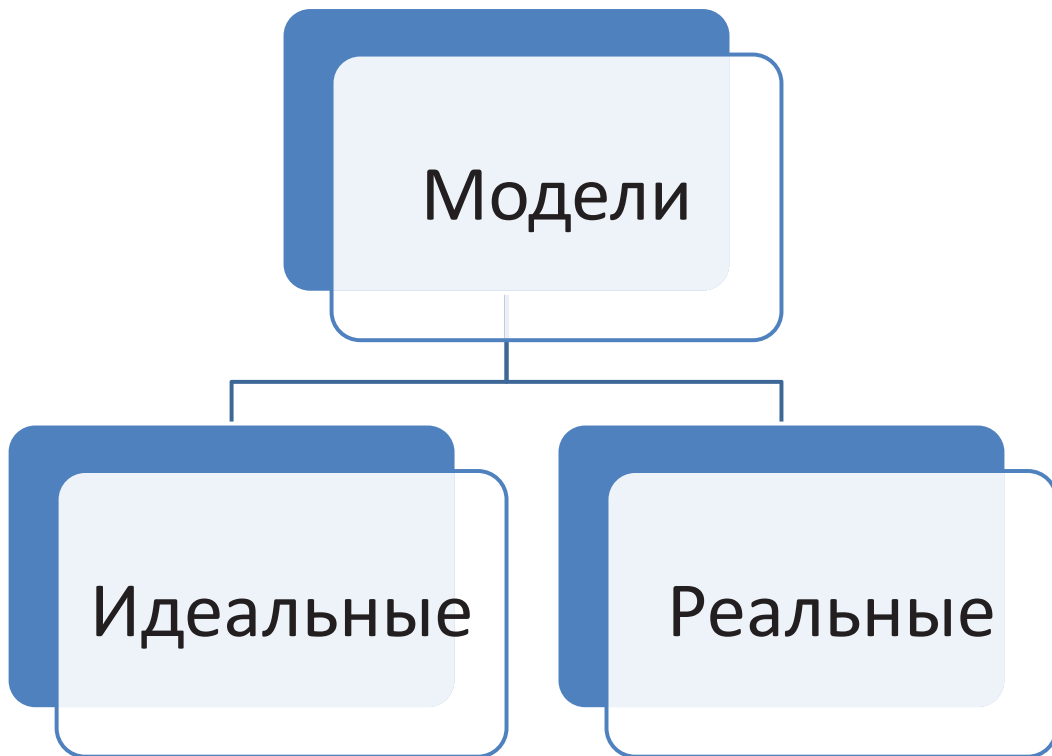
Математическая модель

- — это приближенное описание какого-либо класса явлений или объектов реального мира на языке математики.
- Основная цель моделирования — исследовать эти объекты и предсказать результаты будущих наблюдений.
- Однако моделирование — это еще и метод познания окружающего мира, дающий возможность управлять им.

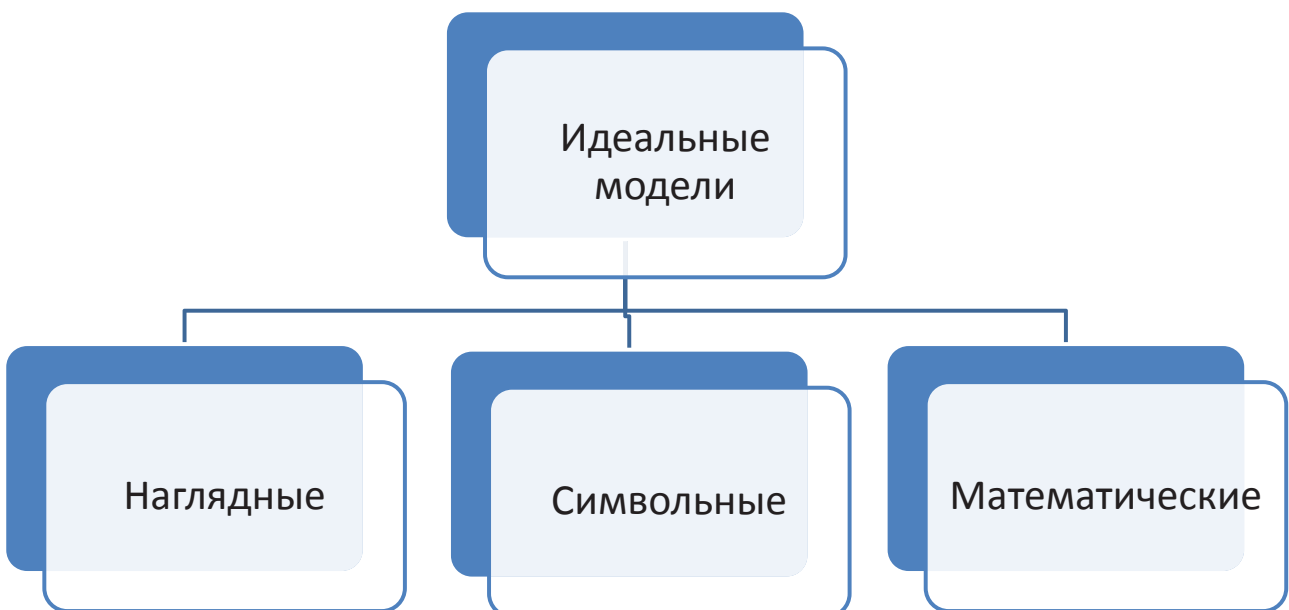
Математической моделью

- *некоторого объекта, процесса или явления будем называть запись его свойств на формальном языке с целью получения нового знания (свойств) об изучаемом процессе путем применения формальных методов.*
- Альтернативой формальному (математическому) подходу является экспериментальный подход.

Классификация моделей



Классификация идеальных (мысленных) моделей



Классификация математических моделей

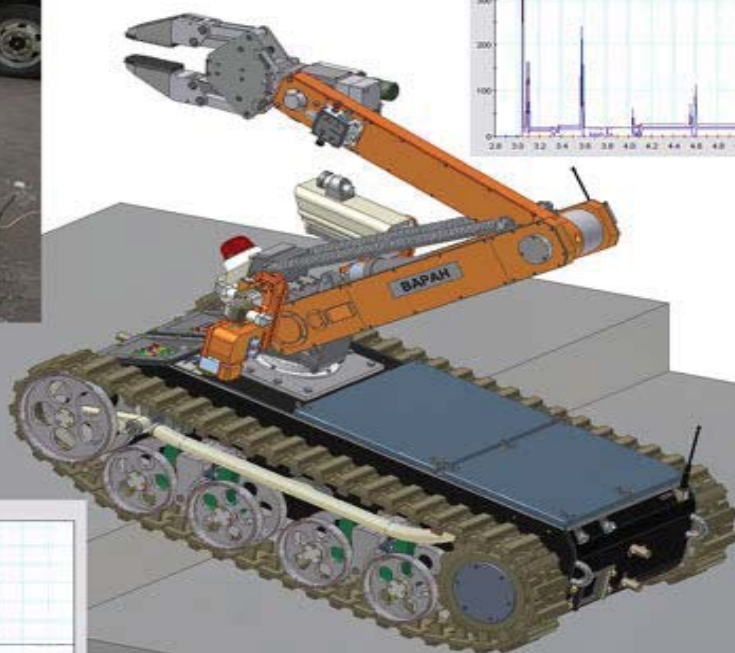
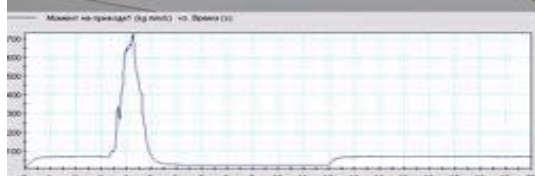
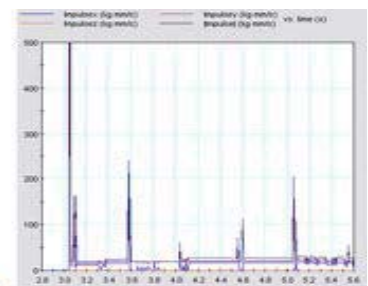


Аналитические модели

Детерминированные	Стохастические
Линейные	Нелинейные
Аналитически решаемые	Численно решаемые
Теоретические	Эмпирические
Статические	Динамические

Имитационное моделирование

метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Такую модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику.



Имитационное моделирование

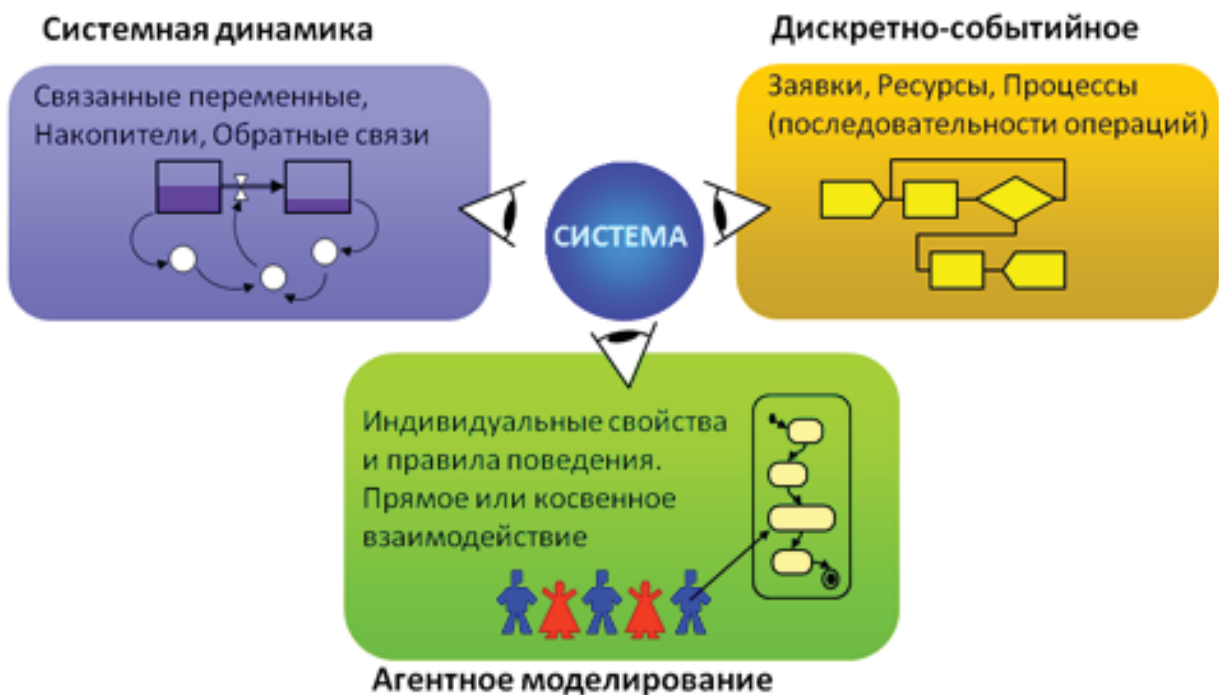
— это частный случай математического моделирования. Существует класс объектов, для которых по различным причинам **не** разработаны аналитические модели, либо не разработаны методы решения полученной модели. В этом случае аналитическая модель заменяется имитатором или имитационной моделью.

Имитационное моделирование

— это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе.

- Экспериментирование с моделью называют **имитацией** (имитация — это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте).
- экспериментирование на компьютере проводится в целях **проектирования, анализа и оценки функционирования объекта**.

Виды имитационного моделирования



Системная динамика

- 1-й этап: Построение графических диаграмм причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени;
- 2-й этап: созданная на основе диаграмм модель имитируется на компьютере. Такой вид моделирования помогает понять суть происходящего и выявить причинно-следственные связи.

Системная динамика

- С помощью системной динамики строят модели технических объектов, в том числе, отдельных устройств и целых систем, бизнес-процессов, развития города, модели связей в системе производства, динамики популяции, экологии и развития эпидемии. Метод основан Джеймсом Форрестером в 1950 годах.

Дискретно-событийное моделирование

- функционирование системы представляется как хронологическая последовательность событий. Событие происходит в определенный момент времени и знаменует собой изменение состояния системы.

Дискретно-событийное моделирование

- подход к моделированию, предлагающий абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы, такие, как: «ожидание», «обработка заказа», «движение с грузом», «разгрузка» и другие.

Дискретно-событийное моделирование

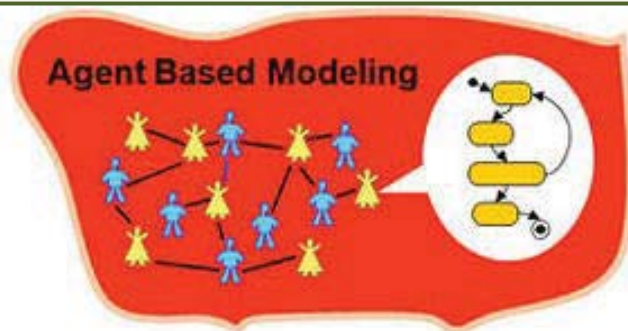
- наиболее развито и имеет огромную сферу приложений — от логистики и систем массового обслуживания до транспортных и производственных систем. Этот вид моделирования наиболее подходит для моделирования производственных процессов. Основан Джеффри Гордоном в 1960-х годах.

Агентное моделирование

- относительно новое (1990-е-2000-е гг.) направление в имитационном моделировании, которое используется для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами, а наоборот, когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы.

Агент -

некая сущность, обладающая активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением, а также самостоятельно изменяться.



Цель агентных моделей

- получить представление об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении её отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе.

Для чего применяются математические модели

- модель нужна для того, чтобы понять, как устроен конкретный объект, какова его структура, основные свойства, законы развития и взаимодействия с окружающим миром (**понимание**);
- модель нужна для того, чтобы научиться управлять объектом (или процессом) и определить **наилучшие способы управления** при заданных целях (**оптимизация**);
- модель нужна для того, чтобы прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации заданных способов и форм воздействия на объект (**прогнозирование**).

Два основных класса задач, связанных с математическими моделями

- **Прямая задача:** структура модели и все её параметры считаются известными, главная задача — провести исследование модели для извлечения полезного знания об объекте.

Обратная задача:

- известно множество возможных моделей, надо выбрать конкретную модель на основании дополнительных данных об объекте. Чаще всего структура модели известна, и необходимо определить некоторые неизвестные параметры (наблюдение, задачи проектирования)

Пример – метод Ньютона восстановления сил трения по наблюдаемым затухающими колебаниями

Схема применения математической модели



Математическое моделирование позволяет

- до создания реальной системы (объекта) или возникновения реальной ситуации рассмотреть возможные режимы работы, выбрать оптимальные управляющие воздействия, составить объективный прогноз будущих состояний системы.

Вычислительные эксперименты,

- проводимые на основе математических моделей, помогают увидеть за частным общее, развить универсальные методы анализа объектов различной физической природы, познать свойства изучаемых процессов и систем.

математическое моделирование

- наконец, является основой интенсивно разрабатываемых автоматизированных систем проектирования, управления и обработки данных.