

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

12 декабря 2002 г., 10.00 – 13.00  
11-й учебный корпус БНТУ  
аудитория 206

### *Руководители секции:*

Цветков В.Д. – д.т.н., профессор

Колешко В.М. – д.т.н., профессор

Пуко Р.А. – к.ф.-м.н., доцент

Секретарь: Ковалева И.Л. – к.т.н., доцент

УДК 621.7.681.31

И.П. Филонов

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Обработка деталей машин и приборов в условиях автоматизированного производства предусматривает автоматическое управление режимами обработки. При этом основное требование к технологическому оборудованию заключается в обеспечении параметров качества при заданной производительности. В связи с этим возникают проблемы поиска методов программного обеспечения и технологической реализации законов движения инструмента относительно обрабатываемой поверхности во времени и пространстве. В этом случае методы математического моделирования рассматриваемых процессов и реализация их численного исследования с помощью ЭВМ имеют первостепенное значение. В основе такого математического моделирования лежат взаимосвязи массовых, геометрических и кинематических характеристик передаточных и исполнительных механизмов с механическими (энергетическими) характеристиками приводных двигателей и конкретных операций технологического процесса.

Эти требования применимы и к процессам моделирования сборочных операций. Здесь также требуется знание (задание или поиск) траектории и закона движения вдоль

этой траектории. Параметры траектории (длина, кривизна и кручение), а также средняя скорость движения вдоль нее обеспечивают требуемую производительность. Закон же изменения скорости обеспечивает погрешность позиционирования и динамическую нагрузку средств автоматизации (манипулятора, автооператора).

В основу решения таких задач удобно положить известные уравнения механики отражающие адекватность массовых характеристик машины и модели (звена приведения) на основе равенства их кинетических энергий, а силовых - на основе равенства мощностей. Тогда нетрудно реализовать способ управления электромеханическим приводом машин, учитывающим взаимосвязь силовых, скоростных и массово-геометрических характеристик машины. При этом измеряют угол поворота приведенного двигателя, крутящий момент на нем, задают скорость его вращения в функции угла поворота, исходя из допустимых динамических нагрузок, а напряжение, подаваемое на приводной двигатель, изменяют по закону [1]:

$$U = \sqrt{(M_c^n + I_n \frac{d\omega}{d\varphi} \omega + \frac{\omega^2}{2} \frac{dI}{d\varphi})} \omega R, \quad (1)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2}{I_n} \int_{\varphi_0}^{\varphi} M_{\Sigma} d\varphi + \frac{I_{n0}}{I_n} \omega_0^2}, \quad (2)$$

где  $M_c^n$  - приведенный момент сил технологического сопротивления;  
 $I_n$  - приведенный момент инерции;  
 $\varphi$  - угол поворота приводного вала электродвигателя;  
 $R$  - сопротивление якорной цепи;  
 $\omega$  - угловая скорость вращения приводного вала.

В данном способе управления не учитывается изменение скорости вращения приводного вала обусловленное влиянием сил технологического сопротивления. Для большой группы технологических машин это влияние существенно. В этом случае скорость вращения входящая в уравнение (1) определяется выражением (2):

где  $M_{\Sigma} = M_{\delta}^n - M_c^n$  - суммарный момент на главном приводном валу машины;

$M_{\delta}^n$  - приведенный крутящий момент на главном приводном валу машины;  
 $\varphi_0$  - фиксированное значение угла поворота главного приводного вала машины;  
 $I_{n0}$  - значение приведенного момента инерции машины при фиксированном значении угла поворота  
 $\omega_0$  - фиксированное значение угловой скорости главного приводного вала, при этом измеряют при фиксированном значении угла поворота главного приводного вала машины.

Аналогично формируется система управления электро-гидро-механическим приводом машины [3].

Оценка динамической нагруженности сочленений подвижных звеньев имеет особое значение для манипуляторов. Здесь надежность, стабильность позиционирования и закономерность износа трущихся поверхностей в основном определяется скоростными и массово-геометрическими характеристиками подвижных звеньев. С целью управления, предусматривающего ограничение динамической нагруженности, предлагается следующий алгоритм [4] для конкретной схемы манипулятора:

- задают координаты начала и конца траектории схвата;

- выбирают геометрические характеристики траектории (длину, кривизну и кручение);
- выбирают скорость движения схвата как некоторую функцию  $S$  пройденного пути;
- рассчитывают зависимость пройденного пути от времени;
- определяют и рассчитывают зависимости обобщенных координат от времени, реализующие выбранную траекторию схвата;
- определяют и рассчитывают скорости приводных двигателей, как функцию времени, реализующие выбранную функцию скорости схвата;
- измеряют фактическое значение обобщенных координат и скоростей, а затем, сравнивают их с расчетными;
- на основе результатов сравнения формируют сигналы управления приводными двигателями.

Такой подход позволяет реализовать многовариантные численные исследования с использованием ЭВМ для поиска оптимальных траекторий и законов движения схвата с точки зрения быстродействия для конкретной схемы манипулятора. Он позволяет также используя известные соотношения связывающие массово-геометрические характеристики звеньев с ускорениями, разрабатывать программы управления приводными двигателями по силе, скорости или мощности. Это имеет особое значение при использовании манипуляторов для выполнения технологических операций, требующих высокой точности и стабильности позиционирования [5].

Таким образом, рассматриваемый метод оценки работоспособности отдельных элементов машин как единого целого с развитием программного обеспечения и микропроцессорной техники приобретает все большее практическое значение. Так, например, моделирование силового воздействия на отдельные детали машины с учетом распределения скоростей позволяет рассчитать эпюру износа трущихся поверхностей. Известно, что характер износа одной и той же детали во многом зависит от массово-геометрических характеристик подвижных звеньев и сил технологического сопротивления, как некоторой функции перемещения рабочего органа. Поэтому износостойкость рабочих поверхностей должна быть различной на отдельных участках [6].

Как известно силовое взаимодействие определяется не только кинематическими (аналогами скоростей и ускорений), но и соотношениями сил движущих и сил сопротивления. Речь идет о том, что реакция в кинематических парах механизмов машин в каждом конкретном значении обобщенной координаты (угла поворота приводного вала) будут различными. Определение их значения) в каждом таком положении требует учета индивидуальных особенностей силового взаимодействия отдельных звеньев, их веса, кинематических особенностей относительного движения, а так же сил трения в подвижных соединениях. Кроме этого, требуется также учитывать как силы движущие, так и силы технологического (полезного) сопротивления. Другими словами, предлагается в оценку конфигурации изношенных поверхностей положить не механизм, а так называемый машинный агрегат, объединяющий в себе привод (двигатель, коробку скоростей), исполнительный механизм, к выходному звену которого приложена сила технологического сопротивления. Иначе говоря, предлагается в основу оценки эпюры износа трущихся поверхностей детали положить силовые, кинематические, массовые и геометрические характеристики конкретной рабочей машины с конкретным двигателем. Такой подход позволит более точно выявить особенности износа трущихся поверхностей подвижных звеньев. Кроме этого, представляется также возможность изучить особенности износа каждой кинематической пары в отдельности. Это, в свою оче-

редь, позволяет решить не только проблемы повышения долговечности за счет выявления износа наиболее интенсивно изнашивающихся соединений, но и, что немаловажно, решить проблему равноресурсности по износу всех кинематических пар механизмов, входящих в конкретную машину, например, путем формирования износостойких покрытий с различным значением их коэффициентов износа.

Для достижения такого повышения долговечности предлагаются износостойкие покрытия, наносимые на трущиеся поверхности деталей в поперечном направлении, наносить в соответствии с эпюрами их износа так, чтобы на участке поверхности с большим износом наносить покрытия, отличающиеся большей износостойкостью и наоборот. При этом, как отмечалось ранее, при оценке конфигурации изношенных поверхностей подвижных соединений звеньев скорости скольжения и давления на них определяются с учетом кинематических и динамических характеристик машины в целом, т.е. с учетом характеристик приводного двигателя и сил технологического сопротивления.

Ко всему сказанному предлагается учитывать также то, что обобщенная скорость машины (скорость вращения ее главного приводного вала) внутри цикла не остается постоянной, а изменяется.

Этот же принцип может быть перенесен и на привод поступательного перемещения [7]. Для металлообрабатывающих станков и другого технологического оборудования в большей степени важно учитывать изменение состояния трущихся поверхностей, случайные факторы, оказывающие влияние на изменение соотношения сил резания, перекосы в направляющих и прочее. Таким образом, напрашивается необходимость управления силовыми или геометрическими параметрами, которое позволило бы учитывать как геометрию и типоразмер направляющих, так и возможные вышеперечисленные характеристики нестабильности (непостоянства) силовых и энергетических характеристик. Способ [7] включает регулирование напряжения, подаваемого на приводной двигатель, с использованием закона перемещения в функции узла, связанного с приводной шестерней. Регулирование напряжения осуществляется посредством электрических сигналов, пропорциональных разности скоростей вращения приводной шестерни, полученных из условия равномерного распределения давления на рабочих поверхностях перемещаемого узла и из равновесия сил, приложенных к перемещаемому узлу. Таким образом, процессы, происходящие в современных машинах, не представляется возможным рассматривать отдельно. Поэтому нами сделана попытка изложить методы математического моделирования электрогидро-пневмомеханических связей для обучения студентов и аспирантов в работе [8].

**Литература.** 1. А. С. 1713766. Способ управления приводом машины. / Филонов И. П., Головкин С. С., Быковец С. П. Оpubл. в Б. И., 1992, №7. 2. Патент РБ 2245 Способ управления электромеханическим приводом машины. / Филонов И. П., Быковец С. П., Черкас А. Д. Зарэгістравана у Дзяржаўным рэестры вынаходствау 3 марта 1998 г. 3. Патент РФ 2011910 Способ управления электрогидромеханическим приводом. / Филонов И. П., Черкас А. Д. Оpubл. в Б. И., 1994, №8. 4. А. С. 1815209. Способ управления манипулятором промышленного робота. / Филонов И. П., Герасимов Ю. Б. Черкас А. Д. Круг Л. В. Оpubл. в Б. И., 1993, №18. 5. Патент РФ 2009834 Способ автоматического управления обработкой сферических поверхностей. / Филонов И. П., Круг Л. В. Козежук А. С. Оpubл. в Б. И., 1994, №6. 6. Патент РФ 2107902 Способ повышения долговечности деталей подвижных соединений механизмов машин. / Филонов И. П., Черкас А. Д. Оpubл. в Б. И., 1998, №8. 7. Патент РФ 2106950 Способ управления приводом поступательных перемещений. / Филонов И. П., Черкас А. Д. Оpubл. в Б. И., 1998, №8. 8.

УДК 621.7.681.31

В.Д. Цветков

## ТЕОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ САПР

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Проектирование технических систем и технологических процессов относится к числу сложных и малоизученных задач системно-структурного анализа и синтеза, постановка которых в общем виде сводится к следующему. По заданной технической функции  $F$  и множеству  $Z$  значений эксплуатационных характеристик системы необходимо синтезировать наиболее рациональные при установленных ограничениях структуру и конструкцию системы, определить оптимальные размерно-точностные параметры ее конструктивных элементов.

Основные особенности проектных задач сводятся к следующему. Недостаточность исходных данных для получения проектных решений требуемой степени детализации. Например, по описанию технической функции и параметров изделия невозможно непосредственно получить рабочие чертежи. Для этого необходимо выполнить несколько стадий проектирования. Обобщенный и неконкретных характер технических ограничений и критерия оптимальности, не позволяющий выразить их в явном виде через структуру и параметры проектируемого изделия.

Исследовательский характер основных проектных задач, связанный с тем, что сложные комбинации в пространстве из известных конструктивных элементов и варьирование их параметрами могут привести к непредвиденным результатам функционирования. Кроме того, необходимо учитывать многовариантность проектных задач, не допускающих их решения переборными методами. Указанные особенности позволяют отнести проектирование к особому классу интеллектуальных задач, основу которых составляет функциональный синтез и преобразование моделей пространственных образов конструкций, состоящий из большого числа взаимосвязанных конструктивных элементов.

Интеллектуальными будем считать программно-информационные комплексы, осуществляющие выбор решений на основе эвристического моделирования творческой деятельности инженера-проектировщика. Интеллект специалиста многогранен в своих проявлениях. В наших системах реализованы некоторые из них:

- представление алгоритмов выбора решений плохо формализуемых задач в виде правил продукции "ЕСЛИ ... ТО ...";
- создание более универсальной базы данных и знаний на основе различных форм представления информации (табличной, текстовой, графической и др.), как это характерно для интеллекта проектировщика;
- взаимодействие (интерфейс) проектировщика с ЭВМ осуществляется на ограниченном естественном языке технической прозы;
- адаптивность программно-информационного комплекса достигается путем замены нормативно-справочных данных и содержания правил выбора конструкторских решений без изменения принятых форм их представления и программ обработки.