

МЕХАНИКА И УПРАВЛЕНИЕ МАШИНАМИ

Окончание (начало см. № 3(20) 2003 г.)

Работами Виллиса, Чебышева и Рело определены те основные научные направления, которые впоследствии стали содержанием науки, именуемой теперь «Теория механизмов и машин».

После того как мы, хотя и очень приближенно, определили начало становления этой теории как науки, нет необходимости подробно излагать историю ее развития от второй половины XIX века до наших дней, так как это невыполнимо в рамках нашей статьи. Перечислим только некоторых ученых, внесших наиболее существенный вклад в науку о машинах.

В России это были: Н.П. Петров, Ф.Е. Орлов, И.А. Вышнеградский, П.О. Сомов, Н.Е. Жуковский, Х.И. Гохман, В.П. Горячкин, Н.И. Мерцалов, Л.В. Ассур и другие. В Германии — М. Грюблер, О. Мор, Л. Бурместер, Ф. Грасгоф, К. Бах, Ф. Виттенбауер, Г. Альт и другие.

В США до 40-х годов нашего столетия не было научной школы по теории механизмов и машин. Только после второй мировой войны начинается бурный рост этой науки в США, ее творцы — это наши современники. В послевоенные годы наука о машинах получает широкое развитие также в Великобритании, ГДР, Польше, Румынии, Югославии, Болгарии. Закладываются основы этой науки в Италии, Голландии, Австралии, Канаде и других странах.

Большой вклад в формирование науки о машинах в различных странах вложила и вкладывает Международная федерация по теории механизмов и машин.

Что же достигнуто в решении проблем этой теории к настоящему времени? В области теории структуры и классификации механизмов созданы не только методы структурного анализа механизмов любой сложности, но и методы структурного синтеза. Широкое развитие получила теория групп Асура для образования механизмов с одной и более степенями подвижности. Рассмотрены вопросы теории пассивных связей. С помощью алгоритмов, разработанных для ЭВМ, найдены схемы многих новых пространственных механизмов с избыточными пассивными связями, изучены многие вопросы структуры механизмов с пневматическими, гидравлическими, электрическими и другими устройствами.

Наиболее полно развита кинематика как пло-

ских, так и пространственных механизмов. Созданы различные методы кинематического анализа механизмов. Широкое развитие получили аналитические методы, позволяющие проводить более глубокое исследование кинематических и метрических параметров механизмов. Внедрение ЭВМ в практику исследовательских работ позволили получить решение задач кинематики механизмов в самом общем виде.

Существенные результаты получены в теории синтеза плоских и пространственных механизмов. Я имею в виду все виды механизмов, а не только с жесткими звеньями. При этом решены многие проблемы, относящиеся как к кинематическому, так и динамическому синтезу. Основное внимание в настоящее время уделяется вопросам синтеза механизмов по заданным критериям оптимизации. В решении оптимизационных задач синтеза применяется широкий спектр методов в зависимости от конкретно поставленных задач.

Вновь создаваемые машины-автоматы должны обладать высокой эффективностью выполнения технологического процесса, удовлетворять требуемым экономическим показателям, максимально освобождать человека от контроля за их работой. В целях повышения производительности труда, увеличения количества выпускаемой продукции, улучшения экономических показателей производства будут создаваться не только машины-автоматы, но и системы машин автоматического действия в форме поточных линий, заводов-автоматов. Этими системами основные технологические процессы будут увязаны в единый комплекс с такими процессами, как транспортировка, контроль продукции, упаковка, счет выпускаемых изделий и др. Это могут быть поточные линии обычного линейного типа, роторные, кольцевые линии с использованием промышленных роботов и т. д.

Отличительной чертой машин-автоматов и систем автоматического действия ближайшего будущего будет высокий уровень управления ими по самым различным параметрам, критериям и показателям. Системы управления в зависимости от того, какие требования предъявляются к управляемому объекту и условиям, в которых он работает, могут иметь логические элементы электронного, пневматического, гидравлического и меха-



нического типов. Системы управления могут содержать блок памяти и блоки, обеспечивающие автоматическую поднастройку и адаптацию управляемых объектов, позволяющие качественно выполнять требуемый технологический процесс при изменяющихся внешних условиях. Создание систем машин автоматического действия потребует разработки методов вероятностного и структурно-логического анализа и синтеза с учетом их производительности, эффективности, надежности, качества продукции, экономичности и точности действия. Для анализа и синтеза таких систем необходимо создание и развитие специальных формализованных языков, ориентированных на решение проблем синтеза, развитие новых математических методов решения задач структурного синтеза с широким использованием системных подходов к теории исследования операций.

Процессу функционирования больших технологических систем и процессу их синтеза свойственна известная неопределенность, вызванная неполнотой информации об условиях эксплуатации, о качестве используемых систем и т. п. Для анализа и синтеза технологических систем подобного типа, если их рассматривать как системы с неполной информацией, могут быть использованы теории вероятностей, теории массового обслуживания и др. Может быть также использован метод статистического моделирования технологических машин, описанных моделирующими алгоритмами на ЭВМ. В исходных случаях в условиях полной неопределенности тех или иных условий работы технологических систем может быть использована теория игр. Необходимо дальнейшее развитие теории алгоритмических процессов проектирования систем машин автоматического действия. Потребуется разработка новых методов оптимизации, так как проектирование сложных технологических систем машин и линий вследствие множества варьируемых переменных, стохастического характера этих переменных и начальных условий встречает большие математические трудности. Важно, чтобы разработанные методы оптимизации, с учетом специфики синтезируемых систем, давали экономную вычислительную процедуру и по форме были приемлемы для повседневной практики проектирования.

Любая машина, в том числе и машина-автомат, представляет собой совокупность механизмов, выполняющих самые различные операции: технологические, транспортные, контрольные, управляющие и т. п. Многообразие этих механизмов очень велико, и их можно классифициро-

вать по различным признакам в зависимости от поставленной задачи анализа или синтеза. Наиболее всеобъемлющей классификацией будет классификация по видам тех элементов, которые входят в состав того или иного механизма. Так, мы различаем механизмы только с жесткими звеньями и механизмы, у которых кроме жестких звеньев имеются гидравлические, пневматические, электрические элементы и, наконец, электронные и фотоэлектронные элементы. Формирование методов анализа и синтеза механизмов с указанными элементами составляет одну из главных задач современной теории механизмов. В ближайшие годы предстоит совершенствовать структурный синтез кинематических цепей, в первую очередь пространственных цепей со многими степенями свободы. Будет осуществляться дальнейшая разработка теории пространственных механизмов. Методов кинематического и динамического их анализа и методов их синтеза. Должны быть продолжены работы по синтезу плоских механизмов. Основное внимание требуется уделить синтезу механизмов с переменными кинематическими и динамическими параметрами, изменяющейся структурой, с возможностью изменения в процессе движения механизмов основных кинематических характеристик и т. д. Задачи синтеза механизмов с гидравлическими, пневматическими, электрическими и другими элементами весьма сложны, так как кроме характеристик механической части этих механизмов при решении задач синтеза должны учитываться и специфические характеристики гидравлических, пневматических, электрических и других элементов, входящих в структуру механизмов.

Так как задачи синтеза механизмов чаще всего связаны с многокритериальными системами, их решение обычно сводится к поиску оптимальных вариантов. Это возможно, как правило, только с помощью ЭВМ и требует разработки соответствующих алгоритмов и программ.

Большие задачи стоят в области анализа и синтеза механизмов передач. Здесь в первую очередь надо отметить необходимость дальнейшего развития синтеза зубчатых зацеплений, особенно пространственных. Важно также последующее формирование теории и методов проектирования сложных зубчатых редукторов с планетарными и дифференциальными схемами. Быстро разрабатываются теория и методы синтеза волновых передач. Почти все отрасли промышленности нуждаются в надёжных механизмах с бесступенчатым изменением передаточных функций. Должна

получить развитие теория механизмов, осуществляющих движение с остановами, т. е. механизмов типа мальтийских крестов, звездчатых, храповых, рычажных и других механизмов. Немало еще нерешенных задач синтеза кулачковых механизмов, сложных зубчато-рычажных, механизмов с упругими и гибкими звеньями и пр. Важной задачей является создание механизмов для измерения различных физических параметров, контроля обрабатываемой продукции, выполнения различных задач управления и т. д. Здесь особо широкое применение смогут получить механизмы с пневматическими, гидравлическими, электрическими элементами, а в некоторых случаях и чисто механические системы.

Повышение энергетических, силовых и скоростных характеристик машин автоматического действия, высокие требования к их точности и надежности обуславливают развитие в ближайшие годы методов динамического исследования и расчета машин. Необходимо дальше разрабатывать методы изучения динамических режимов машин как в периоды установившихся, так и в периоды неустановившихся движений. Изучение неустановившихся режимов имеет большое значение для транспортных, грузоподъемных машин, вибромашин и т. д. Во многих случаях при составлении уравнений движения машин инерционные коэффициенты не постоянны, а являются функцией положения, скорости или времени. Это, например, имеет место при исследовании технологических машин с изменяемой массой обрабатываемого объекта: конвейеров, погрузочно-разгрузочных машин, полиграфических машин и т. д. Но в отдельных случаях в зависимости от требований технологического процесса не только масса, но и сама структура механизмов может быть переменной.

В связи с внедрением в промышленность автоматических систем типа роботов, манипуляторов, шагающих машин и т. п. оказывается необходимым совершенствование динамики механизмов со многими степенями свободы, методов приведения сил и масс в механизмах этого вида.

Важную роль в развитии динамики играет дальнейшая разработка проблем колебаний в машинах. Как уже говорилось, с одной стороны, это вопросы борьбы с вредными вибрациями путем создания виброустойчивых конструкций машин и механизмов, с другой — использование эффекта вибраций для выполнения различных технологических процессов и создание новых вибрационных двигателей и механизмов, обладающих тре-

буемыми кинематическими характеристиками. «Все в мире вибрирует» — это не просто фраза, а реальная действительность, с которой нам надо считаться и уметь извлекать выгоду. Широкое развитие должны получить методы балансировки роторов и уравнивание механизмов с учетом их конструктивного оформления, зазоров, смазки, упругости. Требуется создание специальных устройств типа виброгасителей, амортизаторов, демпферов и т. д. Важной социальной проблемой являются изучение влияния вибраций на организм человека и разработка средств его вибрационной защиты. Перспективным оказывается направление, связанное с использованием источников вибрации с малыми амплитудами и большими частотами для создания различных приборов, медицинского оборудования, движителей с вращательным и поступательным движением и т. д.

Акустическая динамика машин должна получить дальнейшее развитие в направлении решения важной социальной проблемы — изучения причин и источников шумовых эффектов в машинах и разработки задач динамики машин, связанных с полной или частичной локализацией шумов определенных уровней. Одновременно с этим надо продолжать исследования по использованию шумовых эффектов для технической диагностики машин.

Предстоит и дальше работать над улучшением экспериментальных методов изучения характеристик различных машин и механизмов. При этом особое значение приобретут экспериментальные исследования систем машин автоматического действия в условиях их производственной работы с автоматической регистрацией и обработкой полученной экспериментальной информации.

К машинам автоматического действия относится новый класс машин, получающий широкое применение в технике. Это роботы, автоматические манипуляторы, некоторые типы шагающих машин. Они позволяют осуществлять самые сложные движения исполнительных органов и тем самым автоматизировать широкий круг технологических операций. Особое значение эти машины и системы будут иметь в тех случаях, когда необходимо освободить человека от работы в тяжелых, вредных или опасных условиях, например, при высокой температуре, повышенной радиоактивности, наличии вредных газов и химических продуктов. С их помощью человек может быть освобожден от утомительных и монотонных операций на конвейерах, поточных машинах, при выполнении тяжелых погрузочно-разгрузочных работ.



Подобные автоматические машины и системы уже нашли и будут далее находить применение при проведении научных исследований в космосе, в глубинах и на дне океанов, под землей.

Рабочие органы этих машин, как правило, представляют собой сложные по структуре пространственные кинематические цепи со многими степенями свободы. Задача изучения механики роботов, манипуляторов, шагающих и других машин и систем тесно переплетается с задачами управления в самом широком понимании этих вопросов, т. е. кончая разработкой искусственного интеллекта для них. В первую очередь должны быть развиты работы по структурному, кинематическому и динамическому анализу и синтезу различных схем механизмов, роботов, манипуляторов, шагающих и других машин и систем. Должны быть решены задачи устойчивости движения рабочих органов, изучены колебательные процессы, возникающие в период их движения, рассмотрены задачи, связанные с оптимальными законами движения рабочих органов, разработаны алгоритмы движений этих органов, изучены области обслуживания. При решении задач механики требуется учитывать основные параметры приводов, их влияние на динамику управляемых ими механизмов. Проблема разработки приводов и систем управления роторами, манипуляторами, шагающими и другими машинами является одной из важнейших в создании машин подобного типа. При решении этих задач возникают вопросы создания систем с большой надежностью, оптимальными габаритами, малой инерционностью, обладающих широким диапазоном воспроизводимых скоростей и моментов. Необходимо дальнейшее развитие теории программного управления промышленными роботами, манипуляторами, шагающими и другими машинами с повышением свойств адаптации и самонастройки.

Промышленные роботы и манипуляторы, управляемые человеком-оператором или с помощью программного устройства, могут быть отнесены к роботам первого поколения. В настоящее время большие усилия должны быть направлены на создание роботов последующих поколений, имеющих «технические органы чувств», аналогичные осязанию, слуху, зрению, обонянию, либо воспринимающих неощутимую человеком информацию, например, в форме ультразвука, электромагнитных, тепловых полей и т. д. К роботам еще более высоких поколений будут относиться устройства, обладающие искусственным интеллектом. Для этого должны быть созданы методы

описания окружающего мира, формирования этого мира в памяти роботов, разработки специальных формализованных языков как средств управления роботами, их обучения и управления их поведением, к проблеме искусственного интеллекта для роботов тесно примыкает проблема взаимодействия робота со средой и человеком.

Решение перечисленных вопросов неразрывно связано с развитием вычислительной техники, методов математического моделирования как самих роботов, так и условий, в которых они функционируют, для того чтобы создавать оптимальные конструкции систем управления применительно к назначению создаваемых роботов. Все это возможно сделать только на базе общих и специализированных ЭВМ и других средств вычислительной техники.

Одна из важнейших проблем создания систем машин автоматического действия — проблема механики и управления шагающими машинами и подобными устройствами. Создание локомотивных устройств, передвигающихся с помощью конечностей, требует решения задач структурного, кинематического и динамического анализа и синтеза механизмов, выбора и проектирования движителей, разработки легких, малогабаритных и мощных приводов с высоким КПД и пр. К этой проблеме относятся и задачи разработки экзоскелетов, т. е. устройств для усиления силовых параметров человека, его выносливости и перемещения человека с поврежденным опорно-двигательным аппаратом.

Роботы и шагающие машины по своей структуре и функциональным характеристикам во многом копируют человека и животных. Поэтому очень важно развитие исследований по биомеханике и физиологии. Здесь мы имеем в виду изучение биомеханических характеристик опорно-двигательного аппарата человека, животных, насекомых и физиологических процессов, лежащих в основе управления двигательными процессами, получения слуховой, зрительной и других форм информации, а также изучение процессов пространственной ориентации и средств, обеспечивающих устойчивость движения живых существ.

Я попытался рассказать о будущем теории механизмов и машин в условиях бурной автоматизации технологических процессов и интеллектуального труда человека. В решении задач автоматизации важнейшая роль принадлежит теории механизмов и машин как научной базе машиностроения.

Развитие современной теории механизмов и

машин требует самого тесного сотрудничества ученых и практиков. Практика будет ставить перед теорией все новые и новые вопросы, а теория будет черпать в практике базу для своих научных исследований.

Заканчивая, хочу напомнить одно из высказывания П. Л. Чебышева: «Сближение теории с

практикой, — писал он в одном из своих мемуаров, — дает самые благотворные результаты и не одна только практика от этого выигрывает, сама наука развивается под влиянием ее, она открывает им новые предметы для исследования или новые стороны в предметах, давно известных».

УДК 621.431

ДВИГАТЕЛИ ПРОФЕССОРА АЛЕКСЕЯ НЕСТОРОВИЧА ШЕЛЕСТА

П. А. Шелест, канд. техн. наук (г. Фрязино)

Всем известны такие изобретения XIX века, как пароход Фултона (США), паровоз инженера Стефенсона (Англия), двигатели Рудольфа Дизеля (Германия). Однако мало кто знает, что в XX веке в России были изобретены тепловоз и современная газовая турбина.



Рис. 1. Профессор А.Н. Шелест в Вене, 1922 г.

1. Двигатель с поршневым генератором сжатых газов

В 1913 г. будущий Заслуженный деятель науки и техники, лауреат Сталинской премии, доктор технических наук, профессор МВТУ Алексей Несторович Шелест (рис. 1), будучи студентом-дипломником Московского Императорского Технического Училища (ныне МГТУ им. Н.Э. Баумана), предложил новый принцип работы тепловых машин. В выданной ему привилегии № 28189 записано: «Сущность предполагаемого изобретения заключается в том, что двигатель внутреннего сгорания работает совместно с компрессором, но не связывается кинематически с колесами тепловоза, а свою энергию в виде горячего сжатого газа (не особенно высокой температуры) подает в газовый ресивер, откуда газы расходятся расширительной машиной».

На рис. 2 показана схема тепловоза системы

профессора А.Н. Шелеста. Для осуществления такого принципа работы машин может быть взят любой двигатель внутреннего сгорания, работающий на любом топливе и по любому циклу. Примем исполнение этого двигателя по четырехтактному циклу. Воздух засасывается из атмосферы в компрессор 2 и сжимается в нем до необходимого давления. Из компрессора сжатый воздух по трубопроводу 3 попадает в ресивер 4, откуда в период впуска через трубопровод 5 и клапан 6 подается в цилиндр 1 двигателя, где заполняет его полезный объем. При подходе поршня к нижней мертвой точке впускной клапан 6 закрывается, а при движении поршня вверх происходит сжатие воздуха в цилиндре. Около верхней мертвой точки через форсунку 7 подается топливо, которое от соприкосновения с горячим сжатым воздухом самовоспламеняется и сгорает. При движении поршня вниз происходит расширение продуктов сгорания. Около нижней мертвой точки открывается выпускной клапан 8 и газы по трубопроводу 9 поступают в ресивер 10, а оттуда к расширительной машине 11.

Тяговая характеристика такого тепловоза соответствует тяговой характеристике паровоза, т.е. близка к идеальной. Таким образом, в тепловозе с генератором сжатых газов сохраняются преимущества хорошей тяговой характеристики, и устраняется главный недостаток паровоза — низкий КПД.

В 1916 г. А.Н. Шелест получает деньги на строительство тепловоза от «Общества содействия научным исследованиям в области естествознания и техники» имени крупного мецената Х.С. Леденцова, но вскоре произошла революция и деньги пропали. В 1923 г. Совет Народных Комиссаров выделяет средства в иностранной валюте для постройки тепловоза системы А.Н. Шелеста за границей.