

МЕХАТРОНИКА

1. Основные понятия.

- **Цель мехатроники** как области науки и техники заключается в создании качественно новых модулей движения, а на их основе – движущихся интеллектуальных машин и систем.
- **Предметом мехатроники** являются процессы проектирования и производства модулей, машин и систем для реализации заданных функциональных движений.
- **Функциональное движение** мехатронной системы предусматривает ее целенаправленное механическое перемещение, которое координируется с параллельно управляемыми технологическими и информационными процессами.

1. Основные понятия.

- **Основой функциональных движений** в мехатронике служит механическое перемещение системы в пространстве и во времени. Требования к показателям качества исполнения функциональных движений (по точности, скорости и т.д.) определяются служебным назначением машины.
- **Метод мехатроники** основан на системном сочетании таких ранее обособленных естественно-научных и инженерных направлений, как точная механика, микроэлектроника, электротехника, компьютерное управление и информатика.
- **Основой метода мехатроники** является синергетическая интеграция структурных элементов, технологий, энергетических и информационных процессов на всех этапах жизненного цикла изделия.

1. Основные понятия.

- В мехатронике все энергетические и информационные потоки направлены на достижение единой **цели** – выполнить программное движение с заданными показателями качества.
- Элементы мехатронных модулей и машин имеют различную физическую природу, что определяет **междисциплинарную сущность** предмета мехатроники и ее научно-техническую проблематику.
- **Мехатронные технологии** включают в себя:
 - маркетинговые,
 - проектно-конструкторские,
 - производственные,
 - технологические
 - и информационные процессы, которые обеспечивают полный жизненный цикл мехатронных изделий.

Комбинированные технологии

- гибридные технологии электромеханики и мехатроники;
- цифровые технологии управления движением;
- технологии автоматизированного проектирования управляемых машин и CALS-технологии.

CALS – Continuous Acquisition and Life-Cycle Support

CALS – принятая в промышленно развитых странах **концепция информационной поддержки жизненного цикла продукции**, основанная на использовании интегрированной информационной среды,...

Примеры элементов CALS:

- САПР механических систем (AutoCAD, ProEngineer, Telex-CAD)
- Программные пакеты при моделировании и проектировании (MATLAB/Simulink, MAPLE, LabView, P-CAD).

Применение мехатроники

Сегодня мехатронные модули и системы находят широкое применение в следующих областях:

- станкостроение и оборудование для автоматизации, технологических процессов в машиностроении;
- промышленная и специальная робототехника;
- авиационная и космическая техника;
- военная техника, машины для полиции и спецслужб;
- электронное машиностроение и оборудование для быстрого прототипирования;
- автомобилестроение (приводные модули "мотор-колесо", антиблокировочные устройства тормозов, автоматические коробки передач, системы автоматической парковки);
- нетрадиционные транспортные средства (электромобили, электровелосипеды, инвалидные коляски);
- офисная техника (например, копировальные и факсимильные аппараты);
- периферийные устройства компьютеров (например, принтеры, плоттеры, дисководы CD-ROM);

Применение мехатроники (продолжение)

- медицинское и спортивное оборудование (биоэлектрические и экзоскелетные протезы для инвалидов, тонусные тренажеры, управляемые диагностические капсулы, массажеры и т.д.);
- бытовая техника (стиральные, швейные, посудомоечные машины, автономные пылесосы);
- микромашины (для медицины, биотехнологии, средств связи и телекоммуникации);
- контрольно-измерительные устройства и машины;
- лифтовое и складское оборудование, автоматические двери в отелях и аэропортах;
- фото- и видеотехника (проигрыватели видеодисков, устройства фокусировки видеокамер);
- тренажеры для подготовки операторов сложных технических систем и пилотов;
- железнодорожный транспорт (системы контроля и стабилизации движения поездов);
- интеллектуальные машины для пищевой и мясомолочной промышленности;
- полиграфические машины;
- интеллектуальные устройства для шоу-индустрии, аттракционы.

«Кондратьевские циклы»

Ход развития мехатроники вполне соответствует учению о «больших циклах конъюнктуры», автор которого выдающийся **российский экономист Н.Д. Кондратьев**.

Индустриальному обществу присущи циклические кризисы и связанные с ними периоды радикального обновления технического способа производства.

Н.Д. Кондратьев дал **математическое описание** зависимости размера дохода от уровня техники производства как решение дифференциального уравнения.

«Кондратьевские циклы»: Каждый цикл характеризуется новой технологической, ресурсной и энергетической базой, приводящей к созданию принципиально новой продукции.

Длительность жизненного цикла технического способа производства составляет примерно 50-60 лет.

«Кондратьевские циклы» (продолжение)

В XX в. принято выделять **два основных цикла** в развитии промышленности европейских стран:

1. В нашей стране промышленность группы А, создающая средства производства, сформировалась после войны в 1950-х годах.
2. Последующее развитие до конца 80-х годов в целом соответствовало **второму «кондратьевскому циклу»**.

Характерным для этого цикла является развитие механики, электроники и информатики как отдельных, практически автономных направлений.

«Кондратьевские циклы»

(продолжение)

Технологии машиностроения базировались в основном на методах механообработки, где был накоплен большой теоретический и экспериментальный материал.

В настоящее время преобладают задачи, для решения которых требуются качественно новые технологические процессы и средства производства.

Создание мехатронных машин и технологий, особенно начиная с 1990-х годов, идет на стыке нескольких научно-технических направлений и является ответом производителей оборудования на поставленные рынком технико-экономические и функциональные требования.

«Кондратьевские циклы» (продолжение)

Фундаментальное отличие нового поколения производственных технологий и машин состоит в том, что в их основе лежат интегрированные знания из таких ранее обособленных областей, как **прецизионная механика и компьютерное управление, информационные технологии и микроэлектроника.**

Учитывая принципиальное отличие новых машин и технологий, современную фазу развития машиностроения можно отнести к новому **(третьему) «кондратьевскому циклу».**

Целевая задача мехатроники

Целевой задачей мехатроники является проектирование и производство качественно новых модулей и движущихся машин.

Машины нового поколения должны отвечать таким **общим критериям**, как:

- отношение цена/качество,
- высокая надежность и безопасность функционирования,
- гибкость и быстрая реконфигурация при переходе на новое изделие.

Современные требования

К числу новых современных требований к функциональным и техническим показателям модулей и машин в первую очередь следует отнести:

- выполнение машинами и системами качественно новых служебных и функциональных задач;
- сверхвысокие скорости движения конечного звена машины – ее рабочего органа, что определяет новый уровень производительности технологических комплексов;
- ультрапрецизионные движения модулей с целью реализации новых прецизионных технологий вплоть до микро – и нанотехнологий;

Современные требования (продолжение)

- компактность модулей и движущихся систем, миниатюризация конструкций в микромашинах;
- новые кинематические структуры и конструктивные компоновки многокоординатных машин;
- интеллектуальное поведение систем, функционирующих в изменяющихся и неопределенных внешних средах;
- выполнение пространственных движений по криволинейным траекториям и реализация сложных законов перемещения во времени.

2. Новые служебные и функциональные задачи ММ

Характерным примером выполнения мехатронной системой новых служебных функций может служить применение мобильных технологических роботов для инспекции и ремонта подземных трубопроводов.

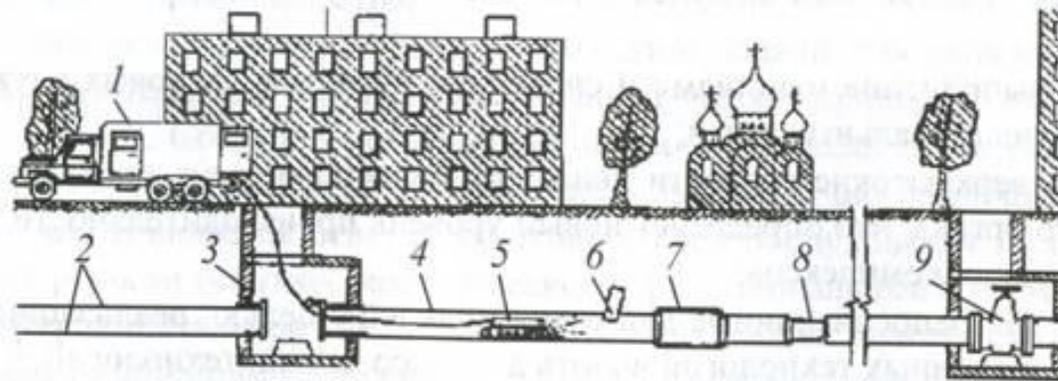


Рис. 1.1. Схема обследования внутреннего состояния подземного трубопровода мобильным роботом:

- 1 – передвижная (автомобильная) станция управления роботом;
- 2 – входной участок трубопровода; 3 – колодезь; 4 – обследуемый участок трубопровода; 5 – мобильный робот; 6 – врезка в трубопровод;
- 7 – участок трубопровода с увеличением диаметра; 8 – участок трубопровода с уменьшением диаметра; 9 – задвижка

2. Новые служебные и функциональные задачи ММ

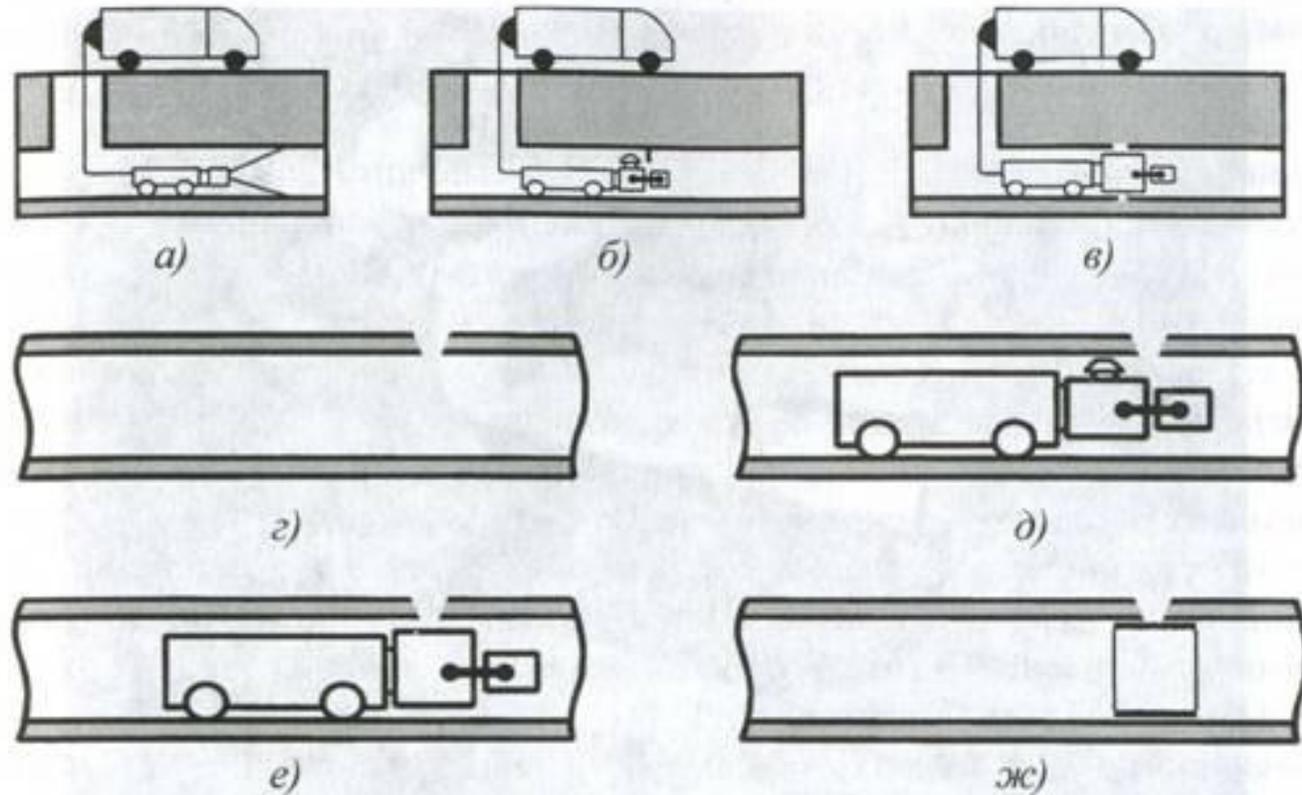


Рис. 1.2. Схемы роботизированных операций:

а – телеинспекция трубопровода; *б* – подрезка выступающих элементов;
в – заделка локального дефекта; *г* – дефект в трубопроводе; *д* – зачистка
с помощью инструментальной головки; *е* – установка бандажа; *ж* – трубопровод
после бандажирования

2. Новые служебные и функциональные задачи ММ

Мобильные технологические роботы представляют собой сложные мехатронные системы. Проектно-конструкторские решения по разработке электромеханической, сенсорной и электрической частей этих машин необходимо принимать только во взаимосвязи, учитывая уже с начальных этапов лимитирующий фактор – диаметр трубы, а также неблагоприятные условия эксплуатации в подземных трубопроводах.

Особенное значение имеют мехатронные системы, функционирующие в условиях, **несовместимых с жизнью человека** либо опасных для его здоровья.

К их числу следует отнести робототехнические комплексы (РТК), предназначенные для работы в средах радиоактивного загрязнения.

2. Новые служебные и функциональные задачи ММ

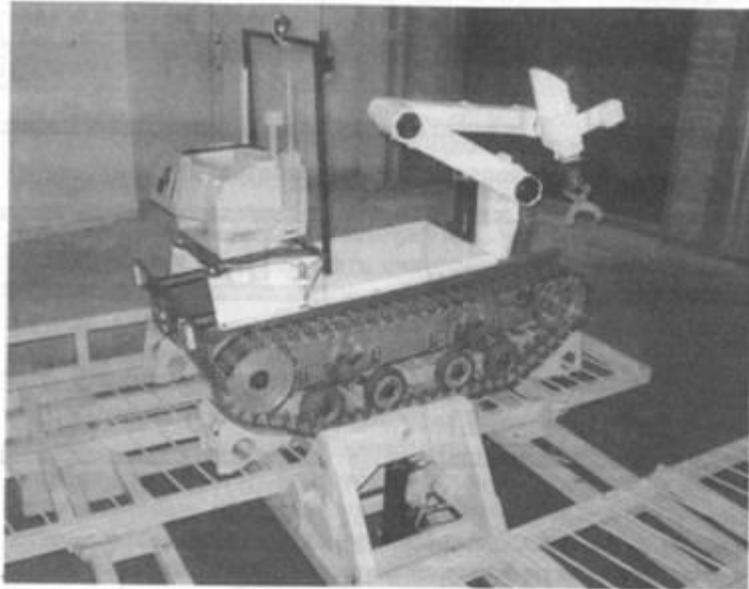


Рис. 1.3. Робот-разведчик Минатома РФ



a)



б)

Рис. 1.4. Специальные мобильные роботы "Вездеход ТМ-3" (а) и "Варан" (б)

3. Сверхвысокие скорости движения ММ

Достижение сверхвысоких скоростей движения рабочих органов современных станков позволяет решить три целевые задачи:

- Повышение производительности механообработки (в 3-10 раз).
- Улучшение качества поверхности обработанных деталей
- Повышение точности обработки.

Примером достижения сверхвысоких скоростей движения на основе применения мехатронных принципов и технологий являются прецизионные электрошпиндельные узлы. На рис. 1.5 представлен ECS мотор-шпиндель 2SP120 фирмы Siemens, предназначенный для фрезерных станков и обрабатывающих центров.

3.Сверхвысокие скорости движения ММ

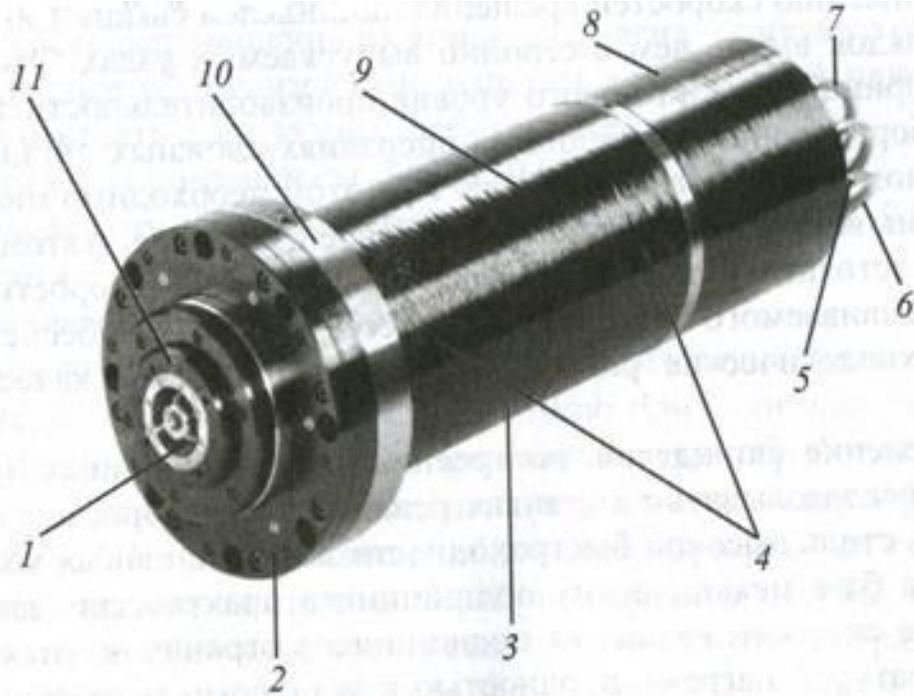


Рис. 1.5. ECS мотор-шпиндель 2SP120:

1 – интерфейс инструмента HSK A63 с продувкой воздуха; 2 – кольцо для внешнего охлаждения инструмента; 3 – синхронный двигатель; 4 – стальной или гибридный подшипник с консистентной смазкой; 5 – фотоимпульсный датчик; 6 – сенсоры состояния зажима инструмента; 7 – силовой кабель; 8 – пневматическое устройство зажима инструмента; 9 – закрытая рубашка охлаждения с фланцем; 11 – лабиринтное уплотнение с воздушной блокировкой

Данный **мотор-шпиндель** – это компактный мехатронный модуль, в котором конструктивные опоры шпинделя, активные части двигателя и встроенные информационные устройства (фотоимпульсный датчик и сенсор состояния зажима инструмента) объединены в единый компактный блок. Данная конструкция модульного исполнения обеспечивает высокую надежность и простоту эксплуатации благодаря удобным пользовательским интерфейсам. Электрошпиндель имеет систему охлаждения, подключения для которой расположены также на шпиндельной бабке.

Серия шпинделей S1 позволяет реализовать крутящие моменты в диапазоне 40...170 Н•м и частоты вращения инструмента 10 000...8 000 мин⁻¹.

В представленной конструкции ротор электродвигателя и вал инструмента представляют собой единый конструктивный элемент.

3.Сверхвысокие скорости движения ММ

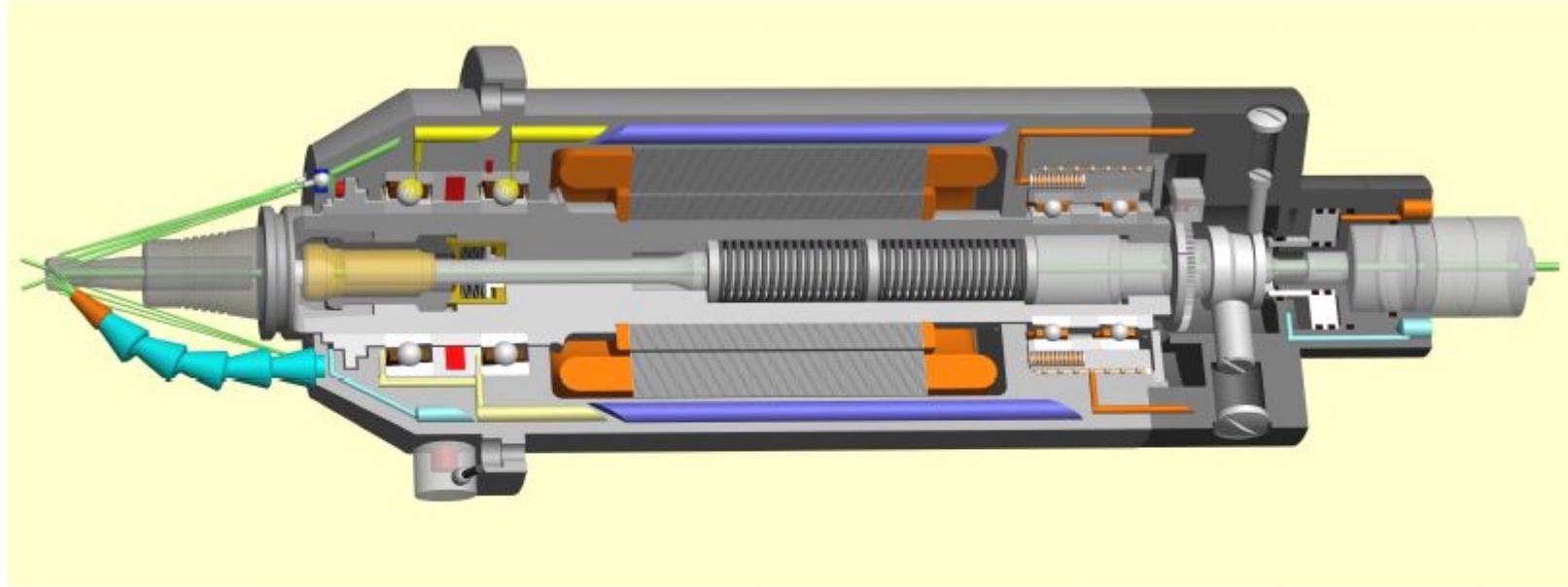


Рис.1 HF- моторшпиндель с оснащением «Condition Monitoring» - датчиками и исполнительными элементами для контроля процесса высокоскоростной обработки

Мотор интегрирован в корпус шпинделя и обеспечивает возможность высоких скоростей вращения без ограничений, обусловленных ременными и зубчатыми передачами.

Моторшпиндель состоит из установленного на подшипниках шпиндельного вала, мотора и системы зажима инструмента. Смазка подшипников перманентная на весь срок службы или воздушно-масляная. Воздушно-масляная смазка позволяет достичь более высокие – на 20% и выше скорости вращения. Мощность электрошпинделя определяется мощностью мотора. Выбор шпинделя для конкретного

3. Сверхвысокие скорости движения

ММ

Дальнейшее развитие сверхскоростного резания ставит новые задачи по достижению скоростей вращения шпинделей свыше 100 000 мин⁻¹, что на порядок выше, чем в серийно выпускаемых узлах. При этом необходимо минимизировать уровень вибраций и потери на тепловое излучение.

Автоматический контроль состояния узла и параметров его движения (скорости, угла поворота и развиваемого момента) в процессе обработки обеспечивает заданные технологические режимы, гарантируя высокое качество обработки.

Достигнуть столь высокой быстроходности в традиционных конструкциях узлов на базе механ

ников практически невозможно.



Быстроходность мотор-шпинделя

Показателем быстроходности обычно служит произведение:

$$P = d * n,$$

где d – диаметр под шейку переднего подшипника;

n – частота вращения.

Для шпинделей **на подшипниках качения** показатель быстроходности обычно не превышает $P = 1 * 10^6$ (мм/мин), в то время как для подшипников **на электромагнитных опорах** он в несколько раз выше и ограничен только механической прочностью материала шпинделя.

Шпиндель с подшипниками на электромагнитных опорах является эффективным мехатронным решением, так как его новое качество – **сверхвысокая скорость вращения** – достигается благодаря неразрывной интеграции в едином модуле механических, электротехнических и электронных элементов.

Аналогичная мехатронная идея конструктивного слияния двигателя и рабочего органа реализована в модулях для транспортных средств, которые получили название «мотор-колесо».

4. Ультрапрецизионные перемещения

Важнейшим требованием, которое предъявляется к современным мехатронным модулям и системам, является **прецизионность** или **сверхвысокая точность перемещений** их конечного звена – **рабочего органа**.

Современные технологические машины для микро – и нанотехнологий должны отвечать следующим требованиям:

- допускаемая погрешность формы 0,01...0,1 мкм;
- шероховатость обрабатываемой поверхности $Ra = 0,002.. .0,01$ мкм;
- дискретность перемещения до 5 нм;
- малое сечение стружки (порядка 20 мкм²);
- исключение тепловых деформаций и виброизоляция узлов.

4. Ультрапрецизионные перемещения

В качестве характерного примера можно привести электроэрозионные станки фирмы Sodick, которые применяются для обработки деталей в микрооптике и микроэлектронике, для медицинских микроприборов и микродвигателей.

Столь выдающиеся точностные параметры достигаются благодаря использованию мехатронных модулей на базе **линейных двигателей (ЛД)**.

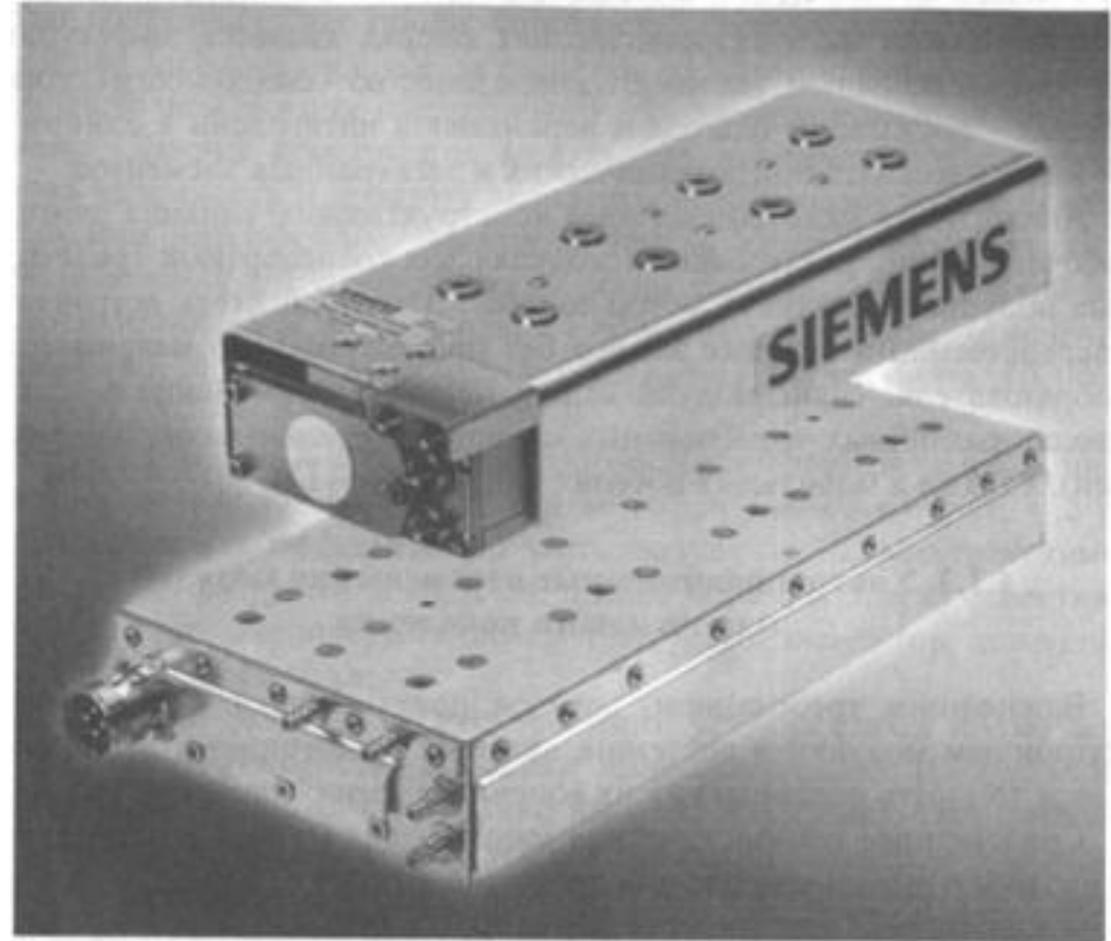


Рис. 1.6. Линейные двигатели 1FN1 и 1FN3 фирмы Siemens

4. Ультрапрецизионные перемещения

Традиционные приводы линейных перемещений включали ротационный двигатель и механический преобразователь вращения в поступательное перемещение (шариковинтовую передачу, зубчатую рейку) (рис. 1.7).

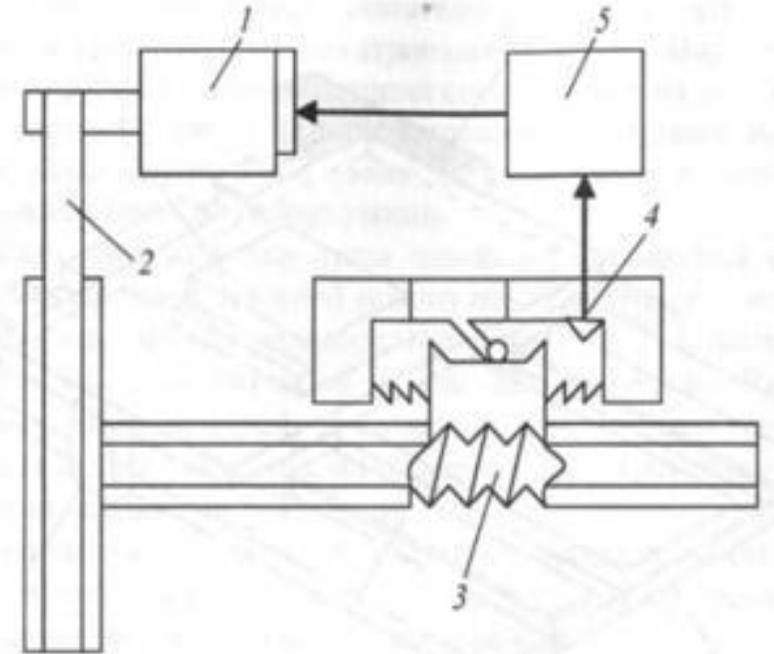


Рис. 1.7. Традиционный привод линейных перемещений:
1 – электродвигатель; 2 – ременная передача; 3 – шариковинтовая передача;
4 – концевой выключатель; 5 – блок управления двигателем

4. Ультрапрецизионные перемещения

Данное решение имеет ряд серьезных недостатков:

- многоступенчатое преобразование движений от двигателя до конечного звена, большое число избыточных промежуточных элементов;
- большая инерционность (особенно в крупногабаритных машинах) из-за последовательного соединения нескольких механических звеньев;
- люфт, температурные и упругие деформации валов и винтов – эти факторы ведут к невысокой точности перемещений и возникновению прерывистых подач, особенно при реверсе;
- трение в сопрягаемых деталях, которое ведет к неизбежному изнашиванию в процессе эксплуатации; необходимость смазывания трущихся деталей;
- датчик обратной связи обычно устанавливается на валу двигателя, что не позволяет контролировать фактическое перемещение рабочего органа.

4. Ультрапрецизионные перемещения

Мехатронный модуль на основе линейного двигателя включает в себя электромагнитный статор, плоский ротор и датчик линейных перемещений (рис. 1.8).

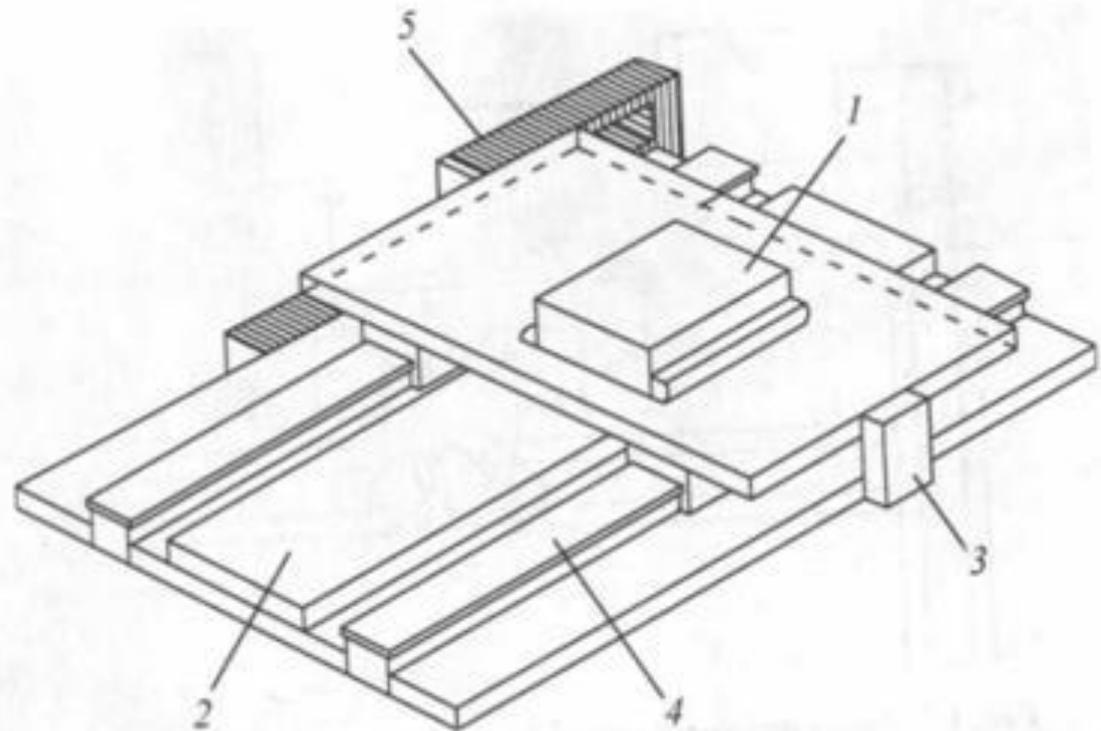


Рис. 1.8. Мехатронный модуль на основе линейного двигателя фирмы Siemens:
1 – ротор линейного двигателя; 2 – статор; 3 – измерительная линейка;
4 – направляющие; 5 – силовой кабель

5. Компактность и миниатюризация ММ

В настоящее время мехатроника предлагает разработчикам **три основных подхода к проектированию компактных модулей.**

1. **Замена** электромеханических устройств на мехатронные модули движения, что позволяет исключить многоступенчатые кинематические цепи от двигателя до конечного звена, сократив избыточные габаритные элементы. Примером этого подхода могут служить мехатронные модули на основе линейных двигателей (рассмотренные в предыдущем разделе).

2. **Конструктивное объединение** в едином корпусе всех основных приводных элементов. Пример такого решения – ротационный модуль фирмы *Maxon* (рис. 1.9). В состав модуля входят коллекторный электродвигатель с постоянными магнитами, планетарный редуктор и фотоимпульсный датчик обратной связи (энкодер).

3. **Синергетическая интеграция элементов** – это наиболее перспективный метод, который позволяет целиком исключить блоки и интерфейсы, получая, таким образом, ультракомпактные конструкции.

5. Компактность и миниатюризация ММ

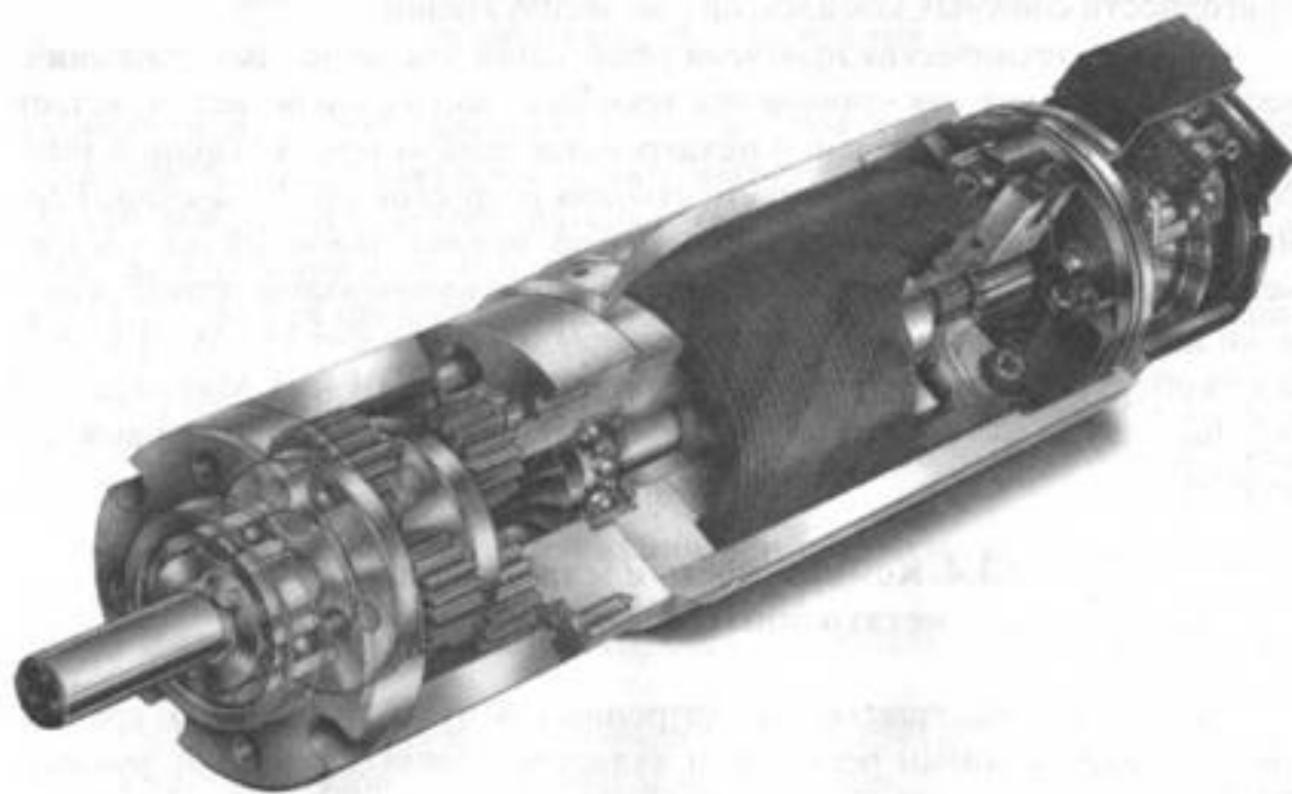


Рис. 1.9. Мехатронный модуль фирмы Maxon