УДК 681.3.07

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ СТАНКА

Авакимьянов О.О., Гусев В.В. *(каф. МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*
E-mail: mc@mech.dgtu.donetsk.ua

Аннотация. *В статье приведены данные по построению адаптивной системы контроля и регулирования асинхронного электродвигателя станка. Модель системы включает в себя два контура регулирования: тока и скорости вращения выходного вала. Реакция нелинейной динамической системы электродвигателя станка с нейроконтроллером на ступенчатые воздействия со случайной амплитудой, имеет минимизированный колебательный характер с быстрым затуханием.*

Ключевые слова: *электродвигатель, станок, адаптивная система, нелинейная динамическая система.*

1. Введение

Требования к качеству регулирования для сложных объектов с явно выраженными нелинейностями постоянно возрастают. Это способствовало развитию в последние годы современных методов регулирования. Одним из таких методов является регулирование на основе нейронных сетей динамической модели объекта. Данный метод находит все большее применение в промышленных системах управления, что обусловлено его преимуществами. Одно из них - минимум параметров, требующих настройки. Предпосылкой успешного использования такого вида регулирования является наличие, по возможности, точной модели объекта. Как правило, для нелинейных систем формирование такой модели затруднено. В связи с этим здесь представляет интерес применить нейронные сети, способные аппроксимировать практически любые нелинейные системы. Теоретически построение нейронной модели не должно вызывать проблем, так как при этом никакой исходной информации об объекте регулирования не требуется. Практика однако показывает, что структура нейронной сети, число ее входных переменных, метод тренировки и, в особенности, тренировочные множества данных должны быть оптимизированы[1].

2. Основное содержание и результаты работы

В данной работе были затронуты вопросы построения адаптивной системы контроля и регулирования асинхронного электродвигателя станка. Важной особенностью нейронных сетей является их возможность применения для регулирования и контроля, при их непосредственной возможности обнаружения и построения функциональных зависимостей между динамическими параметрами систем управления.

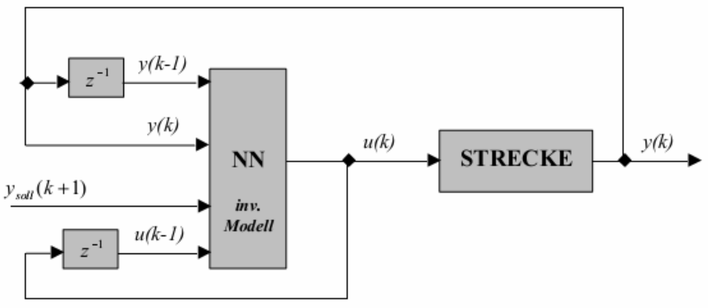


Рис. 1. Схема модели прямоточного инверсного регулирования

Нейронные модели объектов управления, как правило, используется в задачах регулирования в следующих случаях:

- объект управления является нелинейной динамической системой;
- структура (или

параметры) системы, частично или полностью неизвестны.

В таких случаях, для построения динамической системы, используют т. н. NARX - Modell (Nonlinear Autoregressive with eXogenous input) [2].

Представлена схема регулирования с нейроконтроллером т.н. “Direkte inverse Regelung“. Диаграмма потока сигналов наглядно представлена на рис.1:

Для данного метода, для описания зависимости сигналов при регулировании, используют следующее выражение:

$$\hat{u}(k) = N(y_{soll}(k+1), y(k), \dots, y(k-n_y+1), \hat{u}(k-1), \dots, \hat{u}(k-n_u+1)) \quad (1)$$

Передаточная функция для последовательной цепи NN inverses Modell и объекта управления стремится теоретически к значению (1). Это позволяет компенсировать имеющиеся в системе нелинейности [3].

В работе приводится описание модели электродвигателя станка. Модель системы представлена на рис.2:

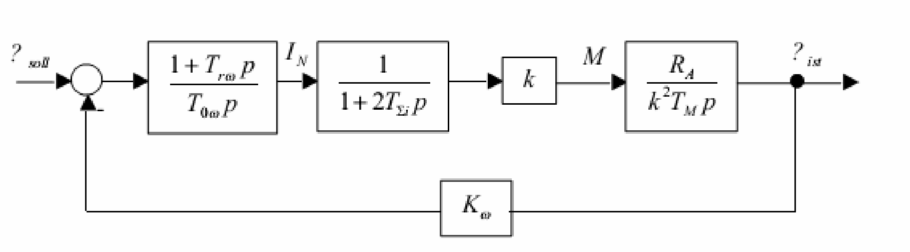


Рис. 2. Структурная модель электродвигателя станка

Модель включает в себя два контура регулирования: тока и скорости вращения выходного вала. В основу проектирования контура регулирования током положен принцип **модульного оптимума**. Для контура регулирования скоростью используется принцип **симметрического оптимума**. Ниже приведена таблица параметров системы [3].

Таблица 1. Параметры электромеханической системы

Описание параметра	Символ
постоянная времени числителя PI - регулятор	$T_{r\omega}$
постоянная времени знаменатель PI - регулятор	$T_{0\omega}$
эквивалентная постоянная времени	$T_{\Sigma i}$
постоянная двигателя	k
сопротивление якоря	R_A
механическая временная постоянная двигателя	T_M
номинальный ток двигателя	I_N
частота вращения двигателя	$?_n$

Проводилось построение входного вектора нейронной сети и выходного вектора цели на основе встроенного пакета Neural Network Toolbox для обучения сети на основе многослойного персептрона с обратным распространением ошибки Левенберг-Маркардта [4].

На рис. 4 видно, что вектор цели (синий цвет), совпадает со входным вектор (зеленый цвет). Было осуществлено построение и моделирование процесса обучения Narx – Modell электродвигателя станка.

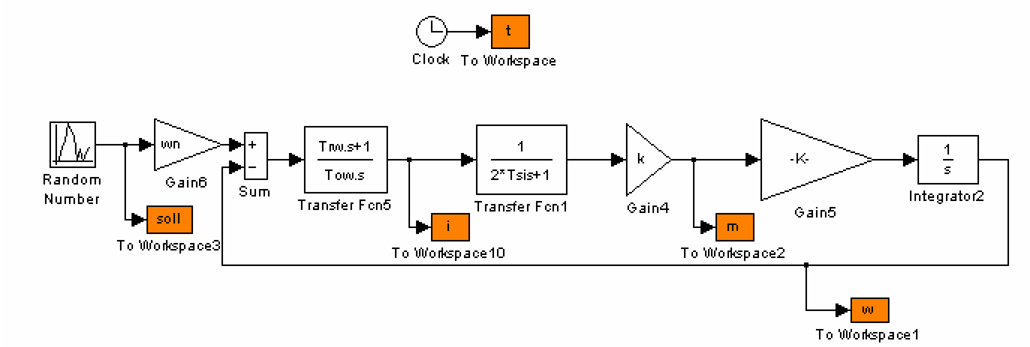


Рис. 3. Модель электродвигателя станка в пакете Matlab Simulink

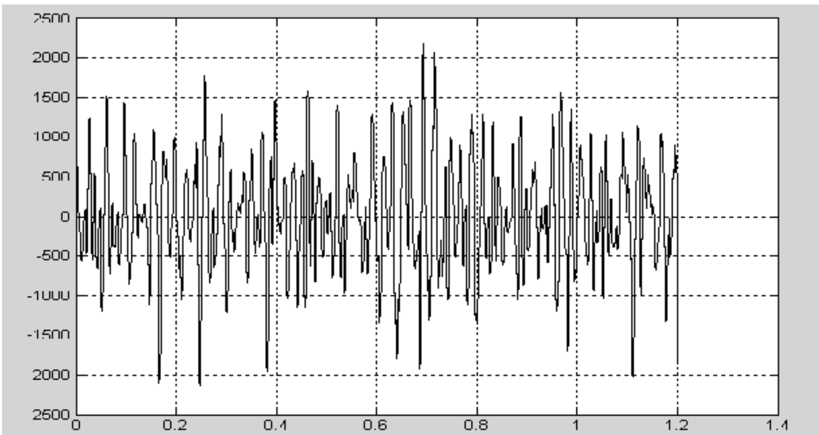


Рис. 4. Характеристика обучения сети

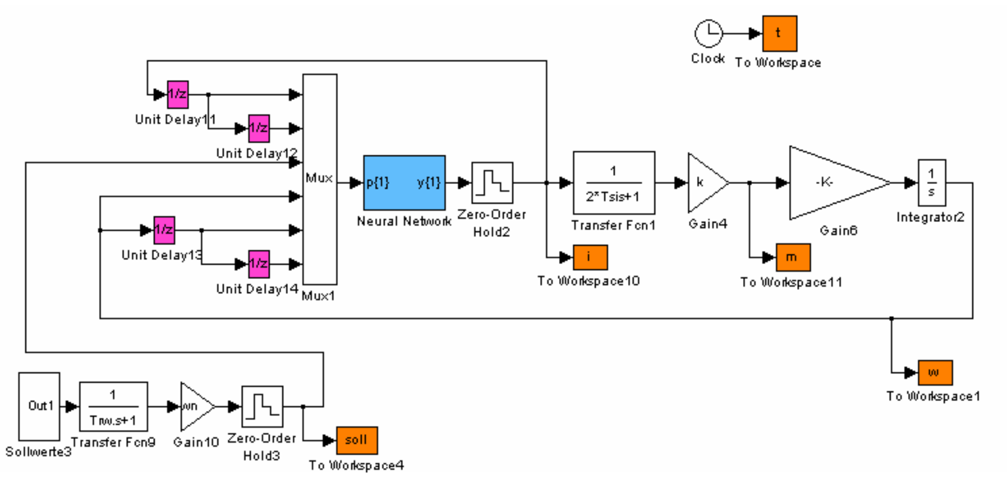


Рис. 5. Narx – Modell электродвигателя станка

На рис.5 представлен график обученной Narx – Modellи электродвигателя, для которого вектор цели (голубой цвет), соответствует входному желаемому вектору (красный цвет).

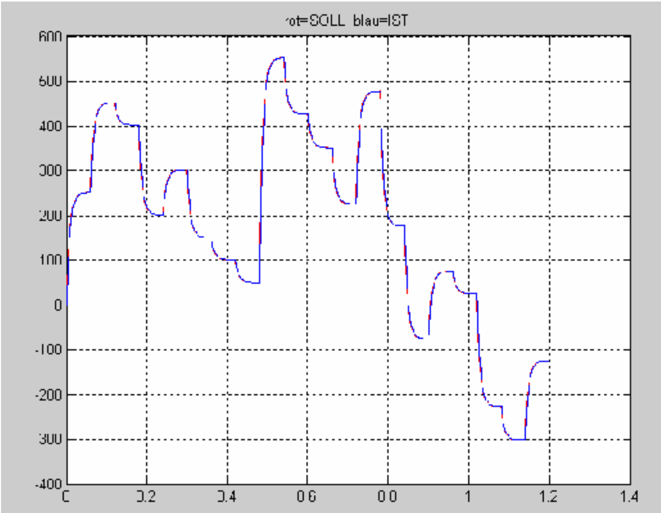


Рис. 5. График обученной Narx – Modellи электродвигателя станка

3. Заключение

Из анализа полученных данных следует, что реакция системы на ступенчатые воздействия со случайной амплитудой вполне удовлетворительна, имеет минимизированный колебательный характер с достаточно быстрым затуханием. Таким образом, нейроконтроллер для Narx –Modell нелинейной динамической системы можно широко использовать для регулирования механических и электрических характеристик двигателя станка.

Список литературы: **1.** Залога В. А., Криворучко Д. В., Мишенин А. А. Выбор оптимальной структуры нейронной сети для решения задач теории резания// Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн. техн. сборник. –Х.: НТУ «ХПИ», 2002. –Вып. 63. –С. 65-71. **2.** Медведев В. В., Ковалевская Е. С. Нейросетевое моделирование как парадигма описания качественных преобразований в технологических процессах // Международная научная конференция «Нейросетевые технологии и их применение». – Краматорск: Донбасская государственная машиностроительная академия, 2002. **3.** Медведев В.С., Потемкин В.Г. нейронные сети. Matlab 6/ Под общ. Ред. К.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: Диалог – МИФИ, 2002. – 496 с. **4.** Neural Network Toolbox. Howard Demuth, Mark Beale 2003. **5.** Бровков М.Б. Системы искусственного интеллекта в машиностроении: Учеб. Пособие. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2004. 119 с.

УДК 681.3(075)

РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС РЕДУКТОРА В СРЕДЕ MATHCAD

Батуев Ц.А., Егодуров Г.С. *(кафедра СМ, ВСГУТУ, г. Улан-Удэ, Россия)*

Аннотация. *В статье исследовано напряженное состояние неравномерно движущихся (или равномерно вращающихся) тел с использованием принципа Д'Аламбера.*

Ключевые слова: *прочность зубчатых колес, принцип Д'Аламбера, напряжения, сечение.*

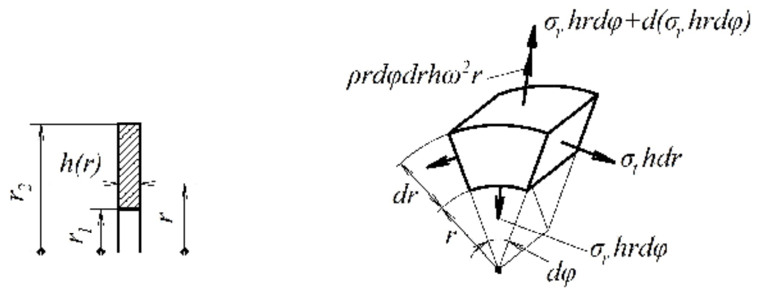
По условиям работы большинство деталей машин находятся в движении (например, лопатки и диски турбомашин, шатуны и т.д.). Во многих случаях ускорения движущихся элементов практически не зависят от их деформации и могут быть определены методами кинематики твердого тела.

Ускорения точек равномерно вращающихся тел (диски, шкивы) постоянны по величине и направлению. Их напряженное состояние не изменяется по времени. Если же ускорения в процессе движения меняют величину и направление (например, шатуны), то можно исследовать напряженное состояние в отдельные моменты времени.

Для изучения напряженного состояния неравномерно движущихся (или равномерно вращающихся) тел воспользуемся принципом *Д'Аламбера*. Систему будем рассматривать как неподвижную, но к каждой ее точке приложим силу, пропорциональную плотности материала, ускорению и направленную в сторону, противоположную ускорению. Эти дополнительные силы будем называть силами инерции. Заметим, что в эту схему вписывается и расчет тел, находящихся под действием собственного веса.

В элементах вращающихся или движущихся неравномерно стержневых систем возникает одноосное напряженное состояние и внутренние силы (а по ним и напряжения) определяются методом сечений.

Во вращающихся дисках имеет место осевая симметрия. Силы, действующие на диск, в том числе центробежные силы от вращения, направлены радиально и равномерно распределены в окружном направлении. Напряженное состояние в диске – двухосное, напряжения равномерно распределены по толщине.



а) б)

Рис. 1. Расчетная схема вращающегося диска и напряженное состояние

На рис.1 показан элемент диска толщиной *h* с инерционными нагрузками. Толщина *h* предполагается малой по сравнению с наружным радиусом r_2.

В диске постоянной толщины окружные $\sigma_t(r)$ и радиальные $\sigma_r(r)$ напряжения определяются по формулам [1,2]

$$\sigma_t(r) = A + \frac{B}{r^2} - \frac{1+3\cdot v}{8}\cdot\rho\cdot\omega^2\cdot r^2 + E\cdot(F(r) - \alpha\cdot\Delta t(r)),$$

$$\sigma_r(r) = A - \frac{B}{r^2} - \frac{3+v}{8}\cdot\rho\cdot\omega^2\cdot r^2 - E\cdot F(r),$$

$$F(r)=\frac{1}{r^2}\cdot\int_{r_1}^{r}\alpha\cdot\Delta t(\eta)\cdot\eta d\eta,\qquad \eta_1\le\eta\le r,$$

где r_1 - внутренний радиус диска; $\Delta t(r)$ - функция температуры диска по радиусу; ν - коэффициент *Пуассона*. Температура диска предполагается постоянной по толщине. В равномерно нагретом по радиусу диске температурные напряжения отсутствуют.

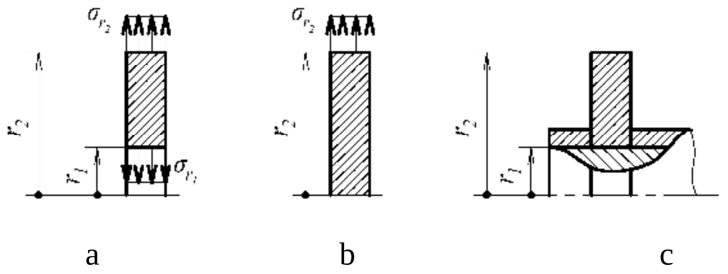


Рис. 2. Варианты граничных условий на контуре диска

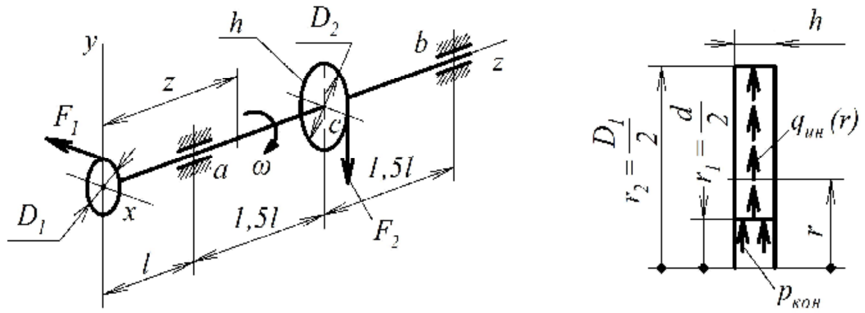
Постоянные A и B определяются из граничных условий в зависимости от формы диска и способа его нагружения. Граничные условия на контуре диска могут быть заданы в перемещениях или силах. На рис.2 показаны различные варианты граничных условий, которые встречаются наиболее часто. На наружном контуре диска при $r=r_2$ $\sigma_r=\sigma_{r2}$ или $\sigma_r=0$ (рис.2,а). Граничные условия на внутреннем контуре радиуса

$r=r_1$ диска зависят от условий его закрепления. Если диск свободно посажен на вал или центральное отверстие свободно, то $\sigma_{r1}=0$. Если диск посажен на вал с диаметральным натягом Δ и этот натяг достаточен, то граничным условием является условие совместности деформаций диска и вала (рис.2,с): $u-u_в=\frac{1}{2}\cdot\Delta$ где u и $u_в$ - радиальные перемещения диска и вала под действием всех факторов (посадки, температуры, центробежных сил), часто принимают $u_в=0$. Натяг Δ равен разнице между радиусом вала и радиусом отверстия диска. Иногда диски выполняют без центрального отверстия (рис.2, *b*). В этом случае на некотором малом радиусе $r_1=(0.01...0.05)r_2$ $\sigma_{r1}=\sigma_{t1}$.

Существует значение угловой скорости, выше которого контакт между валом и диском невозможен. Это значение ω_0 называется освобождающей угловой скоростью и его можно определить из условия $\Delta_\omega=0$. При освобождающей частоте вращения ω_0 контактное давление между валом и диском становится равным нулю и задача сводится к решению диска со свободной внутренней и наружной поверхностями.

Рассмотрим пример расчета на прочность зубчатого колеса редуктора диаметром $м:=m$ $мм:=10^{-3}m$ $кН:=10^3\cdot N$ $МПа:=10^6\cdot Pa$ $c:=s$ $кг:=kg$ $D_1:=200\cdot мм$, посаженного на вал $d:=30\cdot мм$ с натягом Δ_0 (рис.3,*a*). В качестве расчетной схемы выбираем тонкий диск с внутренним и наружным радиусами $r_1:=\frac{d}{2}$, $r_2:=\frac{D_1}{2}$, постоянной толщины $h:=50\cdot мм$ (рис.3,*b*). Вал вращается с частотой $\omega:=262\cdot c^{-1}$ и передает крутящий момент $T:=0.095\cdot кН\cdot м$. Материал диска – сталь марки ст.30:

$$\sigma_y=300\cdot МПа\qquad E=2\cdot10^5\cdot МПа\qquad \rho:=7.8\cdot10^3\cdot кг\cdot м^{-3}\qquad \nu:=0.3$$



a b

Рис. 3. Расчетная схема вала редуктора и зубчатого колеса

Непроворачиваемость диска по отношению к валу при передаче момента T обеспечивается за счет сил трения между валом и диском (коэффициент трения $f := 0.15$). Условие непроворачиваемости (с нормативным коэффициентом запаса $n_{adm} := 1.5$) имеет вид [2]

$$T = \frac{M_{тр}}{n_{adm}} = \frac{p_{k\omega} \cdot f \cdot \pi \cdot d \cdot h \cdot \frac{d}{2}}{n_{adm}},$$

откуда определим контактное давление $p_{k\omega}$ между валом и диском при вращении вала с угловой скоростью ω

$$p_{k\omega} \geq p_{k\omega.adm} \qquad p_{k\omega.adm} := \frac{2 \cdot T \cdot n_{adm}}{\pi \cdot d^2 \cdot h \cdot f} \qquad p_{k\omega.adm} = 13.44 МПа .$$

Найдем натяг Δ_ω при рабочем числе оборотов, обеспечивающий требуемое контактное давление $p_{k\omega} = p_{k\omega.adm}$. Воспользовавшись формулой [2]

$$p_{k\omega} = \frac{\Delta_\omega}{2} \cdot \left[\frac{r_1}{E_в} \cdot \left(\frac{r_1^2 + r_0^2}{r_1^2 - r_0^2} - \nu_в \right) + \frac{r_1}{E_д} \cdot \left(\frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + \nu_д \right) \right]^{-1},$$

находим

$$\Delta_\omega := -2 \cdot p_{k\omega.adm} \cdot d \cdot \frac{D_1^2}{E \cdot (-1 \cdot D_1^2 + d^2)} \qquad \Delta_\omega = 4.125 \times 10^{-6}\ м .$$

Связь Δ_ω с начальным натягом Δ_0 дается выражением [2]

$$\Delta_\omega = \Delta_0 - \frac{\omega^2 \cdot r_1}{2} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\rho_д \cdot (3 + \nu_д)}{E_д} \cdot r_2^2 \ldots \\ + \left[\frac{\rho_д \cdot (1 - \nu_д)}{E_д} - \frac{\rho_в \cdot (1 - \nu_в)}{E_в} \right] \cdot r_1^2 \ldots \\ + - \frac{\rho_в \cdot (1 - \nu_в)}{E_в} \cdot r_0^2 \end{bmatrix},$$

откуда

$$\Delta_0 := \frac{1}{16} \cdot \frac{16 \cdot \Delta_\omega \cdot E + 3 \cdot \omega^2 \cdot d \cdot \rho \cdot D_1^2 + \omega^2 \cdot d \cdot \rho \cdot D_1^2 \cdot \nu}{E} \qquad \Delta_0 = 4.787 \times 10^{-6}\ м .$$

Проверим прочность диска по теории максимальных касательных напряжений Треска-Сен-Венана. При определении напряжений воспользуемся принципом суперпозиции. Инерционные напряжения (рис.4, граничные условия имеют вид: при $r = r_1$ и $r = r_2$ $\sigma_r = 0$) в точках диска вычисляются по формулам:

$$\left.\begin{aligned}\sigma_{r.ин}(r) &:= \frac{\rho \cdot \omega^2}{8} \cdot (3+\nu) \cdot \left(r_2^2 + r_1^2 - \frac{r_2^2 \cdot r_1^2}{r^2} - r^2 \right) \\ \sigma_{t.ин}(r) &:= \frac{\rho \cdot \omega^2}{8} \cdot (3+\nu) \cdot \left(r_2^2 + r_1^2 + \frac{r_2^2 \cdot r_1^2}{r^2} - \frac{1+3\cdot\nu}{3+\nu} \cdot r^2 \right)\end{aligned}\right\}.$$

$$r := 0.014, 0.014 + 0.002..0.1$$

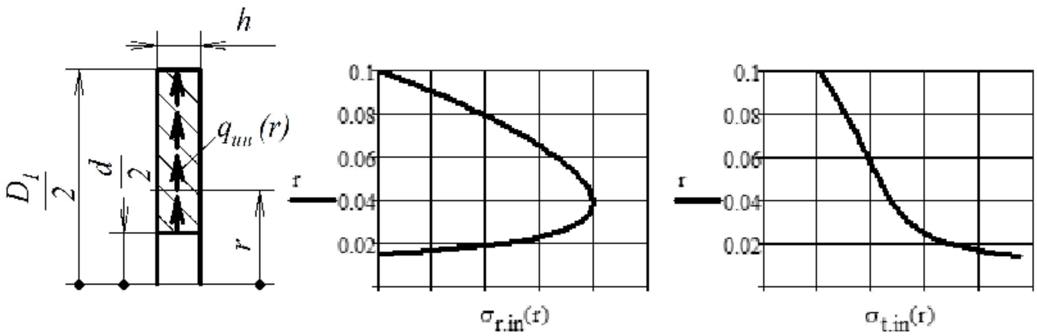


Рис. 4. Эпюры инерционных радиальных $\sigma_{r.ин}(r)$ и окружных $\sigma_{t.ин}(r)$ напряжений

Контактные напряжения (рис.5, граничные условия имеют вид: при $r = r_1$ $\sigma_r = p_{кон}$ и $r = r_2$ $\sigma_r = 0$) в диске определяются по формулам:

$$\left.\begin{aligned}\sigma_{r.кон}(r) &:= \frac{-1}{4} \cdot p_{k\omega.adm} \cdot d^2 \cdot \frac{4 \cdot r^2 - D_1^2}{(-D_1^2 + d^2) \cdot r^2} \\ \sigma_{t.кон}(r) &:= \frac{-1}{4} \cdot p_{k\omega.adm} \cdot d^2 \cdot \frac{4 \cdot r^2 + D_1^2}{(-D_1^2 + d^2) \cdot r^2}\end{aligned}\right\}.$$

$$r := 0.014, 0.014 + 0.002..0.1$$

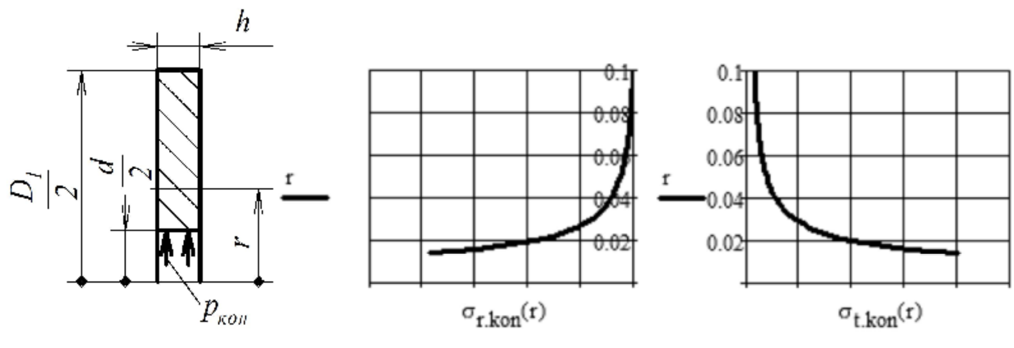


Рис. 5. Эпюры контактных радиальных $\sigma_{r.кон}(r)$ и окружных $\sigma_{t.кон}(r)$ напряжений

Складывая инерционные и контактные напряжения, получим (рис. 6)

$$\left.\begin{aligned}\sigma_r(r) &:= \sigma_{r.ин}(r) + \sigma_{r.кон}(r)\\ \sigma_t(r) &:= \sigma_{t.ин}(r) + \sigma_{t.кон}(r)\end{aligned}\right\},$$

$$r := 0.014, 0.014 + 0.002..0.1\,.$$

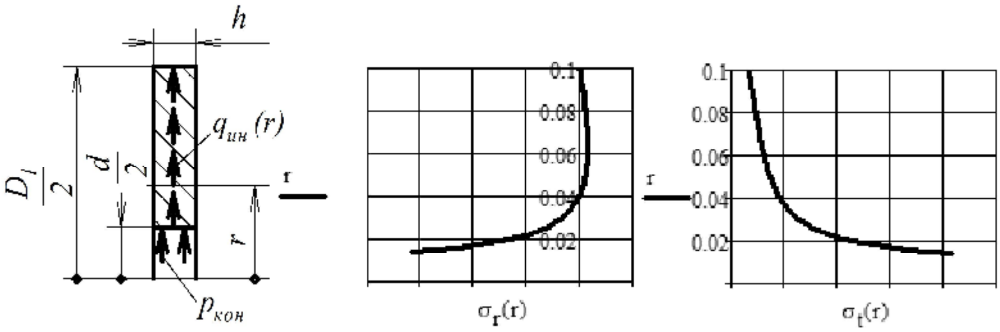


Рис. 6. Эпюры суммарных радиальных $\sigma_r(r)$ и окружных $\sigma_t(r)$ напряжений

Из рис.6 следует, что опасной является внутренняя точка диска. Касательные напряжения в этой точке диска равны касательным напряжениям на поверхности вала($\tau = \tau_{t.r}$) и определяются из очевидного соотношения $\tau = \tau_{t.r} = p_{k\omega.adm} \cdot f$, откуда $\tau := p_{k\omega.adm} \cdot f$, $\tau = 2.016МПа$

Напряженное состояние в рассматриваемой точке изображено на рис.7.

Для точек у внутренней поверхности диска при $r = r_1$ имеет место плоское напряженное состояние с главными напряжениями:

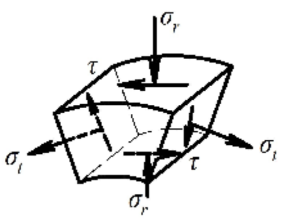


Рис. 7. Напряженное состояние в точке на внутренней поверхности диска

$$\sigma_1 := 18.624МПа \qquad \sigma_2 := 0$$

$$\sigma_3 := -13.567МПа$$

Эквивалентное напряжение по теории максимальных касательных напряжений Треска - Сен-Венана

$$\sigma_{eq} := \sigma_1 - \sigma_3$$

Коэффициент запаса прочности для диска

$$n := \frac{\sigma_y}{\sigma_{eq}} \qquad n = 9.319$$

Таким образом, разработанная программа расчета в среде *Mathcad* для быстро вращающихся дисков позволяет при любых исходных данных:

1) определять контактное давление $p_{k\omega}$ между валом и диском;

2) найти натяг Δ_ω при рабочем числе оборотов, обеспечивающий требуемое контактное давление $p_{k\omega} = p_{k\omega.adm}$;

3) проверять прочность диска по любой теории прочности;

4) при необходимости учесть функцию температуры диска по радиусу.

Список литературы: 1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов.-М.: Наука, 1986.- 512 с. **2**. Вафин Р.К., Егодуров Г.С., Зангеев Б.И. Расчеты на прочность элементов машиностроительных конструкций в среде Mathcad.- Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 2005.- 600с.

УДК 681.3

МЕТОД РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ПРОЦЕДУР ОБРАБОТКИ МАССИВОВ ВНУТРИ ЦИКЛОВ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММАХ СО СВЯЗЯМИ ПО УПРАВЛЕНИЮ

Борзов Д.Б, Корой В.В (*ЮЗГУ, г. Курск, Россия*)
Тел. +7(4712)58-71-05; ***E-mail*** borzovdb@kursknet.ru

Abstract: *The paper about parallel executing procedures in loops from the sequential program of the multiprocessor computer systems.*

Key words: *multiprocessors systems, sequential program, parallelization, array processing, loop, program procedures.*

Развитие параллельных вычислительных архитектур в наше время привело не только к повышению производительности вычислительных систем, но и породило проблему неоптимального задействования всех ресурсов таких систем. Одним из решений этой проблемы является преобразование последовательных участков программ в параллельные [1], что позволяет рациональнее использовать ресурсы многопроцессорных систем и повышать скорость вычислений.

Рассмотрим простейший участок программы с использованием вызова процедуры внутри цикла со счетчиком, где вызов функции не изменяет ход цикла, а SIZE - константа:

Таблица 1. Вызов процедуры внутри цикла

```
int mas[SIZE];
int i=0;
while(i<SIZE)
{
func(mas[i]);
i++;
}
```

Исполнение этого участка программы в процессоре повлечет за собой выполнение следующего алгоритма [3] при SIZE=4: (участки алгоритма будут повторяться, пока переменная i не станет равной константе SIZE, метка *end* обозначает конец программного кода, *if* – оператор условия, func(mas[X]) – вызов процедуры с элементом массива под номером X в качестве аргумента) (см. табл. 2).

Алгоритм из таблицы 1 не возможно подвергнуть распараллеливанию по методу [2], т.к. он не подходит под условие:

$$F(i,k) = (I_i \wedge O_k) \vee (I_k \wedge O_i) \vee (O_i \wedge O_k),$$

где I - матрица входных переменных, O - матрица выходных переменных , P - матрица неполного параллелизма. Алгоритм из таблицы 2 подходит под это условие и может быть разделен на не менее чем на SIZE параллельно-исполняемых частей следующим образом:

1. Оператор цикла заменяется оператором условия
2. Вместо переменной-индекса (в данном случае i) ставится конкретное число (в зависимости от значения i в цикле)

Таблица 2. Выполнение процедуры

```
If(0<4){
  func(mas[0]);
  i=0+1;
 }
 else goto end
 If(1<4){
  func(mas[1]);
  i=1+1;
 }
If(2<4){
  func(mas[2]);
  i=2+1;
 }
If(3<4){
  func(mas[3]);
  i=3+1;
 }
If(4<4)
goto end;
end
```

3. Подставляется тело цикла, оператор инкремента/декремента заменяется на присвоение соответствующего числа
4. Повторяется набор действий 1-3, для другого прохода цикла (т.е. для другого значения i)

Результат преобразования кода показан в таблице 2.

Т.е. при наличии блоков кода обработки массивов внутри функций, не влияющих на количество проходов цикла, а также при известном количестве проходов цикла становиться возможным преобразовать группу последовательных вызовов функции обработки массива внутри цикла в параллельные блоки по методу [2], что приведет к более оптимальному задействованию многопроцессорной системы в таких вычислениях.

Список литературы: 1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В., Параллельные вычисления // БХВ– Петербург. – Санкт-Петербург, 2002.– 608 с. **2.** Дюбрюкс С.А. Метод, алгоритм и устройство обеспечения распараллеливающей компиляции последовательных программ для вычислительных систем: дис. канд. технич. наук.:05.13.05: Курск. Гос. Технич. университет, Курск , 2010.-С.34. **3.** Трахтенгерц Э.А. Введение в теорию анализа и распараллеливания программ ЭВМ в процессе трансляции. – М.: Наука, 1981. – С. 184-187.

УДК 629.73(09)

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА И РАЗРУШЕНИЯ СПУСКАЕМЫХ АППАРАТОВ В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

Гаранина В.М., Холодова С.Н. *(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)*

Аннотация. *Отработан двухэтапный способ конструирования минимальных адекватных моделей для оценки мгновенных тепловых потоков на поверхность спускаемых космических аппаратов при различных сценариях посадки. На первом этапе выделяется ведущий механизм нагрева, в отношении которого осуществляется последующая детализация физико-химического описания.*

Ключевые слова: *моделирование, нагрев, тепловая нагрузка.*

Постановка задачи. Проблема надежности и безопасности спускаемых аппаратов обусловлена высокой *механической* и *термической напряженностью* финишного участка траектории [1]. Приближенные методики [2,3] позволяют оценивать геометрические, силовые и тепловые параметры различных траекторий, в т.ч. локализовать участки, где воздействие атмосферы на космический летательный аппарат (КЛА) экстремально. Для этих критичных участков требуется детализировать оценку термомеханического нагружения КЛА, чтобы скорректировать коррекцию траектории и/или адаптировать теплозащиту.

Выделяются три параллельных механизма нагрева поверхности спускаемых аппаратов: конвекция, химические реакции и излучение. Протекание реакций и радиационные процессы обычно неравновесны [2,3]. Поэтому способность адекватно воспроизводить неравновесность физико-химических взаимодействий выступает главным требованием к уточняющим информационным моделям (ИМ). Сложность детальных моделей тепломассообмена для спускаемых КЛА обусловлена взаимовлиянием полей газодинамических, химических и радиационных параметров. Задача решается разделением пространственно-временных масштабов: в результате удается выделить три субмодели – газовой динамики, химической кинетики и радиационного переноса.

Метод моделирования. Предлагается использовать двухэтапный метод расчета термических нагрузок на спускаемый аппарат: на первом этапе оценочно [2,3] локализуются наиболее теплонапряженные участки траектории и поверхности КЛА, а на втором – конструируются и исследуются детальные ИМ [1] нагрева и разрушения.

Распространение методологических результатов [1] на полетные условия позволяет учитывать вклад различных факторов – конвекции, радиации и химических реакций в совокупный нагрев спускаемых аппаратов КЛА. На рис. показано типичное распределение тепловой нагрузки на поверхность КЛА однократного и многоразового использования.

Результаты вычислительного эксперимента. Фактически тепловая нагрузка на поверхность многоразовых КЛА оказывается почти вдвое ниже, чем следует из данных рисунке, за счет использования низкокаталитичных поверхностных материалов. Таким способом рекомбинационную составляющую теплового потока удается ослабить примерно на порядок величины и свести термическое воздействие течения на аппарат к чисто конвективному. При использовании химически инертных покрытий траектория шаттла в единственной точке $u \approx 5$ км/с, $H \approx 65$ км касается линии уровня теплового потока ≈ 310 Вт/см^2, оставаясь на участках заметно менее теплонапряженной.

Радиационный нагрев поверхности доминирует при баллистическом спуске КЛА, входящих в плотные слои атмосферы со скоростью равной или большей второй космической. Преобладающая роль радиационного нагрева обусловливлена чрезвычайно сильной зависимостью величины q_R от скорости аппарата u: излучательная способность слоя пропорциональна произведению коэффициента поглощения и четвертой степени температуры газа в ударном слое. По зависимости $q_R(u)$, полученной путем численного интегрирования соответствующих уравнений радиационной газовой динамики можно оценить энергию «оптической активации» воздуха [1] – интегрально для УФ и видимой областей спектра. Величина энергии активации для усредненного в пределах спектрального интервала □□ = 0.2÷0.8 мкм коэффициента поглощения излучения неравновесным воздухом в ударном слое составляет ~ 30 кК, что является средневзвешенным (с учетом химизма и энергетической неравновесности) значением для энергии электронно-возбужденных состояний основных излучателей – частиц N_2^+, NO, N_2, N и O.

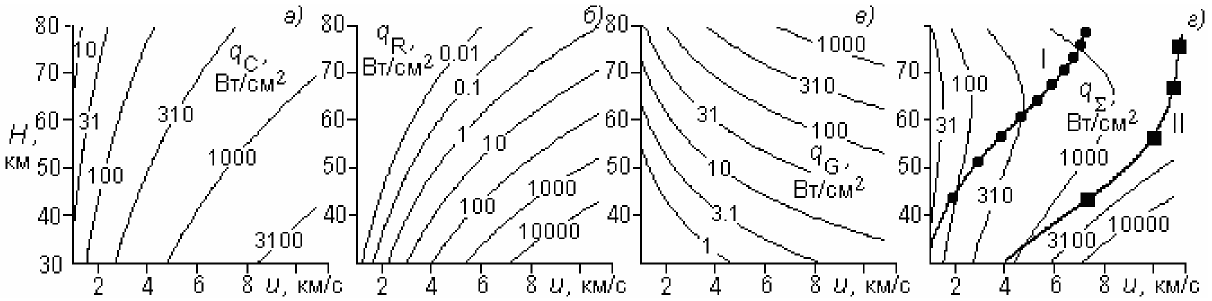


Рис. 1. Теплонапряженность и структура термической нагрузки на поверхность спускаемых аппаратов в атмосфере Земли: *а* – *в* – абсолютные значения конвективной, радиационной и рекомбинационной составляющих; *г* – суммарный поток; I – планирующая траектория спуска КЛА «Спейс шаттл»; II – атмосферный участок баллистической траектории; кружки (I) и квадраты (II) – метки временных интервалов по 100 с. Вероятность гетерогенной рекомбинации полагалась равной 1

При выбранном числе $\mathbf{Da}_w$ доминирующий фактор нагрева - гетерогенные реакции - по прошествии ~ 50% времени спуска в атмосфере уступает место конвекции, а величина совокупного теплового потока уменьшается вдвое. Структурная динамика теплового потока позволяет квалифицировать гетерогенную рекомбинацию атомов на теплозащитной поверхности большого КЛА как, с одной стороны, один из ведущих механизмов ее нагрева и/или разрушения, а с другой, - принципиально управляемый. Соответственно в этом направлении требуется концентрировать усилия по совершенствованию надежности спускаемых аппаратов.

Заключение. Отработанный в данной работе метод двухэтапного определения тепловой нагрузки на поверхность спускаемых аппаратов вкупе с набором моделей, алгоритмов и средств автоматизации расчетов [1] позволяет оценивать теплонапряженность спускаемой траектории для различных полетных условий. На основании грубых моделей выявляется ведущий механизм нагрева; последующая детализация физико-химический моделей осуществляется с учетом его доминирования. Каскадный способ конструирования моделей обеспечивает быстрый выход на адекватные минимальные модели, что делает его особо привлекательным при проектировании теплозащиты КЛА.

Следует особо отметить, что приведенные результаты необходимо увязывать как с детальными кинетическими моделями, отвечающими взаимодействиям в системе КЛА – возмущенный воздух [4], так и с данными полетных и лабораторных измерений.

Список литературы: 1. Бакулин В.Н., Ладоша Е.Н., Потопахин В.А., Яценко О.В. Программные средства синтеза и анализа компьютерных моделей (фото)-химически активных газов для аэрокосмических исследований // Мат. моделирование. 2006. Т. 18. № 9. С. 79-91. **2.** Лунев В.В. Гиперзвуковая аэродинамика. М., 1975. **3.** Неравновесные физико-химические процессы в аэродинамике / Под ред. Г.И. Майкопара. М, 1972. **4.** Физико-химические процессы в газовой динамике. Компьютеризованный справочник / Под ред. Г.Г. Черного и С.А. Лосева. М.: Изд-во МГУ. 1995.

УДК 658.012.011.56

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ПРИВОДУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПАКЕТІВ MATLAB I SIMULINK

Голубов А.М, Горобець І.О. *(ДонНТУ, м.Донецьк, Україна)*

Аннотація. *Стаття присвячена дослідженню динамічних процесів у системі приводу із застосуванням пакетів MATLAB і SIMULINK.*

Ключові слова: *динамічних процесів, пакетів matlав і simulink, розрахунки, редуктор.*

Система приводу окремо та система редуктор – двигун це динамічна система яка є важливою частиною машини. Зокрема ця система електромостового крану повинна мати високу міцність при постійних і мінливих завантаженнях для забезпечення надійності механізму. Для забезпечення роботи при інтенсивних режимах дана система повинна мати значну міцність у статичних і динамічних режимах.

Сукупність технічних вимог, які пред'являються до системи приводів цього механізму вимагають розрахункового визначення динамічних характеристик.

Правильно оцінити навантаження, що діють на муфту, і вибрати конструктивні параметри так, щоб обмежити ці навантаження заданими межами дозволяє знання динамічних характеристик.

Редуктор являє собою складну багатоланкову динамічну систему з розподіленими масами рис. 2.

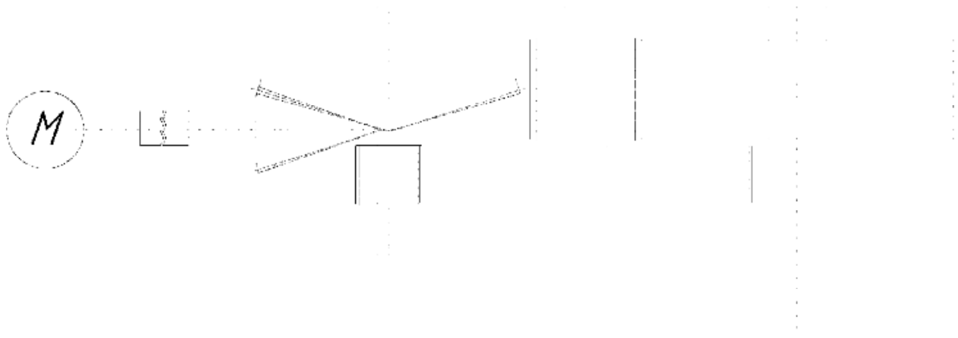


Рис. 1. Розрахункова схема редуктора

Параметри системи (маса елементів, твердість, непружний опір) можуть бути визначені після аналізу конструкції й умов її експлуатації.

Для визначення динамічних характеристик привода, насамперед, підготуємо розрахункову схему, тобто обчислимо моменти інерції обертових елементів привода (валів, зубчастих коліс), твердості (піддатливості) пружних ланок між цими деталями, а також виконаємо динамічне приведення цих елементів до системи, усі елементи якої мають однакову середню швидкість.

Далі спростимо розрахункову схему редуктора. Це зроблене для полегшення розрахунків динамічних характеристик елементів системи.

Редуктор взаємозалежний з електродвигуном, який є головним джерелом енергії для виконання процесу роботи крану. Найбільш широким попитом у цій сфері користуються асинхронні машини трифазного струму.

Електромагнітне поле двигуна має властивості пружності й демпфірування.

Диференціальні рівняння, якими описується динамічний процес системи:

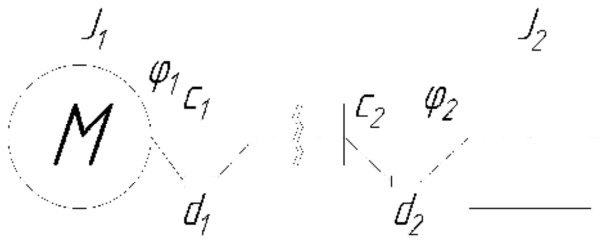


Рис. 2. Розрахункова схема для досліджень динамічних процесів

$$J_1\ddot{\varphi}_1+(d_1+d_2)\dot{\varphi}_1+(c_1+c_2)\varphi_1-d_2\dot{\varphi}_2-c_2\varphi_2=0,$$

$$J_2\ddot{\varphi}_2+d_2\dot{\varphi}_2+c_2\varphi_2-d_2\dot{\varphi}_1-c_2\varphi_1=M.$$

Виходячи з цих рівнянь у подальшому має будуватися модель.

Обертові деталі привода редуктора (вали, зубчасті колеса) розглядають як елементи із зосередженими масами. Звичайно деталі привода мають циліндричну форму з більшою кількістю уступів (східчасті вали, шестірні), тому для визначення моментів інерції ці елементи розбивають на частині з постійними діаметрами й визначають момент інерції кожної ділянки.

Якщо деталь має порожнини циліндричної форми, то спочатку розраховують момент інерції деталі як сполошного тіла обертання, а потім віднімають момент інерції порожнини. Деталі фасонного профілю зручно заміняти тілами східчастої форми, кількість щаблів вибирається залежно від необхідної точності розрахунків. Зубчасте колесо розглядається як суцільне тіло.

Розрахунки були проведені програмою КОМПАС виходячи з 3D моделі.

Конічна передача

$$J_{11}=0.0267\ \text{кг}\cdot\text{м}^2,$$
$$J_{21}=0.1774\ \text{кг}\cdot\text{м}^2.$$

Косозуба циліндрична передача

$$J_{31}=0.0477\ \text{кг}\cdot\text{м}^2,$$
$$J_{41}=0.2836\ \text{кг}\cdot\text{м}^2.$$

Прямозуба циліндрична передача

$$J_{51}=0.0624\ \text{кг}\cdot\text{м}^2,$$
$$J_{61}=0.4808\ \text{кг}\cdot\text{м}^2.$$

$$J_1=J_{11}+(J_{12}+J_{13})\cdot(U_1^{\,2})+(J_{14}+J_{15})\cdot(U_2^{\,2})+J_{16}\cdot(U_3^{\,2}),$$

$$J_1=0.0267+(0.1774+0.0477)\cdot(3.15^2)+(0.2836+0.0624)\cdot(5.6^2)+0.4808\cdot(3.15^{\,2})=12.761\ \text{кг}\cdot\text{м}^2.$$

При визначенні моменту інерції ротора електродвигуна, фрикційних і пружних муфт користуються каталогами.

Жорсткість визначатиметься за формулою:

$$c=\frac{\pi G d^4}{32 l},$$

де l – довжина валу, м; d – діаметр валу, м; G – модуль пружності, для сталі 79,3 ГПа.

$$c=\frac{\pi\cdot 79300000000\cdot 0.05^4}{32\cdot 0.295}=164856.3157$$ Н/м – для першого валу редуктора,

$$c=\frac{\pi\cdot 79300000000\cdot 0.056^4}{32\cdot 0.484}=158110.096$$ Н/м – для другого валу редуктора,

$$c = \frac{\pi \cdot 79300000000 \cdot 0.1^4}{32 \cdot 0.489} = 1591270.45$$ Н/м – для третього валу редуктора,

$$c = \frac{\pi \cdot 79300000000 \cdot 0.16^4}{32 \cdot 0.822} = 6203845.45$$ Н/м – для четвертого валу редуктора.

Для подальших розрахунків знайдемо приведену жорсткість валів редуктора

$$c_2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{c_i}},$$

$$c_2 = \frac{1}{\frac{1}{164856.3157} + \frac{1}{158110.096} + \frac{1}{1591270.45} + \frac{1}{6203845.45}} = 75872 \text{ Н/м.}$$

При проведенні динамічного розрахунків привода необхідно знати характеристики демпфірування або розсіювання енергії коливань, тому що величина демпфірування визначає інтенсивність крутильних коливань і динамічних навантажень у приводі при резонансних режимах.

Демпфірування в приводі визначається електромагнітним демпфіруванням двигуна, розсіюванням енергії в стиках (шпонкові й шлицевые сполуки, опори валів, нерухливі посадки) і в спеціальних пружно- елементах, що демпфірують.

Розсіювання енергії в матеріалі деталей можна не враховувати, тому що відносне розсіювання енергії ψ мало $\psi \approx (0.01...0.02)$ для стиків $\psi \approx (0.6...1.2)$. Якщо в приводі немає спеціальних елементів, що демпфірують (муфти, динамічні гасителі й т.п.), те демпфірування механічної системи привода визначається розсіюванням енергії в стиках.

У механічних елементах привода демпфірування відповідає логарифмічному декременту затухання $\lambda = (0.15...0.3)$, а коефіцієнт демпфірування d можна визначити по формулі:

$$d = \frac{\lambda}{\pi}\sqrt{J \cdot c}\,.$$

Дані щодо моментів інерції отримано виходячи з 3D моделі за допомоги програми Компас.

$$d = \frac{0.2}{\pi}\sqrt{0.0014 \cdot 164858.3157} = 4.2258,$$

$$d = \frac{0.2}{\pi}\sqrt{0.0036 \cdot 158110.096} = 12.016,$$

$$d = \frac{0.2}{\pi}\sqrt{0.0374 \cdot 1591270.45} = 39.851,$$

$$d = \frac{0.2}{\pi}\sqrt{0.4123 \cdot 6203845.45} = 84.068\,.$$

Знаходимо приведений коефіцієнт демпфування.

$$d_2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i}},$$

$$d_2 = \frac{1}{\frac{1}{4.225} + \frac{1}{12.016} + \frac{1}{39.851} + \frac{1}{84.068}} = 2.8023 \cdot$$

Модель створюється у MATLAB SIMULINK.

Сімейство MATLAB і SIMULINK містить більше 80 продуктів для прискорення інновацій та підвищення ефективності технічних розробок у всіх галузях: починаючи від авіації і космосу, телекомунікацій та мікроелектроніки і закінчуючи промислової автоматикою, фінансами і біотехнологіями. MATLAB - це світовий стандарт у вищій освіті і наукових дослідженнях. SIMULINK поєднує в собі наочність аналогових машин і точність цифрових обчислювальних машин. SIMULINK забезпечує користувачу доступ до всіх можливостей пакета MATLAB, в тому числі до великої бібліотеці чисельних методів.

Підготовка завдання для моделювання в SIMULINK проводиться в такій послідовності:

1. Вибір розрахункової схеми.
2. Складання системи рівнянь, що описують досліджуваний процес.
3. Приведення системи до виду, зручного для вирішення (дозвіл щодо старших похідних).
4. Визначення початкових умов.
5. Складання структурної схеми.
6. Моделювання збурюючих функцій.
7. Визначення вихідних даних.
8. Складання моделі в середовищі SIMULINK.
9. Включення засобів візуалізації.
10. Тестування.
11. Рішення.
12. Аналіз результатів.
13. Звіт.

Проаналізуймо отримані графіки. На рис.4 ми можемо побачити коливання що виникають в наслідок запуску двигуна. Ці коливання мають порівняно велику амплітуду, але за невеликий проміжок часу (0,2 с) вони практично згасають й більше не впливають на систему.

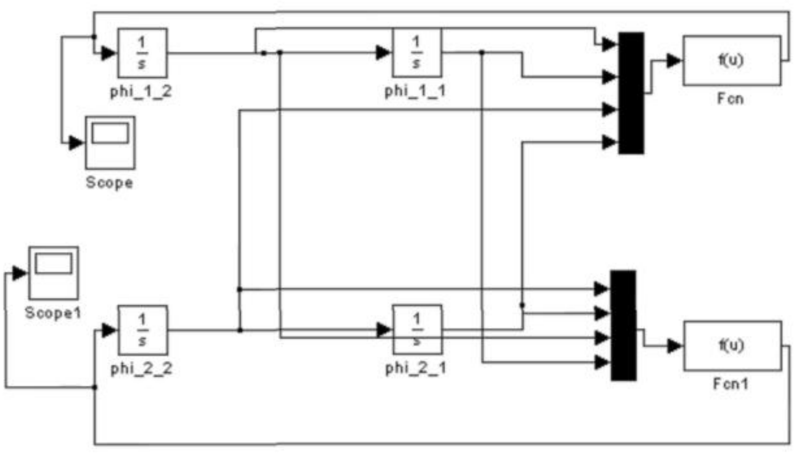


Рис. 3. Модель у SIMULINK

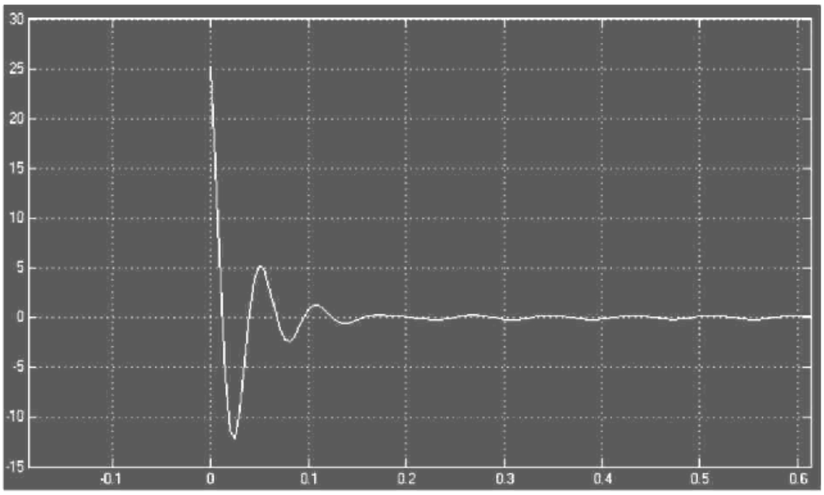


Рис. 4. Коливання що виникають на ділянці двигуна

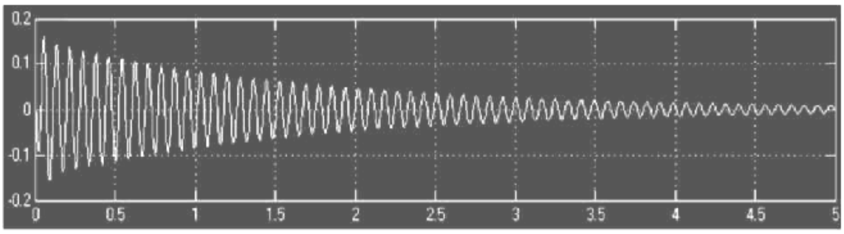


Рис. 5. Коливання що виникають на ділянці редуктора

З іншого боку на ділянці редуктора коливання продовжуються доволі довго, проте вони мають дуже невелику амплітуду. Частота коливань менша ніж на ділянці двигуна.

Таким чином можна сказати, що ці коливання не можуть серйозно впливати, як на роботу редуктора так і на муфту що з'єднує двигун з редуктором.

УДК 531.8; 621.01

ИСЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ И КЛАССИФИКАЦИЯ МПС

Желуденко А.В* *(каф МСМО, ДонНТУ, г.Донецк, Украина)*

Аннотация. *В статье рассмотрена возможность формирования любого по функциональному назначению технологического оборудования с заданными функциональными и технологическими возможностями путем рационального выбора комплекта составных модулей, который позволит значительно сократить срок технической подготовки и оперативно удовлетворить требования современного рынка сбыта станкостроительной продукции.*

Ключевые слова: *кинематические схемы,* *технологическое оборудование, составные модули, механизмы параллельных структур.*

В настоящее время конструктивные резервы повышения точности станков, в частности многоцелевых, в основном исчерпаны, поскольку, например перемещения рабочих органов осуществляется в них по направляющим с теоретически ограниченной точностью и жесткостью. Необходимость, преодоления указанных недостатков станков традиционного исполнения привела к разработке в ряде стран (России, США, Швейцарии, Японии) станков новой концепции, основанной на применении механизмов параллельных структур (МПС),обобщенная структурная схема приведена на рис1. [1,2]

В самом общем виде в МПС можно выделить выходное звено и основание, которые соединены некоторым количеством n кинематических цепей параллельно в понимании передачи движения и усилий. В каждой кинематической цепи устанавливается один или несколько приводов. На выходном звене устанавливается инструментальная или измерительная головка. МПС позволяет обеспечить до шести степеней свободы выходного звена, что расширяет технологические возможности станка.

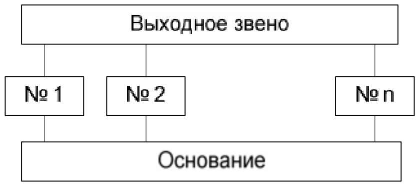


Рис. 1. Обобщенная структурно-кинематическая схема МПС

Концепция создания нового поколения технологического оборудования реализуется путем внедрения в нем МПС, вследствие чего оборудование получит новое качество и переход к реализации более современных технологических процессов. МПС отличаются разнообразием кинематических схем, методами преобразования движений, степенями свободы, компоновками и конструктивным исполнением основных элементов.

Все МПС, которые используются для компоновок технологического оборудования, несмотря на разнообразие их кинематических структур и конструктивного исполнения подразделяются на две группы:

- полнопараллельные это механизмы, в которых количество степеней свободы исполнительного органа (ИО) равняется количеству кинематических цепей с индивидуальными приводами, с помощью которых создаются перемещение ИО относительно осей координат;

- неполнопараллельные это механизмы, в которых количество степеней свободы ИО больше, чем количество кинематических цепей, каждая из которых имеет два и больше индивидуальных приводов.

По методу преобразования движений МПС подразделяются на механизмы, в которых движение ИО происходит разными путями, приведенными на рис. 2.

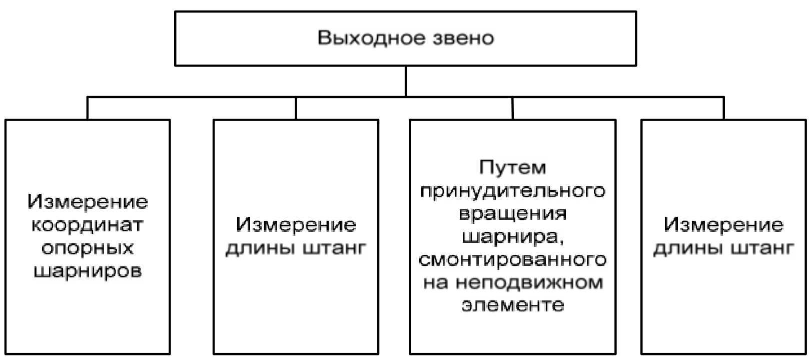
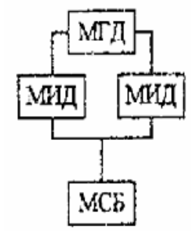
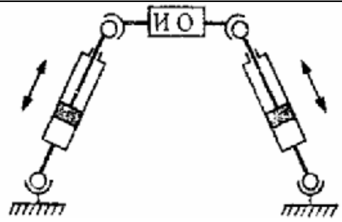
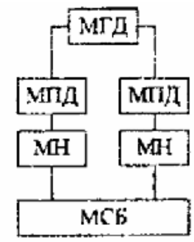
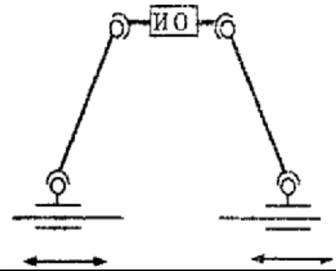
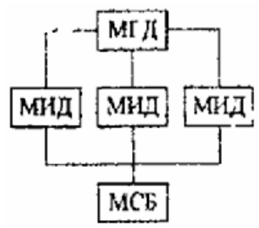
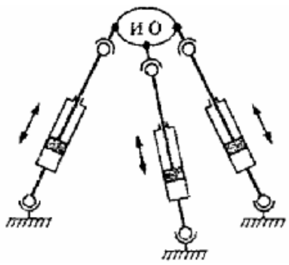
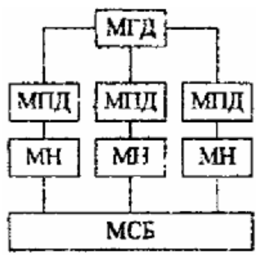
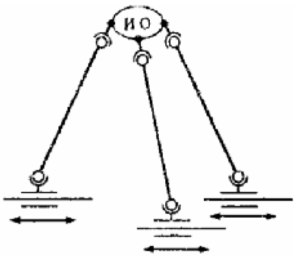
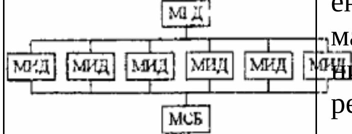
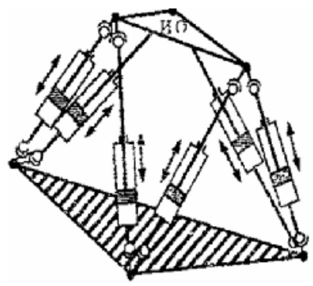


Рис. 2. Классификация механизмов параллельной структуры по методу преобразования движений исполнительного органа

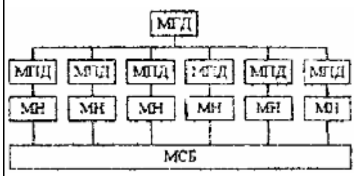
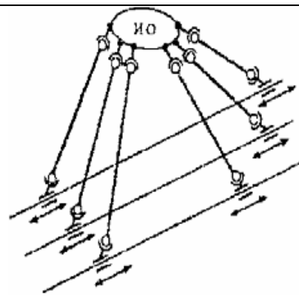
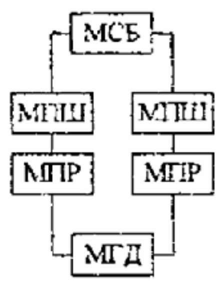
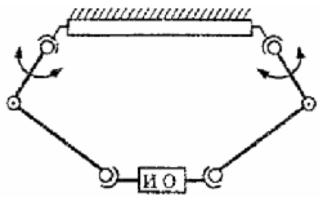
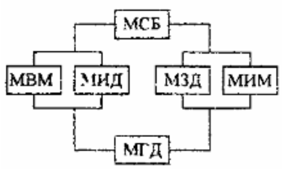
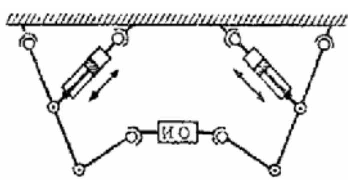
**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Структурные схемы и схемы механизмов наиболее распространенных типов технологического оборудования с параллельной кинематикой приведены в таблице 1. [2]

Таблица 1. Структурные схемы и схемы механизмов

№	Тип об-ния	Структурная схема	Описание	Схема механизма
1	Бипод		Техническое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения двух штанг постоянной длинны	
2	Биглайд		Техническое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения двух штанг переменной длинны	
3	Трипод		Техническое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения трех штанг переменной длинны	
4	Триглайд		Техническое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения трех штанг постоянной длинны	
5	Гексапод		Техническое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения шести штанг переменной длинны	

Продолжение таблицы 1.

<table>
<tr><th>№</th><th>Тип обния</th><th>Структурная схема</th><th>Описание</th><th>Схема механизма</th></tr>
<tr><td>6</td><td>Гексаглайд</td><td>
</td><td>Техническое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения шести штанг постоянной длинны</td><td>
</td></tr>
<tr><td>7</td><td>Дельта</td><td>
</td><td>Техническое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения штанг, которые выполнены в виде параллелограммного механизма, а преобразование движения реализуется принудительным вращением опорных шарниров постоянной длинны</td><td>
</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Ножницы</td><td>
</td><td>Техническое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического V-образных соединения двух прямоугольных пластин, а преобразование движения реализуется путем использования дополнительных кинематических звеньев со штан-гами переменной длины, шарнирно соединенных с подвижными или не подвижными элементами механизма</td><td>
</td></tr>
</table>

Анализ структурных схем технологического оборудования с параллельной кинематикой показывает, что все оно состоит из определенного количественного соответствующих модулей.

МГД- Модуль главного движения

МЗД- Модуль изменения длины штанг
МПР- Модуль принудительного вращательного движения опорных шарниров
МИК- Модуль изменения координат опорных шарниров
МН- Модуль направляющих
МПШ- Модуль паралелограмних штанг
МПД- Модуль штанг постоянной длины
МВМ- Модуль V-подобного механизма
МСБ- Модуль неподвижного стационарного блока

Выбор конкретной модификации технологического оборудования зависит от комплекса технологических задач, массы и габаритных размеров детали, ее конструктивной формы, количества сторон, которые обрабатываются, а также конкретных требований потребителя.

Достаточный и обязательный комплект модулей необходимо дополнить соответствующими системами, которые обеспечивают сервисные условия функционирования технологического оборудования, а именно системами: управления, контроля и диагностики, подачи смазочно-охлаждающих средств, удаление стружки, автоматической замены инструмента и другими.

Таким образом, учитывая конкретные требования потребителя и условия производства, можно сформировать любое по функциональному назначению технологическое оборудование с заданными функциональными и технологическими возможностями путем рационального выбора комплекта составных модулей, который позволит значительно сократить срок технической подготовки и оперативно удовлетворить требования современного рынка сбыта станкостроительной продукции.

*Работа выполнена под руководством проф. Горобца И.А.

Список литературы: 1. Афонин, В.Л. Обрабатывающее оборудование на основе механизмов параллельной структуры/под. ред. В.Л. Афонина [Текст] / В.Л. Афонин, П.В. Подзоров, В.В. Слепцов. - М.: Учебное пособие. Издательство МГТУ СТАНКИН, Янус-К, 2006. 452 с. **2.** Кузнецов Ю. Н., Дмитриев Д. А., Диневич Г. Е. Компоновка станков с механизмами параллельной структуры / под. ред. Ю. Н. Кузнецова. — Херсон: ЧП Вышемирский В. С., 2010. — 471с.

УДК 621.879.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДНИЩА КОВША РОТОРНОГО ЭКСКАВАТОРА

Костюкевич А.Л., Юрченко И.К., Ахонин В.И.
(*каф. графики, ДонНТУ, г.Донецк, Украина*)

Аннотация. *предлагается графический способ профилирования очерка днища ковша роторного траншейного экскаватора продольного копания.*

Ключевые слова: *трохоидальные кривые, теоретическая поверхность, координаты, траектория.*

Роторный траншейный экскаватор продольного копания в обычном исполнении состоит из следующих основных узлов (рис. 1): рабочего оборудования 1, установленного на специальной раме 2, шарнирно подвешенной к раме 3 ходовой тележки машины и ходовой тележки 4, на которой расположены силовое оборудование 5, трансмиссии 6 для привода всех механизмов экскаватора. Расположенный внутри ротора поперечный ленточный транспортер 7 может выдвигаться для образования отвала на любой стороне отрабатываемой траншеи. Разработка траншеи осуществляется вращающимся ротором с жестко закрепленными на нем ковшами при одновременном поступательном перемещении самой машины. Таким образом плоскости вращения точек ротора совпадают или параллельны направлению плоскости движения машины, т.е. точки режущих кромок ковшей описывают трохоидальные кривые, рассмотренные в работе [1]. Точки режущей кромки ковша образуют однопараметрическое множество таких линий, иначе говоря теоретическую поверхность криволинейного забоя.

Выбор общепринятой величины заднего угла $\gamma = 5°\div I0°$ не исключает трения задней поверхности (днища ковша) о криволинейную поверхность забоя. Это объясняется тем, что скорости вращательного движения ротора и поступательного движения машины являются соизмеримыми при реальных режимах работы. Поэтому в случае плоского днища ковша или очерченого дугой окружности радиуса $R = (1{,}8 \div 2{,}0)h_к$ [3], не выполняется линейный закон увеличения нормальных расстояний между поверхностями забоя и ковша по мере удаления от режущей кромки. Такой закон является общепринятым и многократно проверен практикой экскавационных работ.

Геометрически его можно трактовать так. Если поверхность забоя и задняя поверхность рабочего органа будут плоскостями (рис. 2а), то по мере удаления от режущей кромки (точки O) по линии забоя OX, ординаты соответствующих точек 1,2 и т.д. увеличи-ваются по линейному закону, определяемому величиной угла γ . Таким образом точки линии забоя OX и точки прямой OE приведены во взаимно-однозначное соответствие (принято положительное направление нормалей), а прямую OE можно рассматривать как результат рассмотренного геометрического преобразования точек прямой OX.

Если теперь в рассмотренном аппарате преобразования вместо прямой OX взять кривую (а очерковые линии поверхностей забоя землеройных машин в большинстве случаев являются именно кривыми), то полученная линия OE тоже окажется кривой (рис. 2б). Следовательно, при криволинейном забое оптимальным профилем задней поверхности рабочего органа, по рассмотренным выше соображениям, будет кривая линия. Так, для окружностной траектории абсолютного движения оптимальным профилем задней поверхности рабочего органа будет спираль Архимеда (рис. 2б), параметр которой определяется величиной заднего угла γ .

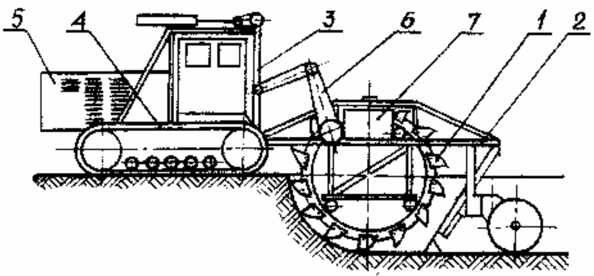


Рис. 1. Общий вид роторного траншейного экскаватора

Для трохоидальной траектории абсолютного движения точек режущих кромок ковшей роторного траншейного экскаватора оптимальным профилем будет спиралевидная кривая, вид которой на интересующем нас участке длины зависит от выбора положения центра преобразования О на базовой линии. Анализ разновидностей очерковых участков полученной кривой позволяет сделать вывод, что положение центра преобразования О надо выбирать в точке очерковой линии забоя, где кривизна ее является максимальной. В этом случае очерк задней поверхности рабочего органа удовлетворит выше рассмотренные требования и для остальных точек поверхности забоя, где кривизна меньше. Таким образом профилирование очерка днища ковша роторного траншейного экскаватора продольного копания необходимо вести в такой последовательности.

1. Построить абсолютную траекторию движения точки пересечения режущей кромки ковша с плоскостью его симметрии для предельного режима работы экскаватора, т.е. траекторию минимального модуля. Предельным режимом работы следует считать минимальное значение отношений скорости S продольного движения экскаватора к скорости V вращения ротора.

$$m_{\min} = \frac{S_{\min}}{V_{\max}}$$

2. Выбрать положение центра преобразования (точки О) на построенной кривой, имея ввиду, что ковш взаимодействует с грунтом не на протяжении всей траектории движения его рабочего цикла, а на определенном ее участке. На этом участке и следует определить точку максимальной кривизны, т.е. центр преобразования О.

3. Преобразовать выделенный участок траектории (базовую линию) рассмотренным выше способом, предварительно задавшись величиной заднего угла режущей части ковша.

4. Полученная кривая является теоретическим очерком днища ковша экскаватора. Она может быть аппроксимирована другой кривой с целью упрощения технологии изготовления всей поверхности ковша.

На рис.3 показан пример профилирования днища ковша роторного траншейного экскаватора продольного копания для случая когда m=1/3. Построенная теоретическая очерковая кривая аппроксимируется дугой окружности , параметры формы и положення которой определяются графически.

Рассмотренный метод графического профилирования задней поверхности рабочего органа может быть применен в угледобывающей, металло- и деревообрабатывающей, а также в других отраслях промышленности при проектировании изделий, предназначенных для разрушения сред.

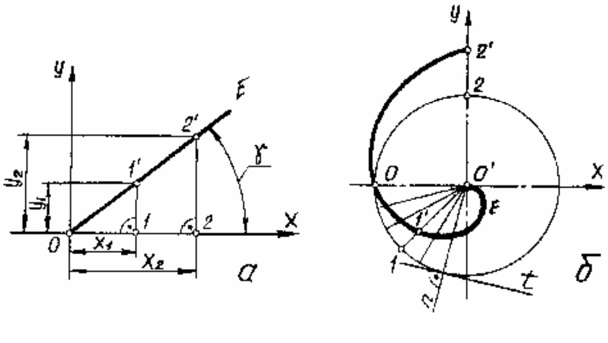


Рис. 2. Профилирование днища ковша
а – очерковая линия забоя – прямая, б – очерковая линия забоя - окружность

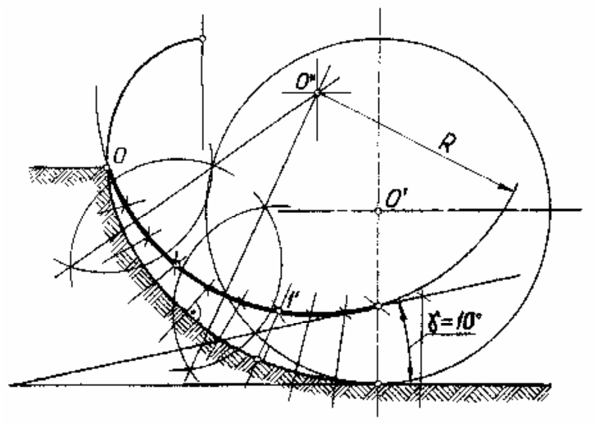


Рис. 3 – Профилирование днища ковша для реальных условий работы

Список литературы: 1. Юрченко И.К. О геометрии рабочих органов некоторых землеройных машин, обусловленной траекторией движения. Сб. "Прикладная геометрия и инженерная графика". Вып.14, Киев, «Будивельник», 1972. **2.** Фрейкман И.Е., Ильгонис В.К. Землеройные машины. Ленинград, "Машиностроение", 1972.

УДК 621.791.76

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ СВАРКИ

Ладоша Е.Н., Цымбалов Д.С., Яценко О.В.
(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Аннотация. *Авторами предложена и отработана оригинальная модель высокотехнологичного процесса – контактной магнитно-импульсной сварки. Основанная на системе дифференциальных уравнений тепломассообмена в свариваемой заготовке модель позволяет рационализировать параметрическую оптимизацию рассматриваемой технологии. Полученные в работе результаты актуальны для машиностроения и аэрокосмических приложений.*

Ключевые слова: *модель высокотехнологичного процесса, контактная магнитно-импульсная сварка.*

Развитие сварочных технологий стимулируется возрастающими потребностями передовых отраслей промышленности – микроэлектроники, аэрокосмической отрасли, автомобилестроения и ряда др. [1,2].

Постановка задачи. Процесс контактной магнитно-импульсной сварки (КМИС) основан на омическом нагреве и последующем механическом сдавливании контактной зоны посредством интенсивных электромагнитных полей [1]. Схема сваривания таким способом тонких металлических образцов (оболочек) приведена на рис. 1. Установка КМИС состоит из индуктора 1 (рис. 1), конденсаторно-коммутирующего блока (2) и матрицы соответствующего типоразмера (3). Заготовка представляет собой тонкую пластину из цветного металла, предварительно свернутую в кольцо по форме будущего изделия (4) с небольшим нахлестом (5) в зоне намечаемого сварного соединения. В процессе КМИС заготовка помещается между матрицей и индуктором, после чего производится раз-ряд конденсаторной батареи через индуктор. Индуктор может помещаться как внутри (рис. 1, а), так и вне (рис. 1, б) матрицы: в первом случае происходит раздача образца электромагнитными силами, во втором – сжатие. Наведенные в заготовке электромагнитным полем (ЭМП) индуктора токи 1) формируют вторичное ЭМП, которое вступает во взаимодействие с полем индуктора и 2) вызывают омический нагрев заготовки. Параметры установки КМИС и заготовки выбираются таким образом, чтобы магнитное поле индуктора не успевало диффундировать в образец. При этом энергия магнитного взаимодействия индуктора и заготовки трансформируется в энергию механического движения последней: заготовка отталкивается от индуктора, препятствуя проникновению в нее внешнего (магнитного) поля. На ранней стадии процесса повышенное удельное сопротивление контактной зоны (нахлеста) способствует ее преимущественному нагреву индуцированным током. Совместное воздействие механического и термического факторов приводит в определенных условиях к образованию качественного сварного соединения в зоне нахлеста [1,2].

Основными дефектами изготовления деталей технологией КМИС являются [3]: 1) чрезмерный перегрев контактной зоны, сопровождающийся выплеском сравнительно большого количества металла или даже прогоранием, и 2) наоборот, недогрев и недосжатие в области нахлеста, выражающийся в неравномерном островном сваривании или в отсутствии соединения вообще. С целью исключить подобные ситуации в серийном производстве требуется точно устанавливать режимы КМИС в каждом конкретном случае. Параметрами управления здесь служат энергия и частота разряда. Разнообразие свариваемых материалов, форм и размеров заготовок требует множественных экспериментов для выбора оптимальных параметров КМИС. Вычислительный эксперимент (ВЭ), предполагается, поможет кардинально сократить объем экспериментальных исследований по оптимизации КМИС.

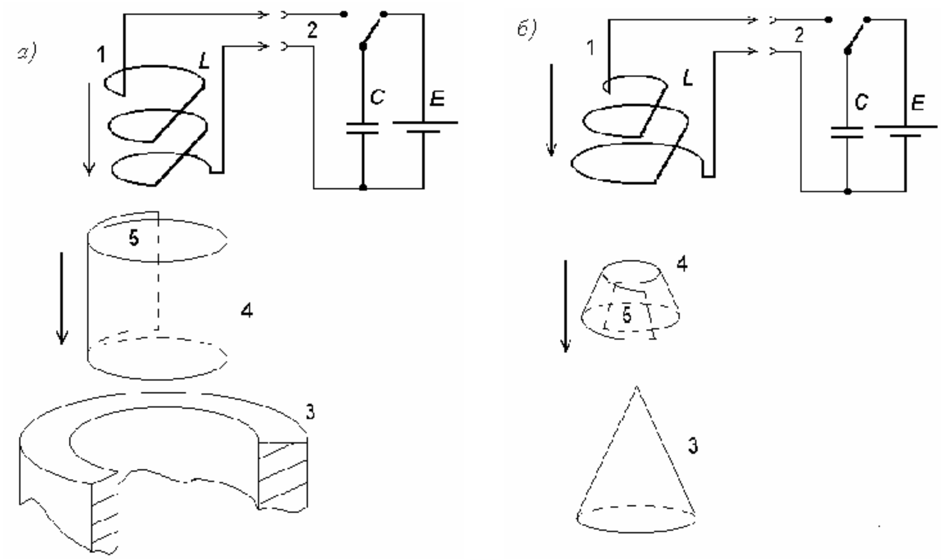


Рис. 1. Схема КМИС: *а* – с работой электромагнитных сил на раздачу заготовки; *б* – на сжатие

Модель технологии. Авторами совместно с руководителем отработана оригинальная информационная модель (ИМ) КМИС, схема которой приведена на рис. 2.

Рис. 2. Структура ИМ КМИС

При реалистичных физических допущениях модель принимает математическую форму:

– уравнения движения (сдавливания заготовки) Ньютона –

$$d\,x/dt = v(t)\,, \tag{1}$$

$$d\,v/dt = P_м(t)/(x_0\square)\ e^{-G(T)T_{пл}/5P_м(t)T}\,, \tag{2}$$

$$P_м(t) = U_0^2 C/(\pi r_з^2 l)\sin^2\square t\, e^{-2t/\square}\,, \tag{3}$$

$$G(T) = G|_{T=0}\,(1 - T/T_{пл})^2 \cdot e^{-100\cdot[(T-T_{пл})/T_{пл}]}\ / \ /\{ e^{-100\cdot[(T-T_{пл})/T_{пл}]} + 1\}\,, \tag{4}$$

– тепловыделение и нагрев в сварной зоне –

$$dQ/dt = q(t) = U_0^2\, R_к(y)\cdot(R_к(y) + R_з)^{-2}\sin^2\square t\cdot e^{-2t/\square}\,, \tag{5}$$

$$dQ_\Sigma/dt = q_\Sigma(t) = U_0^2(R_к(y) + R_з)^{-1}\sin^2\square t\, e^{-2t/\square}\,, \tag{6}$$

$$T_1(t) = [Q(t)/C\square - \square H/C\square - ½\, T_{пл}\cdot(a_{Me}t)^{1/2}]\ / \ /\,[\square + 1/3\cdot(a_{Me}/a_{Ox})^{1/2}\square^2/(a_{Ox}t)^{1/2} + \xi(t)]\,, \tag{7}$$

$$\square = \square(t) = CT_{пл}/(CT_{пл} + \square H)\cdot(a_{Me})^{1/2}[(t - t^{**})^{1/2}]\,, \tag{8}$$

$$t^{**}:\quad T_1(t^{**}) = 1/C\square\cdot Q(t^{**})\,/\,[\square + 1/2\cdot(a_{Me}t^{**})^{1/2} + + 1/3\cdot(a_{Me}/a_{Ox})^{1/2}\square^2/(a_{Ox}t^{**})^{1/2}] = T_{пл}\,, \tag{9}$$

$$R_з = 2\square r_з/(\square_з\, x_0\, l_з)\,, \tag{10}$$

$$R_к(y) = R_к|_{y=y_0}\cdot e^{100(y-0.9\,y_0)/y_0}\,/\,[e^{100(y-0.9\,y_0)/y_0} + 1]\,, \tag{11}$$

– выплеск расплава из сварной зоны –

$$d\,y/dt = y_0/(\delta + \xi(t))\cdot v(t)\,, \tag{12}$$

обозначения и размерность величин в которых соответствуют используемым в теории сварки [1,2] и введенным на схеме рис. 3.

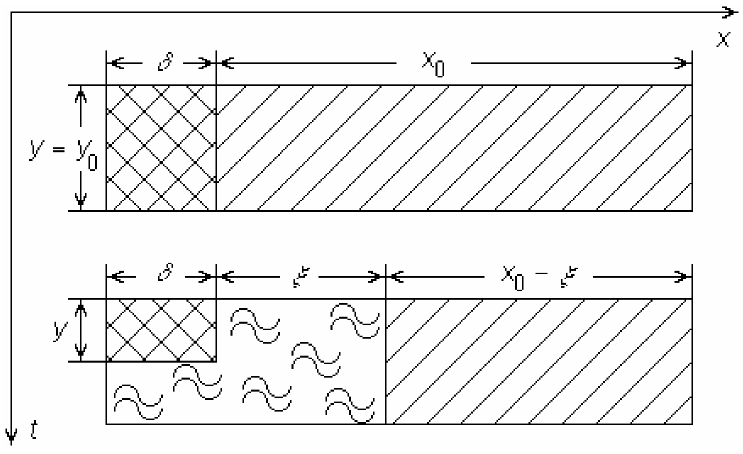


Рис. 3. Геометрия контактной зоны в технологии КМИС и обозначения в (1)-(12)

Таблица 1. Характерные диапазоны условий и параметров КМИС

Параметр	Единица измерения	Минимальное значение	Максимальное значение
Емкость накопителя C	мкФ	50	5000
Напряжение разряда U_0	кВ	5	50
Собственная индуктивность установки $L_у$	мкГ	0.01	1
Собственная частота установки $f_у$ = □/2□	кГц	10	150
Энергоемкость разрядного устройства E_0	кДж	3	100
Толщина свариваемого изделия x_0	мм	0.3	3
Радиус оболочки $r_з$	см	1	20
Толщина окисной пленки □	нм	3	15
Шероховатость поверхности заготовки □	мкм	0.3×10	2×200
Удельная электропроводность Ме □	$Ом^{-1}см^{-1}$	6000	70000
Температуропроводность Ме a	$см^2/с$	0.1	1
Магнитная проницаемость Ме □	$□_0$	1	10^5
Легкоплавкость Ме, равная $□H/CT_{пл}$	безразм.	0.3	10

В табл.1 приведены параметры модели (1)-(12), предоставленные ведущим предметным специалистом (проф. *Стрижаковым В.Л.*). Значения соответствуют технологии КМИС оболочечных изделий для аэрокосмической промышленности [3].

Результаты компьютерного эксперимента. Результаты численного интегрирования уравнений движения и разогрева заготовки при КМИС (1)-(12) для типичных условий приведены на рис. 4. Представленные данные свидетельствуют о сильной нелинейности процесса, выражающейся в быстрой смене ведущего механизма образования соединения – за счет обостренно протекающего нагрева контактной зоны.

Поскольку момент переключения режимов от *сварки плавлением* к *сварке давлением* [1,2] зависит от множества параметров (электродинамических характеристик разрядного устройства, геометрических и теплоэлектрофизических параметров заготовки, качества обработки поверхности и других тонкостей технологического процесса), сваривание может осуществляться по самым разнообразным сценариям. Приведенный на рис. 4 вариант сваривания близок к оптимальному: 1) прогревается и выплескивается слой Ме, толщина которого сопоставима с неидеальностью поверхности, 2) динамика температуры и давления *локализуется в зоне контакта* таким образом, что непроизводительные энергетические потери также невелики.

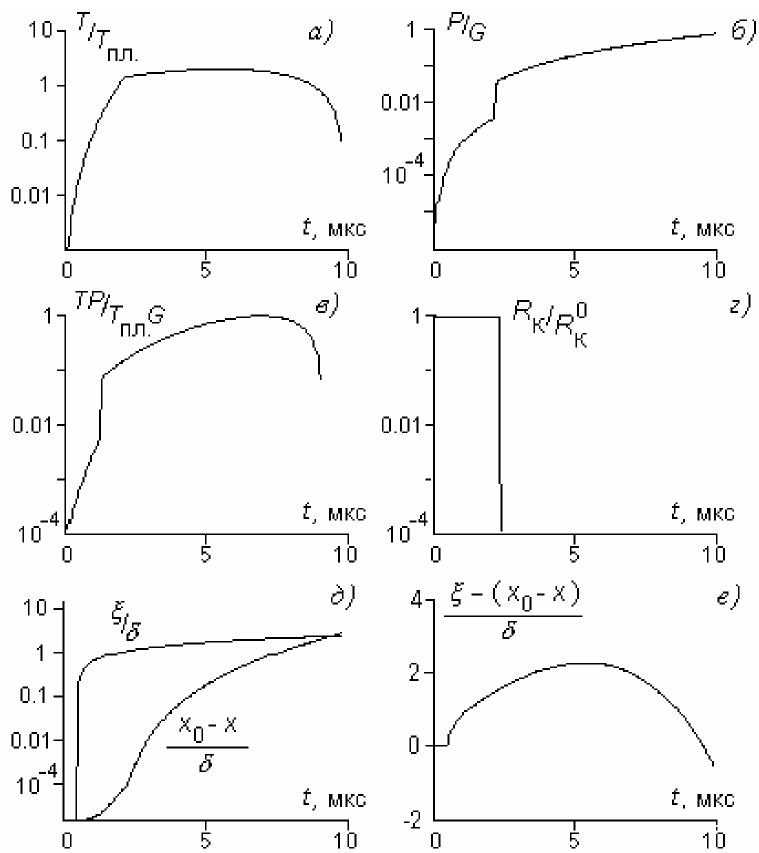


Рис. 4. Динамика параметров процесса КМИС: *а* – температуры; *б* – магнитного давления; *в* – интегральной энергетической характеристики процесса; *г* – сопротивления нахлеста; *д* – глубины раплавления Ме и толщины выплеснутого слоя (расплава); *е* – сравнительной значимости теплового и механического факторов при образовании сварного соединения. Для наглядности результаты приведены в безразмерном виде

О прогностических возможностях предложенной ИМ КМИС свидетельствуют фотографии микрошлифов на рис. 5, отвечающие условиям качественного (*а*, *б*) сваривания и недогрева (*в*) согласно модельным расчетам. Хорошо заметно, что параметрам сваривания, характеризуемым в рамках нашей модели как недогрев, отвечает локализация сварного соединения в отдельных точках – островах или в терминах нелинейной теплопроводности S-режим тепломассообмена. Инициализацией ИМ КМИС по опытным данным удается сократить объем необходимых оптимизационных технологических экспериментов, как минимум, на полтора порядка [3].

Перспективы развития отрабатываемой модели КМИС видятся в совершенствовании гидродинамического блока модели – для учета тонких поверхностных эффектов, значение которых возрастает по мере снижения энергоемкости процесса и миниатюризации изготавливаемых деталей. Следует также предусмотреть возможность детализовать описание первичного нагрева с целью интерпретировать влияние специфических факторов, например, вакуума на динамику, эффективность и качество КМИС.

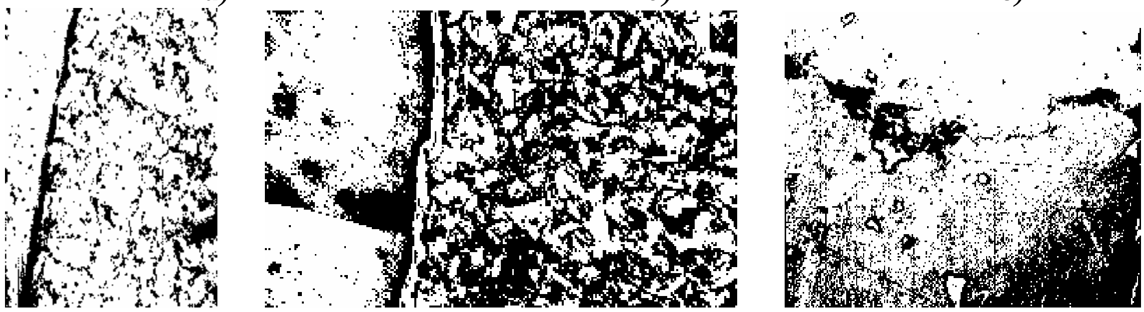


Рис. 5. Микрошлифы сварного соединения: *а*, *б* – качественное сваривание;
в – «островное» сваривание, недогрев

Выводы. Путем предварительного анализа элементарных процессов в технологии КМИС установлена иерархия соответствующих временных и энергетических показателей, на основании которой сконструирована точечная модель динамики сваривания.

Модель реализована как соответствующий программный модуль в системе MathCAD и инициализирована в соответствии с имеющимися данными технологического эксперимента.

В рамках предложенной точечной модели описаны технологически важные черты динамики КМИС: 1) подтвержден факт равной значимости тепловых и механических процессов при образовании сварного соединения, 2) установлен переключающий характер нелинейности, обусловливающей динамику КМИС – сперва доминируют тепловые процессы в зоне контакта, которые (из-за сильной зависимости контактного сопротивления от состояния поверхности в зоне нахлеста), затем они быстро уступают место процессам механическим, 3) дана классификация тепловых режимов контактной зоны, исследована динамика температурного поля.

Намечены пути совершенствования ИМ КМИС: описание динамики сваривания с учетом пространственной распределенности процесса и интеграции компьютерного эксперимента с физико-технологическим.

Список литературы: 1. Дудин А.А. Магнитно-импульсная сварка металлов. М.: Металлургия, 1979. **2.** Кочергин К.А. Сварка давлением. Л.: Машиностроение, 1973. **3.** Strizhakov E.L. et al. Classification of methods and examination of the process of resistance magnetic-pulse welding // Welding International. 2004. V. 18. № 1. P. 57-60.

УДК 621.184.22

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО ВЛИЯНИЯ ТРУБНОГО ПУЧКА НА ЗОНУ СОЕДИНЕНИЯ КОЛЛЕКТОРА И КОРПУСА ПАРОГЕНЕРАТОРА АЭС ВВЭР – 1000

Луковский А.А., Дроженников И.С., Волоховский В.Ю., Шипков А.А.
(МЭИ(ТУ), г. Москва, Россия)
Тел./Факс:+7-495-362-77-00; E-mail: mpisiney@mail.ru

Abstract. *Influence of the tube bundle on the collector-case zone stress-strain state of a NPP steam generator is determined in the paper taking into account steam generator (SG) design peculiarities. Designed and varied regimes of SG heat exchanger tubes operation details are considered.*

На многих действующих отечественных и зарубежных блоках АЭС неоднократно были обнаружены повреждения, связанные с растрескиванием металла в зоне сварного соединения корпуса парогенератора с коллектором (сварное соединение №111) [1]. Устранение данных повреждений ремонтом оборудования, требует продолжительной остановки блока и приводит к существенным экономическим потерям.

При расследовании причин повреждений было выявлено, что разрушение металла происходило по механизму замедленного деформационного растрескивания под напряжением (ЗДКР), основным фактором для инициации которого является наличие растягивающих напряжений на уровне предела текучести.

За последние годы было проведено большое количество расчетно-экспериментального обоснования прочности узла, в котором обнаруживаются повреждения [2]. При этом, несмотря на многофакторность проблемы, детально не учитывалось влияние трубного пучка - анализ его влияния на коллектора теплоносителя и зону заделки теплообменных труб (ТОТ) в коллекторах проводили с использованием упрощенных моделей.

Во время эксплуатации парогенераторов наблюдалась деформация опорных устройств трубного пучка, вызванная нарушением проектной работы системы. Такие повреждения могли привести к дополнительной неучтенной нагрузке на зону сварного соединения №111 и перераспределению напряженно-деформированного состояния указанных узлов.

В работе получены значения усилий и моментов от действия трубного пучка на перфорированную зону коллектора при проектной и нарушении проектной работы теплообменных труб в дистанционирующих решетках опорных устройств, а также определена степень влияния данных силовых факторов на напряженно-деформированное состояние зоны соединения коллектора с корпусом парогенератора.

Список литературы: 1. Лукасевич Б.И., Трунов Н.Б., Драгунов Ю.Г., Давиденко С.Е., Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 391 с.,**2.** Несущая способность парогенераторов водоводяных энергетических реакторов /Н.А. Махутов, Ю.Г. Драгунов, К.В. Фролов и др. – М.: Наука, 2003. – 440 с. («Исследование напряжений и прочности ядерных реакторов»).

УДК 62-182.7

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ТОРГОВЫХ АВТОМАТОВ

Маляренко А.Д., Дробова А.А. *(БНТУ, г.Минск, Республика Беларусь)*
Тел.: +375 (17) 293-95-05 E-mail: amalyar@tut.by

Abstract: *The paper presents the modern transport system of vending machines. The main element, which determines the slot machine for sale of piece goods is the mechanism of delivery of the goods. Accordingly vending machines can be divided into the following groups: with the delivery of the goods, with the spiral delivery of the goods, with the conveyor delivery of the goods. The authors considered that the most appropriate use machines with conveyor delivery of the goods as used here mechanisms storage and movement of goods allow: first, sell the products of different shapes and sizes, secondly, the mechanism of moving and delivery of the goods (elevator regiment, conveyor belt) allows you to sell the goods, does not withstand a fall from a height (glass container).*

Одним из факторов повышения культуры обслуживания, особенно в сфере общественного питания, является использование торговых автоматов. Реализация отдельных видов пищевой продукции через автоматы обеспечивает оперативность обслуживания посетителей, позволяет расширить торговую сеть и увеличить объем товарооборота, снижает потребность расширения штата сотрудников и повышает рентабельность предприятия, делает возможным приобретать товары в любое время суток.

Торговыми автоматами называются устройства, которые в автоматическом режиме (без оператора) осуществляют процесс механического обмена товара на деньги или другие денежные эквиваленты [1]. Для продажи используют различные виды торговых автоматов. Торговые автоматы классифицируют в основном по двум признакам: по ассортименту (для продажи жидких и штучных товаров) и способу выдачи товаров.

Рассмотрим конструктивные особенности торговых автоматов для продажи штучных товаров. Товары в автоматах этого класса, упакованные в пакеты, коробки, бутылки, пачки и т.п., размещают в загрузочных устройствах откуда с помощью определенного механизма товар транспортируется к месту выдачи.

Независимо от назначения и свойств продаваемой продукции торговые автоматы имеют следующие узлы и механизмы: корпус, емкость для хранения товара, дозирующее устройство, транспортирующее устройство (механизм выдачи товара), купюро- или монето-приемник, устройство для поддержания заданных температурных режимов и давления, электрооборудование и элементы автоматики, вспомогательное оборудование. Основным устройством, определяющим устройство торгового автомата, является транспортирующее устройство.

Исходя из особенностей механизма транспортирующего устройства торговые автоматы можно разбить на следующие группы: автоматы с обойменной (барабанной) выдачей товара, автоматы со спиральной выдачей товара, автоматы с конвейерной выдачей товара.

В автоматах с обойменной выдачей товара механизм выдачи представляет собой обойму, в которую загружается товар, и при одиночном срабатывании затвора из обоймы извлекается единичный товар. Товар загружается в вертикальные колонки, внизу каждой колонки находится створка выдачи товара, которая связана с электродвигателем. После получения автоматом от покупателя нужной суммы денег с главного контроллера подается сигнал на выдачу товара; при этом включается электродвигатель, который открывает створку выдачи. Для того чтобы весь товар из колонки не провалился через открывшуюся створку, из стенки колонки выдвигается демпфер (тормозящая пластинка), который упирается в предпоследний товар и прижимает его к стенке колонки. На каждую колонку таких демпферов два: один прижимает предпоследний товар, а другой выдвигается в центре колонки, уменьшая давление остальных единиц товара на нижнюю. Поскольку предпоследний товар прижат демпфером к стенке колонки и створка выдачи открыта, то последний товар под действием своего веса проваливается в окно выдачи. По окончании цикла выдачи товара демпферы убираются обратно в стенку колонки, и оставшийся в колонке товар под своей тяжестью опускается на закрывшуюся створку выдачи (рис. 1) [2].

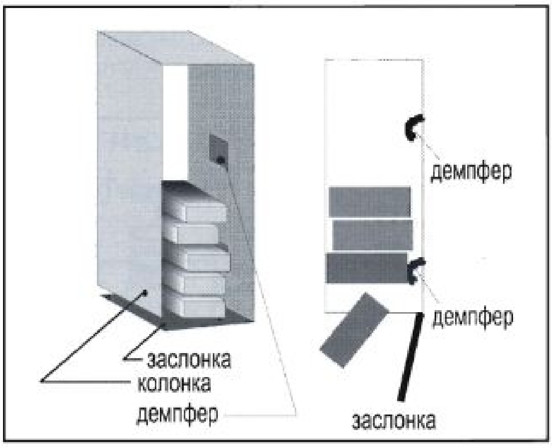


Рис. 1. Схема обойменной выдачи товара

Такой способ выдачи имеет ряд недостатков. Товары должны быть определенных габаритов и формы в соответствии с размерами колонки. Если товар слишком мал, то в течение цикла выдачи демпферы не смогут прижать его к стенке колонки и часть товара, успевшая проникнуть через открытую створку за период выдачи, попадает к покупателю, что приводит к убыткам. При чрезмерно больших габаритах товар может заклинить внутри колонки, и тогда покупатель его не получит.

К достоинствам можно отнести тот факт, что автоматы имеют закрытую витрину и товары находятся в закрытых колонках, что позволяет защитить товар от краж. В то же время закрытую витрину можно отнести и к минусам, поскольку покупатель, подходя к автомату, не видит реального товара, который он хочет приобрести.

Таким образом, данная конструкция автомата предполагает узкий диапазон размеров товаров для продажи. Поэтому для варьирования размеров продаваемых товаров можно использовать различные типы проставок, которые необходимо крепить к стенкам колонки для товаров меньшего размера.

Другой разновидностью торговых автоматов для штучных товаров являются автоматы со спиральной выдачей товара, которые выпускаются многими фирмами. Данный тип автоматов – самый распространенный в мире. Для аппаратов характерна открытая витрина, которая обычно подсвечивается и все товары покупатель может видеть через стекло. Витрина состоит из полок, расположенных друг под другом. Полки разбиты на колонки, в каждой из которых располагается спираль. Между витками спиралей закладывается товар для продажи. Спирали имеют собственный электродвигатель, расположенный в задней части полки и связанный со спиралью через редукционные шестерни. Механизм перемещения товара к устройству выдачи следующий: главный контроллер подает сигнал на выдачу товара, электродвигатель запускается и спираль делает оборот вокруг своей оси, после чего электродвигатель отключается. При вращении спирали вложенный в нее товар перемещается по спирали в направлении витрины. Когда спираль заканчивается, товар падает в лоток выдачи, откуда он извлекается покупателем, а находящиеся за ним единицы продукции приближаются на один шаг к краю спирали.

Достоинства данного типа торговых автоматов является универсальность – способность продавать товары разной формы упаковки. Для того чтобы перестроить ав-

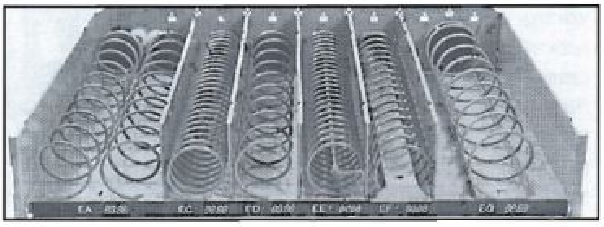


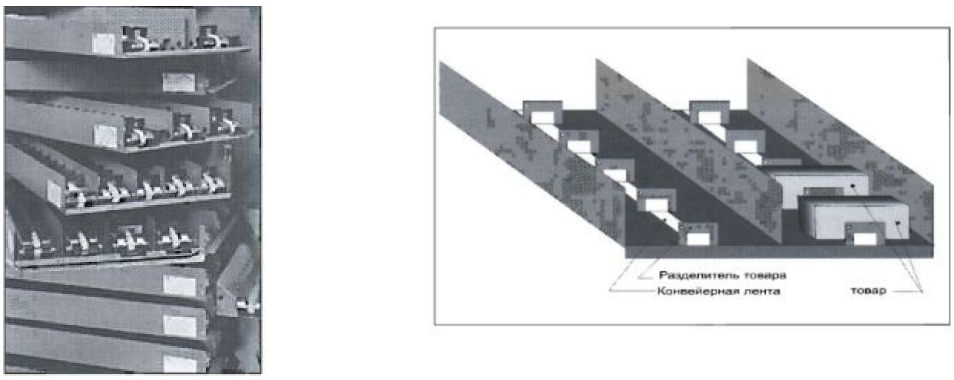
Рис. 2. Варианты спиралей

томат для продажи других товаров необходимо применять спирали с различным шагом, можно объединять ячейки и использовать двойные спирали с противоположным вращением, для продажи узких товаров необходимо использовать спиральные разделители (рис. 2).

Недостатком спиральной конструкции в торговых автоматах является ограниченность ассортимента – продавать можно лишь товары, выдерживающие падение с высоты; высокая вероятность заклинивания товара – например, между полками и стеклом витрины.

Вторую из перечисленных проблем можно частично решить с помощью датчика контроля выдачи, сканирующий окно выдачи. Когда товар попадает в поле зрения сканера, контроллер получает сигнал, что товар доставлен по назначению, а если сигнал отсутствует, то спираль прокручивается вторично.

Третьей разновидностью торговых автоматов для штучных товаров являются автоматы с конвейерной выдачей товара. В автомате имеются горизонтальные полки для установки товаров и лифтовая полка для транспортировки товара к окну выдачи (рис. 3а).



а) б)

а) внутренний вид, б) схема загрузки конвейерной ленты

Рис. 3. Автомата с конвейерной выдачей

На каждой полке расположены колонки (от 2 до 5), внутри которых находятся конвейерные ленты (транспортеры). Товар укладываются на конвейер между пластинами-разделителями, закрепленными на конвейерной ленте (рис. 3б), которые довольно легко устанавливаются на ленту с различным шагом. При выборе покупателем нужного товара поисковая система автомата включает лифтовую полку, которая перемещается к выбранной полке с нужным товаром; после остановки лифтовой полки включается лента-транспортер с выбранным товаром. При движении конвейерной ленты товар, находящийся ближе к лифтовой полке, падает в нее и пересекает инфракрасные лучи, после чего конвейерная лента останавливается. Лифтовая полка опускается до окна выдачи товара, и включается конвейерная лента, установленная на лифтовой полке, после чего товар подается в окно выдачи, где он становится доступным покупателю. Расширить ассортимент продаваемых товаров позволяют автоматы с многорядным расположением транспортерных лент [1].

Достоинствами такого типа автоматов являются высокая степень загрузки и широкий диапазон размеров продаваемых товаров. Это автомат последнего поколения, в котором устранены недостатки автоматов, описанных выше.

На основе анализа различных конструкций автоматов, можно сделать следующие выводы: каждый из рассмотренных механизмов для перемещения и выдачи товаров имеет как свои преимущества, так и недостатки. Однако наиболее целесообразно использовать автоматы с конвейерной выдачей товара, так как используемые здесь механизмы хранения и перемещения товара позволяют: во-первых, продавать товары различной формы и размеров, во-вторых, механизм перемещения и выдачи товара (лифтовая полка, конвейерная лента) позволяет продавать товары, не выдерживающие падение с высоты (стеклянная тара).

Список литературы: 1. Кащенко, В.Ф. Торговое оборудование / В.Ф. Кащенко, Л.В. Кащенко. – Москва: Альфа-М, 2006. – 397 с. **2.** Гуляев, В.А. Оборудование предприятий торговли и общественного питания / В.А. Гуляев, В.П. Иваненко, Н.И. Исачев. – Москва: Инфра-М, 2004. – 541 с.

УДК 681.3.07

ФОРМАЛИЗАЦИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ АБРАЗИВНО-АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ

Бережная Е.В., Полтавец В.В. *(Кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*
E-mail: k-lagidna@bk.ru

Аннотация. *В статье рассматриваются способы формализованного представления базы знаний экспертной системы управления технологическим процессом абразивно-алмазной обработки. Описано множество информативных параметров, влияющих на технологический процесс, и приведен фрагмент базы правил экспертной системы, построенной на основе мнений экспертов.*

Ключевые слова: *экспертная система, база знаний, информативный параметр*

1. Введение

Создание системы управления технологическим процессом (СУТП) на основе применения экспертных систем (ЭС) может значительно ускорить процесс разработки сложной системы управления, повысить качество решения задачи и дать экономию ресурсов за счет эффективного распределения функций центрального управления и локальных измерительных и управляющих подсистем. Такой эффект достигается за счет открытости системы представления знаний об объекте управления, адаптации системы управления к условиям функционирования объекта, автоматической коррекции управляющих воздействий при изменении существенных параметров в процессе функционирования объекта.

В качестве инструментального средства для разработки СУТП принята экспертная среда CLIPS. Эта система в последнее время интенсивно развивается и совершенствуется: с момента разработки язык среды CLIPS был неоднократно модернизирован, введены процедурные и объектно-ориентированные парадигмы, введена поддержка модульной структуры программ и многое другое. В настоящее время среда CLIPS является мощным инструментом для создания экспертных систем и распространяется бесплатно. Кроме относительной простоты программирования в данной среде, может быть обеспечена возможность работы созданной ЭС в реальном масштабе времени, когда реакция системы на возмущения не должна превышать нескольких миллисекунд [1].

Таблица 1. Информативные параметры технологического процесса обработки кругами из СТМ

№ п/п	Обозначение параметра	Название параметра	Единица измерения	Диапазон значений
1	Vk	Скорость резания	м/с	20-30 (Vk=1), 30-35 (Vk=2), 35-40 (Vk=3), 40-50 (Vk=4)
2	Sprod	Подача продольная	м/мин	0,2-0,4 (Sprod=1); 0,5-1,0 (Sprod=2); 0,5-3,0 (Sprod=3); 3-5 (Sprod=4); 5-10 (Sprod=5); 5-15 (Sprod=6); 8-10 (Sprod=7)
3	Spop	Подача поперечная	мм/ход стола	0,3-0,6 (Spop=1); 0,5-2,0 (Spop=2); 0,5-1,0 (Spop=3); 2-4 (Spop=4)
4	I	Материал круга	–	алмаз (I=1), кубический нитрид бора (I=2)
5	t	Глубина шлифования	мм/дв. ход	0,005-0,02 (t=1); 0,04-0,1 (t=2); 0,01-0,05 (t=3); 0,05-0,4 (t=4); 0,05-0,2 (t=5); 0,3-1,0 (t=6); 0,2-0,6 (t=8)
6	S	Материал связки	–	Органическая (S=1), керамическая (S=2), металлическая (S=3), металлокерамическая (S=4)
7	Ds1	Способ шлифования периферией круга	–	С врезной подачей без поперечной (Ds1=1), с большой глубиной обработки и малой поперечной подачей (Ds1=2), с малой глубиной обработки и большой поперечной подачей (Ds1=3)
8	Ds2	Способ шлифования торцом круга	–	Со значительным наклоном оси круга по направлению продольной подачи стола (Ds2=1), с незначительным наклоном оси круга (Ds2=2), без наклона круга (Ds2=3)
9	Dm	Материал заготовки	–	Высоколегированные труднообрабатываемые стали (Dm=1), Титановые сплавы (Dm=2), Твердые сплавы (Dm=3)
10	Da	Требования по шероховатости поверхности	–	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
11	Dar	Достигнутая шероховатость поверхности	–	0,4; 0,8; 1,6; 3,2

2. Основное содержание и результаты работы

В качестве объекта управления примем процесс абразивно-алмазной обработки заготовки. В данном случае СУТП на основе применения экспертных систем будет осуществлять управление технологическим процессом обработки через подсистему управления высшего уровня, способную к самостоятельному функционированию и обеспечивающую выполнение всех основных функций по управлению сбором и анализом технологической информации и принятию оперативных решений по ходу процесса. В состав СУТП входит ряд локальных управляющих подсистем нижнего уровня, каждая из которых осуществляет управление одним из компонентов технологического процесса по жесткому алгоритму в реальном времени. СУТП на основе ЭС обеспечивает организацию сбора информации об управляемом процессе от локальных подсистем, управление режимами их функционирования и принятие оперативных решений. В общем случае управление технологическим процессом может осуществляться частично либо полностью автоматически.

Из многих видов абразивной обработки выделим обработку шлифовальными кругами из сверхтвердых материалов (СТМ). Выделим множество информативных (существенных) параметров, влияющих на технологический процесс и позволяющих управлять этим процессом с некоторой достоверностью. Одновременно для выбранных параметров выделим информативные значения или информативные диапазоны значений, используя справочные данные [2]. Выбранные информативные параметры и их значения представлены в табл. 1.

Таблица 2. Формализованное представление базы знаний экспертной системы управления технологическим процессом обработки кругами из СТМ

№№ п/п	Dm	Da	Dar	Технологическое управляющее воздействие	Достоверность
1	1	0,4	0,4	Vk=3, Sprod=4, Spop=1, t=1, Ds1=2, I=2, S=1	0,98
2	1	0,8	0,8	Vk=2, Sprod=7, Spop=1, t=2, Ds1=2, I=2, S=2	0,98
3	3	1,6	1,6	Vk=1, Sprod=6, Spop=2, t=3, Ds1=2, I=1, S=3	0,98
4	3	0,4	0,4	Vk=1, Sprod=5, Spop=3, t=1, Ds1=2, I=2, S=1	0,98
5	3	0,4	0,4	Vk=1, Sprod=3, Spop=4, t=1, Ds1=3, I=2, S=1	0,98
6	3	0,8	0,8	Vk=3, Sprod=3, Spop=4, t=5, Ds1=3, I=2, S=1	0,98
7	3	3,2	3,2	Vk=1, Sprod=2, t=7, Ds2=2, I=2, S=3	0,98
8	3	3,2	3,2	Vk=1, Sprod=1, t=8, Ds2=2, I=2, S=3	0,98
9	3	3,2	3,2	Vk=1, Sprod=2, t=7, Ds2=2, I=2, S=3	0,98
10	3	3,2	3,2	Vk=1, Sprod=2, t=7, Ds2=2, I=2, S=3	0,98

Представим на основе мнения экспертов информационные образы управляющих решений в алфавите значений информационных параметров. В табл. 2 представлен фрагмент базы знаний (базы правил) экспертной системы управления технологическим процессом обработки кругами из СТМ. Здесь достоверность характеризует уверенность эксперта, что технологическое управляющее воздействие позволит достичь заданного параметра обработки Da на основе данного воздействия.

3. Заключение

Достоверность правильности технологического управляющего воздействия должна автоматически корректироваться по результатам изготовления детали. В табл. 2 приведен пример базы знаний ЭС, упрощенный для целей практической её реализации. Здесь не сформулированы задачи работы с базой данных. Следующим этапом формализации базы знаний ЭС для дальнейшего развития СУТП является построение базы целей (конфликтного множества правил). Такая база целей является внутренним для среды CLIPS механизмом.

Функционирование СУТП в общем случае состоит в том, что в процессе обработки производится измерение информативных параметров и технологические управляющие воздействия задаются в зависимости от результатов измерений параметров на основе правил базы знаний ЭС. Если изменение величины технологических управляющих воздействий происходит в режиме реального времени, то СУТП будет работать в автоматическом режиме.

Список литературы: 1. Частиков А.П. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS / А.П.Частиков, Т.А. Гаврилова, Д.Л. Белов. – СПб: БХВ - Петербург, 2003. – 687 с. **2.** Справочник инструментальщика / Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.

УДК 621.883.002.56

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗУБЧАТОЙ ВТУЛКЕ С ПРОДОЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ЗУБЬЕВ ПРИ ОТСУТСТВИИ ПЕРЕКОСА ОСЕЙ ВАЛОВ

Тарасова Е.С., Грубка Р.М. *(ДонНТУ, г. Донецк, Украина).*

Аннотация. *Статья посвящена исследования распределения напряжений в элементах зубчатой втулки.*

Ключевые слова: *зубчатая втулка, продольная модификация зубьев, перекос осей.*

В данной работе проведем исследования распределения напряжений зубчатой втулке с зубьями с продольной модификацией методом конечных элементов [1, 2, 3], используя программный комплекс ANSYS 13.0 . Распределение напряжений определим в соединении между обоймой с зубьями с прямолинейной образующей и втулкой с зубьями с продольной модификацией при отсутствии погрешностей монтажа валов.

Исследования распределения напряжений в элементах зубчатой втулки выполним на трехмерной модели половины зубчатой муфты рис. 1 а. 3D модель зубчатой муфты построена в программе SolidWorks 2010 и состоит из зубчатой втулки и обоймы. Перед проведением расчетов импортируем модель в ANSYS Workbench используя стандартную функцию «Import». После чего проведем статический расчет модели, используя модуль Static Structural, который позволяет определить распределения напряжений и перемещений в условиях статического нагружения конструкции.

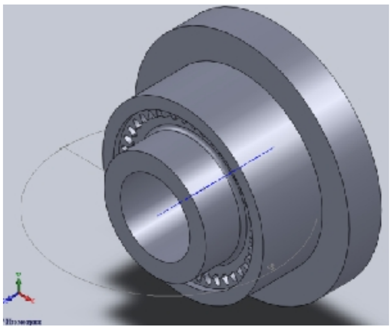
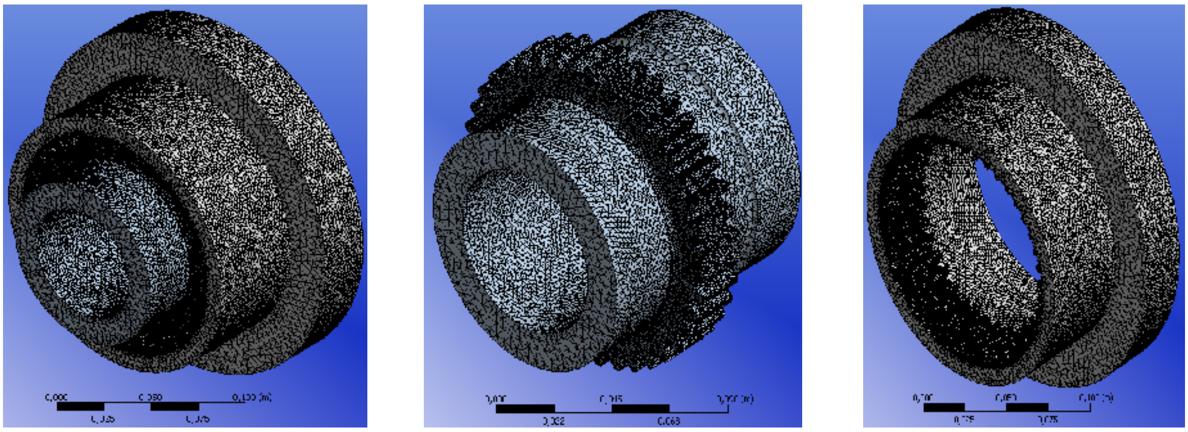


Рис. 1. Трехмерная модель зубчатой муфты

В процессе составления расчетной схемы:

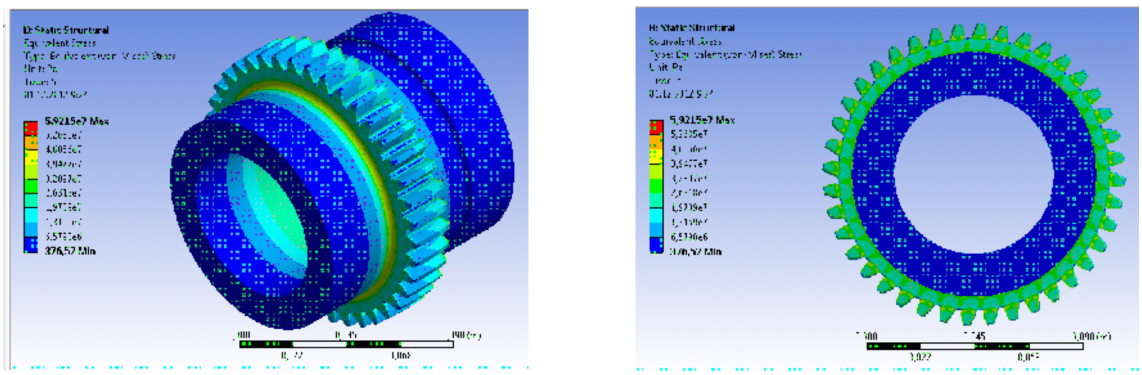
- задано ограничение – зафиксирована от перемещения поверхность торца фланца обоймы;
- приложен момент к цилиндрической поверхности отверстия втулки, величина момента составила 4000Нм, направление – вращение по часовой стрелке, если смотреть со стороны левого торца втулки;
- заданы значения параметров сетки: 2мм – глобальный размер конечных элементов , 1мм – размер конечных элементов на зубчатых венцах.



а) б) в)

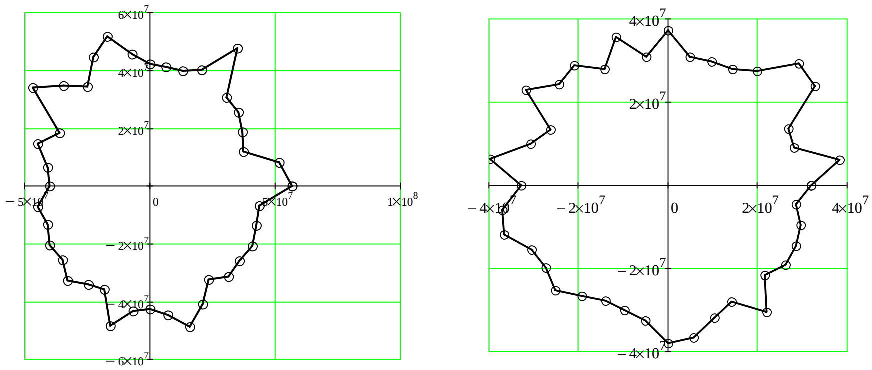
Рис. 2. Трехмерные модели зубчатой муфты и ее элементов с сеткой конечных элементов: а – зубчатой муфты; б – зубчатой втулки; в – обоймы

После задания ограничений и нагрузок была построена сетка конечных элементов для сборки половины зубчатой муфты рис. 2. и выполнен статический расчет модели без перекоса зубьев втулки относительно зубьев обоймы. В результате расчета получено распределение эквивалентных напряжений в зубчатой втулке с продольной модификацией зубьев рис. 3. При рассмотрении полученных результатов определялись значения изгибных и контактных напряжений на боковой поверхности зубьев втулки, которая непосредственно контактирует с зубьями обоймы. Причем изгибные напряжения измерялись у ножки зуба втулки, а контактными являются максимальные напряжения, действующие на рассматриваемой боковой поверхности зуба.



а) б)

Рис. 3. Распределения эквивалентных напряжений в зубчатой втулке с продольной модификацией зубьев: а) распределение эквивалентных напряжений; б) вид втулки с наиболее загруженного торца



а) б)

Рис. 4. Эпюры распределение максимальных напряжений на зубьях втулки: а) контактные напряжения, б) изгибные напряжения

Результаты измерения изгибных и контактных напряжений представлены в виде эпюр распределение максимальных изгибных и контактных напряжений на зубьях втулки (рис. 4). По данным на эпюрах рис. 4. определены минимальные, средние и максимальные значения изгибных и контактных напряжений, которые составили соответственно:

- изгибные: 29,0МПа, 34,0МПа и 41,4МПа;
- контактные: 39,1МПа, 45,9МПа и 59,2МПа.

Из результатов расчета видно, что напряжения между зубьями втулки распределены не равномерно, что связано с особенностями деформации зубьев с продольной модификацией. При этом максимальные изгибные напряжения превышают минимальные в 1,43 раза, а максимальные контактные напряжения превышают минимальные в 1,51 раза.

Список литературы: 1. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров. Справочное пособие. - М: Машиностроение-1, 2004. - 512 с. **2.** Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. Москва: ДМК Пресс, 2005. - 640 с. **3.** Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.

УДК 681.5

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

Шаповалов Р.Г., Сысоев В.Н. *(кафедра механики, ИТА ЮФУ, г. Таганрог, Россия)*

Аннотация: *В статье рассмотрены основные принципы комплексной механизации и автоматизации работ на электротехнических предприятиях. Приведен состав телемеханической системы управления.*

Ключевые слова: *механизация, автоматизация, электротехнические предприятия, инструменты, автоматические системы, управление.*

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Одним из самых главных направлений научно-технического прогресса является комплексная механизация трудоёмких работ. В данное время на электротехническом предприятии механизировано множество трудоемких работ, также в большинстве из них осуществляется комплексная механизация. Это стало возможным благодаря созданию и использованию приводимых в действие электрическими двигателями различных механизмов, машин, оборудования. Например, в изготовлении электрических машин используют разное металлообрабатывающее оборудование общего назначения, специализированные станки и приспособления.

Благодаря применению электрифицированных инструментов, сварочного оборудования, грузоподъемных устройств, механизмов, пороховых и пневматических инструментов и т.п. осуществляют механизацию электромонтажных работ, исполняемых при сооружении линий электропередач, новых зданий, при ремонтных работах электрических сетей и электрооборудования. Особенно широкое распространение обрели специализированные инструменты, механизмы и приспособления, применяемые, например, при монтаже кабельных линий электропередачи, соединения и оконцевания кабелей и проводов, а также монтаже воздушных линий электропередачи, распределительных устройств, подстанций, заготовки отверстий, различного рода борозд и гнёзд в конструкциях для установки электроарматуры и укладки проводов.

Усилия инженеров, ученых, квалифицированных рабочих направлены на модернизацию уже существующих средств механизации, увеличение их производительности. Также с целью их механизации осуществляют различные виды электромонтажных работ в специализированных мастерских и на станциях механизации, оборудованных на автомобилях и автоприцепах. Например, созданы специализированные мастерские для монтажа кабельных линий, закрытых распределительных устройств и подстанций, силового и осветительного электрооборудования. Данные мастерские снабжены слесарными верстаками, необходимыми приспособлениями и инструментами, автономными источниками питания электроэнергией. К примеру, мастерская типа МЭ-АП для монтажа электрооборудования промышленных предприятий также располагает необходимыми средствами малой механизации, электроточилом, сверлильным станком, механическим и гидравлическим прессом, электросверлильной машиной, трубогибом и т.д. Мастерская полностью оборудована набором инструментов и приспособлений, нужных при выполнении электромонтажных работ, что обеспечивает рабочим-электрикам высокую производительность труда.

Подобно такой мастерской оборудованы и оснащены другие специализированные мастерские, причем оборудование подобных мастерских в будущем будет совершенствоваться.

Важным направлением комплексной механизации электротехнических работ остаётся формирование технологических линий. На этих линиях производится заготовка и обработка кабелей, проводов, элементов электропроводки. Последующее развитие технологических линий, определенных для механизированного осуществления электротехнических работ, сокращение времени, затрачиваемого на реализацию технологического процесса, – перспективный путь распределенной механизации электромонтажных работ.

На электротехнических предприятиях комплексную автоматизацию, осуществляют в основном так, как это производят на предприятиях различных многих других отраслей промышленности.

Осваивая способы обработки материалов, их свойства, конструкцию, а также принцип действия, машин, аппаратов, механизмов, приборов, наблюдая в процессе их работы за ними, человек извлекает сведения, на основе которых совершает требующиеся трудовые действия, регулирует ход производственных процессов, управляя оборудованием. Человек применяет машины, аппараты, механизмы, приборы: которые непосредственно заменяют его труд, реализуя действия по регулированию, управлению и контролю оборудования, а также протеканию производственных процессов. Автоматами называют технические устройства, которые целесообразно действуют без прямого участия человека. Автоматы ведут работу по заданной программе, созданной человеком. Наладку и ремонт осуществляют операторы, обслуживающие автоматы (в случае такой необходимости). Операторы также осуществляют общий надзор за автоматами, включают и настраивают их на нужный режим. В любом автомате имеется управляющая и управляемая системы.

На управляемую систему воздействует по заданной человеком программе управляющая система. В конечном итоге управляемая система производит необходимые действия. Как правило, управляемая система несет в себе рабочую машину. Тем самым, управляющая система осуществляет те функции, которые в её отсутствии реализовывал бы человек.

На данный момент широкое применение находят различные автоматические системы. Они могут нести в себе различного рода датчики, усилители сигналов, устройства дистанционной передачи сигналов, какие-либо исполнительные устройства. Электрические сигналы можно передавать к другим элементам автоматического устройства датчика по проводам или же различными другими способами передачи сигналов. Тем не менее, слабый сигнал передаётся лишь на относительно небольшое расстояние. В определённой точной передаче сигналов на большие расстояния применяют системы телемеханики, состоящие из следующих частей:

- передающее устройство, на которое приходит сигнал;
- линии радиосвязи на ультракоротких и коротких радиоволнах или же линии электросвязи, телеграфные и телефонные, воздушные и кабельные линии, высоковольтные линии электропередачи;
- приемное устройство.

Используют также и другие способы передачи сигналов в автоматических системах. Мощность поступающего от датчика сигнала очень мала и зачастую она в несколько тысяч раз меньше той мощности устройств, работой которых обязаны управлять датчики. Вследствие этого в автоматических системах в увеличении необходимой мощности сигнала датчиков используют усилители. Исполнительные устройства автоматических систем предназначены для воздействия на управляемую систему.

В автоматических системах используют всевозможные типы реле, такие как электронные, электротепловые, электромагнитные, и т.п. Замыкаемые и размыкаемые контакты являются основными, исполнительными органами реле. Если же части управляемой системы обязаны совершать значительные перемещения, то тогда в качестве исполнительных органов применяют соленоидный и электродвигательный приводы. Также во многих разных автоматических системах, в особенности исполнительных устройств, служат гидравлические и пневматические приводы.

Различают системы автоматической защиты и контроля, автоматического регулирования и управления. От ряда утомительных операций человека освобождает автоматический контроль, давая возможность совершать измерение различных величин в условиях опасных или малодоступных для непосредственного труда человека, что увеличивает быстроту выполнения контрольно-измерительных операций и повышает точность.

Системы автоматического контроля основаны на использовании средств и методов измерения электрическими методами неэлектрических величин. Разомкнутая автоматическая система представляет собой устройство, специализированное для исполнения автоматического контроля. Совокупность действий, сориентированных на обслуживание или улучшение функционирования управляемого объекта, производят системы автоматического управления в соответствии с заданной целью управления без непосредственного участия человека.

Автоматическая система выполняет функции по управлению объектом, человек производит лишь первоначальное включение. Поддерживать требуемый режим работы, к примеру заданную температуру, скорость, уровень жидкости, напряжение и т.п. могут системы автоматического управления производственных объектов или технологических процессов. Замкнутую автоматическую систему представляет собой устройство, предназначенное для исполнения автоматического управления. Управляемым объектом называют аппарат или машину, чей процесс подвергается управлению. Воздействие на управляемый объект производится для исполнения цели управления управляющим устройством. В процессе работы управляемый объект «ощущает» внешние воздействия, именуемые возмущениями. Вследствие возмущения меняется управляемая величина, о чём получает информацию устройство управления. Учитывающий характер возмущения устройство управления вырабатывает новый сигнал управления, который поступает на вход управляемого объекта.

Список литературы: 1. Пантелеев В. Н., Прошин В. М. Основы автоматизации производства. – М.: Академия, 2001. – 192 с.

SEMI-ACTIVE DAMPING IN MECHATRONIC DISCRETE VIBRATING SYSTEMS

Bialas K., Buchacz A., Galeziowski D.
(Silesian University of Technology, Gliwice, Poland)

Abstract: *In this paper the problem of semi-active vibration isolation method in discrete mechatronic systems has been presented. Systems are synthesized with commonly known methods of distribution of dynamical characteristics. Requirements are given in form of resonant and anti-resonant frequencies. By use of selection of various parameters it is shown how to receive mechatronic structure that contains mechanical model and piezoelectric actuator which works with external electric LC or LRC network as semi-active vibration absorber. This structure with negative value parameters has been compared with passive type.*

Introduction

Synthesis as a designing of mechatronic discrete systems has been investigated in [1-3]. By use of algorithm of dimensionless transformations and retransformation [4] it was possible to extend known problem of solving the reverse task of mechanical systems [5].

The paper is also the continuation of the other works done in Gliwice Research Centre. It relates to damping methods with passive or active elements [6], application of piezoelectric actuator [7] and modeling in general by equivalent and graph method of piezo layer [8]. In papers [9,10] possibility of semi-active damping method has been presented.

Basing on researches connected with issue of negative capacitance, stiffness elements and mechanisms theory and realizations [11,12] and current authors achievements [1-4], semi-active damping vibration isolation method has been studied. The impact on the selection of various parameters on mechatronic structures with adaptive-passive damping has been investigated and compared with passive realization of piezostack actuator and connected electric network.

Semi-active damping realization

Semi-active damping function in mechatronic discrete vibrating system is realized by piezoelectric element which is connected to external network that contains capacitance with negative value. Basing on [9-10], the model of piezostack actuator connected to LRC system and electric network that realize negative capacitance has been presented schematically in the fig. 1.

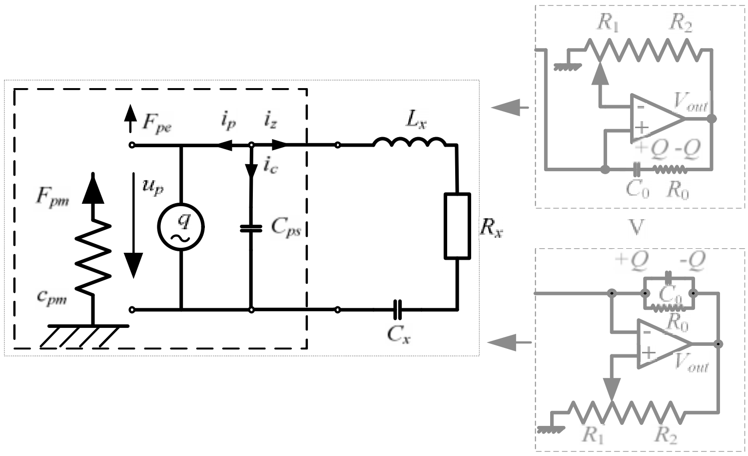


Fig. 1. Schematic model of piezoelectric actuators connected to external LRC system with indicated networks that realize negative capacitance

Electric equation of the system has been written as:

$$i_p + i_c + i_z = \frac{eA_p}{l_p}\dot{x}_1 + C_{ps}\dot{u}_p + \frac{u_p}{R_x + L_x\frac{\partial}{\partial t} + \frac{1}{C_x}\int dt} = 0. \qquad (1)$$

Passive and semi-active damping function comparison

Passive function in mechatronic structures is received by the *L* or *LR* configuration of piezo with external electric network. To compare passive and semi active damping, following requirements have been given:

− resonant frequencies $\omega_1 = 100$ rad/s, $\omega_3 = 300$ rad/s,

− anti-resonant frequencies $\omega_2 = 0$ rad/s, $\omega_2 = 200$ rad/s.

In the fig. 2 selected possible mechatronic structures with their mechanical displacement models have been shown. comparison of amplitude frequency response function for passive and semi active configurations have been done in the fig. 3 and 4.

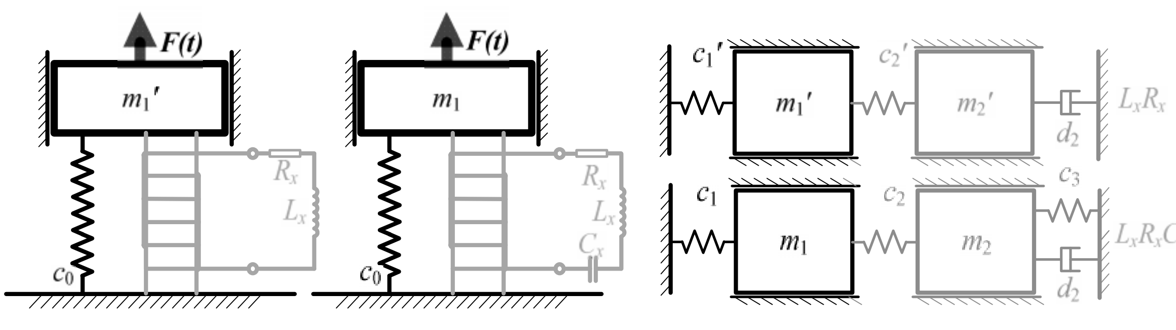


Fig. 2. Considered mechatronic structures with mechanical displacement models

Negative stiffness in designing process is received from taking the value of the selected stiffness in slowness function $U(s)$ out of required range [5], ex.:

$$\left(0, H\frac{d_0}{c_1}\right). \tag{2}$$

Parameters containing negative values are written based on dimensionless transformations [1,3] and known piezoelectric equations [4,9]:

$$\gamma = \frac{c_3}{c_2}, \qquad \gamma' = \frac{C_{ps}}{C_x}. \tag{3, 4}$$

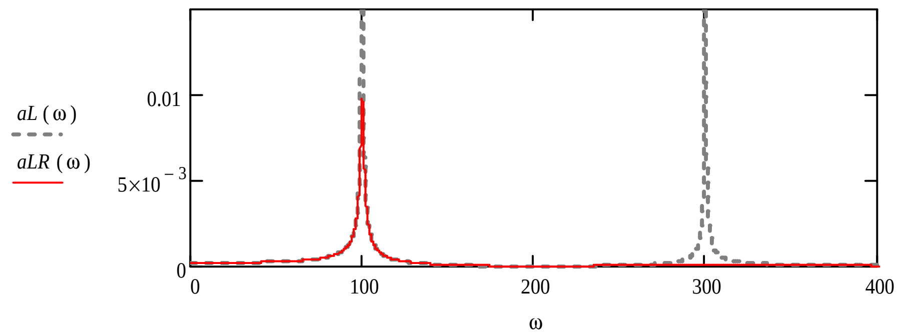


Fig. 3. Amplitude frequency response functions for passive damping systems *L* and *LR*

Values for mechanical elements, included in the structure, have been determined from distribution of the slowness function into continuous fractions and extended method.

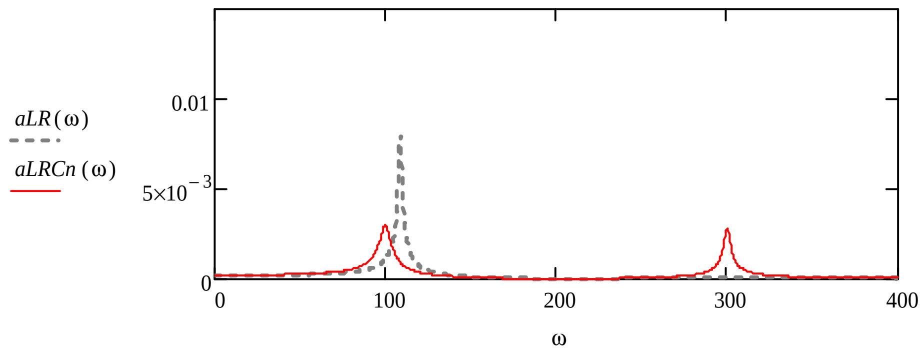


Fig. 4. Comparison of amplitude frequency response functions of passive *LR* configuration and semi-active configuration with negative capacitance *LRC*

Remarks

Semi-active damping can be implemented in mechatronic discrete systems by selecting and adjusting proper dimensionless parameters to receive negative stiffness in replacement model and negative capacitance in final mechatronic structure. What is shown, in the presented figures semi-active damping is giving more symmetric performance with amplitudes on similar value level. Selection on optimal values for that parameters will be done in further research works.

Acknowledgment

This work has been conducted as a part of research project N N502 452139, supported by the Ministry of Science and Higher Education 2010-2013.

References: 1. Buchacz A., Gałęziowski D.: Zadanie odwrotne jako projektowanie mechatronicznych układów drgających, Modelowanie Inżynierskie, nr 38, s. 19-26, Gliwice, 2009. **2.** Buchacz A., Galeziowski D. Synthesis as a designing of mechatronic vibrating mixed systems. Journal of Vibroengineering 2012; 14: issue 2, 553-559. **3.** Buchacz A., Gałęziowski D. Bezwymiarowe transformacje i retransforma-cje w syntezie mechatronicznych układów drgających, Modelowanie Inżynierskie, 39, s. 35-40, Gliwice, 2010. **4.** Buchacz A., Gałęziowski D.: Odwrotne zadanie dyskretnych drgających układów mechatronicznych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2012. **5.** Dymarek A. Odwrotne zadanie dynamiki tłumionych mechanicznych układów drgających w ujęciu grafów i liczb strukturalnych. Praca Doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice, 2000. **6.** Bialas K. Passive and active elements in reduction of vibrations of torsional systems. Mechatronic Systems and Materials: Mechatronic Systems and Robotics Book series: Solid State Phenomena 2010; 164: 260-264. **7.** Buchacz A., Płaczek M. Damping of mechanical vibrations using piezoelements, including influence of connection layer's properties on the dynamic characteristic. Solid State Phenomena, 2009; 147-149; 869-875. **8.** Buchacz A., Wróbel A. Piezoelectric layer modelling by equivalent circuit and graph method, Journal of Achievements in Materials and Manufactur-ing Engineering 20 (2007) 299-302. **9.** Neubaer M., Oleskiewicz R., Popp K., Krzyżynski T. Optimization of damping and absorbing performance of shunted piezo elements utilizing negative capacitance, "Journal of sound and vibration", vol. 298, no1-2, pp. 84-107, 2006. **10.** Fukada E., Date M., Kimura K. and others: Sound Isolation by Piezoelec-tric Polymer Films Connected to Negative Capacitance Circuits, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 11, No. 2; April 2004. **11.** Platus, D. Negative-stiffness-mechanism vibration isolation systems. Proceedings of SPIE, 3786: 98-105, 1999. **12.** Kashdan L., Conner Seepersad C., Haberman M., Wilson P.S. Design, fabrication, and evaluation of negative stiffness elements using SLS, Rapid Prototyping Journal 2012:18 Iss: 3, 194-200.

TECHNOLOGICAL DEVICES AND PROCESSES DESIGN WITHIN EDUCATION

Monkova Katarina, Hloch Sergej
(FMT TUKE, with the seat in Presov, Slovakia)

Abstract: *The article deals with basic steps related to the designing of technological devices and processes within the education at technical schools. In the article are described activities which students should pass in order to be successful in their study and consequently in next practice. First, they should learn to create simple parts and then they should learn to assemble the components into the static or welded assemblies, respectively into movable mechanism. In higher levels, if they absorb the fundamental theoretical knowledge, they can subject the 3D models to the analysis, as are stress, kinematics, dynamic analysis, etc. and compare the computer aided results with the values calculated in classical way. They can use several CAD/CAM systems for all activities. Students can apply the other advantages of the virtual models into the drawings preparation in electronic form and at the tool path verification during the machining simulation. The whole production process can be designed by students, too.*

Introduction

The development of technologies in the industry has brought a new thinking of designers. They use more and more possibilities of virtual visualization as a tool for successful suggestion of manufacturing processes in its all stages. This fact influences the requirements for knowledge level of graduate students and forces universities to adapt their study programs to the new conditions of real practice. Education at technical schools should reflect the needs of the job market focused not only on current computer skills (working with text editors, table and database processors), but students should learn to work with basic available CAD/CAM software [1]. This approach is also realized at Faculty of manufacturing technologies with seat in Presov, as one of the faculties of Technical University in Kosice, Slovakia. Teachers prepare the intending engineers to be able to use the computers in design of technological devices or processes and to be successful at their job interviews.

The basic steps of educational process with computer aid

Computer modelling is very powerful and effective tool that allows not only creating the solid body in a virtual three-dimensional space, but it also allows visualizing its behaviour during the time period with the possibility of induction of various external influences. The most available and commonly used design software in technical practice are Inventor, Pro/ENGINEER - today PTC Creo, Solid Works, CATIA, NX, Solid Works. All of this software are integrated into the education process at FMT TU Kosice. Fundamental properties of the software listed above are the parametric modelling and associative operation, what means that any change in construction activities will be reflected in the whole design and everything what follows this change is automatically updated.

The operating basis all of these software applications is the work with virtual 3D model. So, primarily students learn to create simple shapes of the bodies and consequently the complexity of the part rise. The principal structural element at the designing of the surface, sheetmetal or solid parts are features that use techniques as are protrusion, cut, hole, thread, rib, etc.. Students are able to prepare the models of general usage or technical devices. Advanced modelling makes use of working with surfaces, especially in automotive industry, so complex designs with unconventional shapes can originate. Virtual model can incept as origin or as the imitation of existing body. The designing of the car on the basis of skyline projection on three orthogonal planes is shown in Figure 1.

Ones modelled enables not only visualization and quick modification of the object (the dimensions editing or designing of the similar entity), but it also enables the optimization of structural solution before the part production. The next advantages of 3D model can be summarized to the following points [2]:

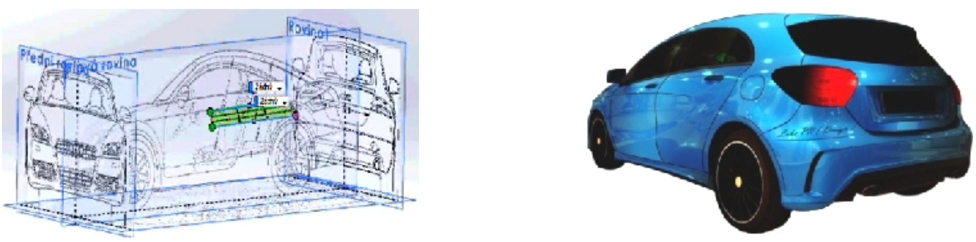


Fig. 1. The designing of the car

−the defining of the couples, loadings, materials and other 3D model properties allows to execute the various types of analysis and so predicts object behaviour in real conditions,

− very simple preparation of the negative shape of 3D geometry for skillet manufacturing,

− by means of the created 3D model it is possible to simulate the machining process and so to find out the collisions between the tool and the workpiece. Simulation of manufacturing operation allows to generate cutter location data and after the postprocessing to make the NC program for the selected control system of the machine in very short time [3]. Students learn to get all of these advantages under control at the computer aided design lessons on various stages of their education and in several software. The example of virtual model applications (structural analysis, negative geometry, machining process simulation) is shown on the screw blade for wind power station and they are displayed in the Fig. 2.

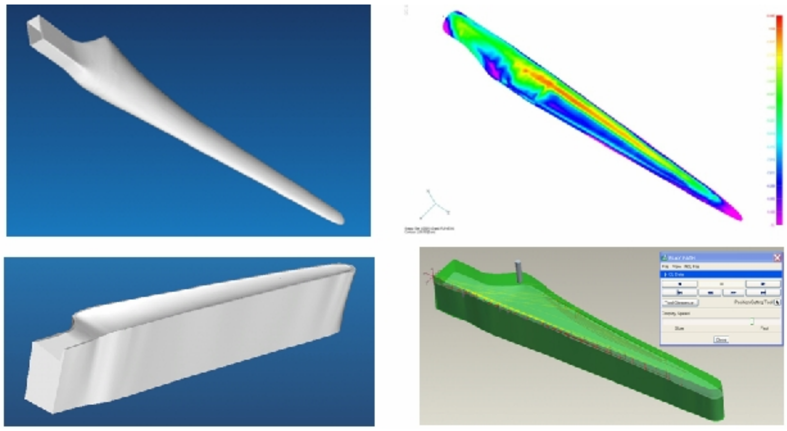


Fig. 2. Virtual model applications
(structural analysis, negative geometry, machining process simulation)

The simulation tools of software used at author's workplace are suitable for the rationalization not only alone part but for the optimization of complex devices, too. So the next application of 3D models is their implementation into the assemblies, which can be static or with moving components. Static assemblies are created as the welded assemblies or as bar constructions (strut-frames) typically designed for the analysis. The examples of static assemblies are displayed in the Fig. 3.

Movable sets are represented by various types of mechanisms e.g. quick return mechanisms, cam mechanisms, gearing mechanisms or others. Students learn to execute the kinematics analysis of mechanism by three various methods (numerical, graphical and with the computer aid) and so they can consider advantages and disadvantages of them.

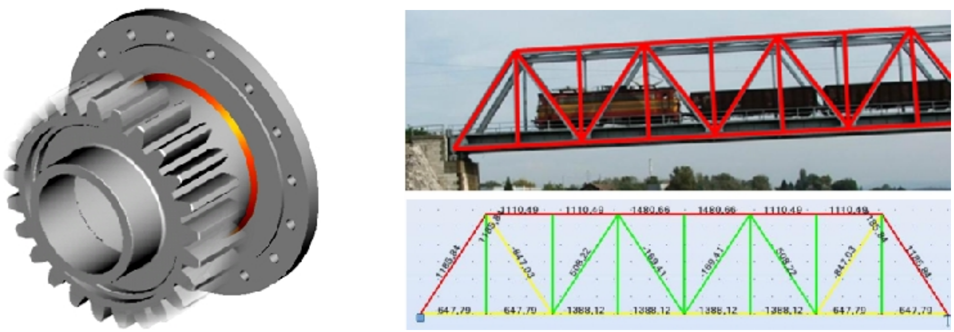


Fig. 3. Static assemblies

Movable sets are represented by various types of mechanisms e.g. quick return mechanisms, cam mechanisms, gearing mechanisms or others. Students learn to execute the kinematics analysis of mechanism by three various methods (numerical, graphical and with

the computer aid) and so they can consider advantages and disadvantages of them. Students study planar mechanism, but the same principles can be used for space motion of mechanism in the future and real practice. To understand the assembly behaviour it is necessary to simulate the kinematics motion and within the software to define the joins through the easy connections as are pin joints, ball joints, sliders and the other. After the mechanism modelling followed by joints and input parameters specification (component material, input velocity, acceleration, ...) it is possible to activate the kinematics and dynamic analysis. Output data can be displayed as values, vectors or as graphs or it can be sent to other software for the next processing. The type of assembly with components motion in space is represented by robots. The special module of software application facilitates to imitate the trajectory of every selected point and to generate the work space of robot, so called work envelope. Created envelope can be saved as the virtual part for next utilization. The Figure 4 shows 3D model of manipulator with the analysis in one of its hydraulic cylinder and its work envelope.

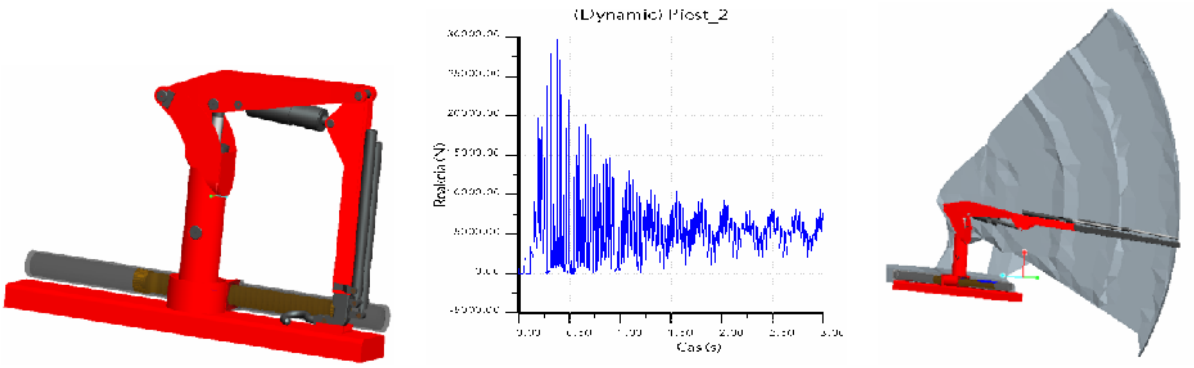


Fig. 4. Manipulator with output data of kinematics analysis

All parts and devices can be included to the whole production system. The modelling of the manufacturing process in real time is one of the most difficult parts of process planning, because it has to imply the knowledge from all fields of the production. The designing of the process is done step by step; at the first the features of process were prepared, then they were placed according to workspace plan and at the end the whole process was animated. The output of suggestion is the *.avi file that can provide to the designers all collision places and so he can solve the problems before the workshop building. The Figure 5 shows the workshop for the gears production.

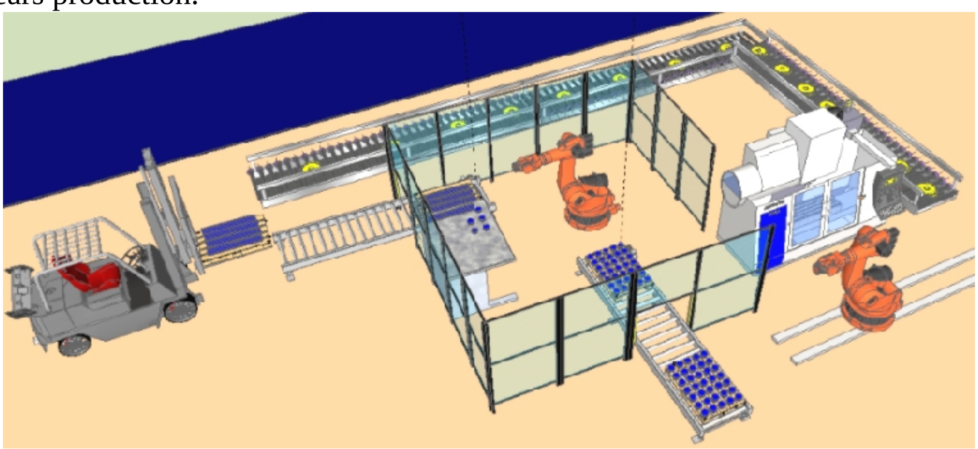


Fig.5 Manufacturing process simulation

The special utilization of the software application is e-drawings creation. Individual views are not generated by line and circle drawing, but they are created in one step on the base of 3D model. It can be displayed in several types of views (axonometric, projected, detailed, cross section). All features can be dimensioned very easily and dimensions are regenerated at every 3D model changes.

Conclusion

The reforms in education system have to reflect a high degree of student's freedom to choose a form and content of education. At the same time it is necessary to innovate the school equipments, devices and textbooks at all levels of education to improve the relationship teacher-student. It requires the following steps [1]:

– the contentual and procedural transition of the traditional school into the modern school with the implementation of changes and study attractiveness increasing,

– the supporting and improving of the education in: foreign languages, information technology, basic business knowledge and skills of every graduates,

– the quality of teachers improving, especially by improving of conditions for their continuing education and skills development.

The key for the achieving of these goals is a flexible system in which universities react mainly to the requirements of young people, but also to the demand for lifelong learning of experts. Nobody doubt about CAD/CAM advantages, so one of the priority of Slovak universities is the implementation of computer aid into the most of their lessons and into their study programs. The utilization of information technologies becomes certainty today. The best Slovak universities are comparative with foreign ones not only in the teaching system but in the research, too. Through their activities, the universities should also be the "engine" of social and economic development of region in which they are situated.

Acknowledgment

Paper originates with the direct support of Ministry of Education of Slovak republic by grants KEGA 035TUKE-4/2011.

References: **1.** Dostal, J., Serafin, C., Havelka, M. & Minarcik, J. (2012). Assessment of Quality of Material Educational Tools for Technical Education, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 69, 709-718. **2.** Monka, P. (2005). Computer aided desing of fixtures for NC machine tools, Scientific Bulletin, 19/C, (pp. 495-498). Baia Mare, Romania. **3.** Jurko, J. & Panda, A. (2010). Simulation of accompanying phenomena in the cutting zone during drilling of stainless steels, Advanced Computer Theory and Engineering, (pp. 6239-6243), Chengdu, China.