ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗЬ: ОБЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, МЕТОД СЖАТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЛОВАРЯ

Борзов Д.Б., Гуляев К.А. *(Кафедра ВТ, ЮЗГУ, Курск, Россия)*

Abstract: *The paper presents the basic concepts and methods of data compression. Describes a generalized compression algorithm that uses a system of RGB - model. The necessity of developing a method of compressing data using a dictionary and an algorithm that allows to compress the video stream. This makes it possible to reduce the transmission of data for remote transmission of data (video, remote video conference, etc.).*

В современном обществе управление различными проектами требует оперативного управления подчинёнными и подразделениями находящимися как в близ лежащем так и удаленном регионе Российской Федерации. Инструментом управления и контроля являются корпоративные видеоконференции. Используя современные технологии, каждый участник конференции в режиме реального времени может проводить беседу с сотрудниками, расположенными в любой точке планеты в различных часовых поясах. Исходя из этого, разработка программно-аппаратного обеспечения для сжатия потоковых данных в режиме реального времени является одним из перспективных направлений, обусловленных развитием сети интернет и современных линий связи [1].

Видеоконференция – это область информационной технологии, обеспечивающая одновременно двустороннюю передачу, обработку, преобразование и представление интерактивной информации на расстояние в режиме реального времени с помощью аппаратно-программных средств вычислительной техники.

Взаимодействие в режиме видеоконференций также называют сеансом видеоконференцсвязи. Видеоконференцсвязь (ВКС) – это телекоммуникационная технология интерактивного взаимодействия двух и более удаленных абонентов, при которой между ними возможен обмен аудио- и видеоинформацией в реальном масштабе времени с учетом передачи управляющих данных

Видеоконференция применяется как средство оперативного принятия решения в той или иной ситуации; при чрезвычайных ситуациях; для сокращения командировочных расходов в территориально распределенных организациях; повышения эффективности; проведения судебных процессов с дистанционным участием осужденных, а также как один из элементов технологий телемедицины и дистанционного обучения.

Во многих государственных и коммерческих организациях видеоконференция приносит большие результаты и максимальную эффективность, а именно:

- снижает время на переезды и связанные с ними расходы;
- ускоряет процессы принятия решений в чрезвычайных ситуациях;
- сокращает время рассмотрения дел в судах общей юрисдикции;
- увеличивает производительность;
- решает кадровые вопросы и социально-экономические ситуации;
- предотвращает усталость и стресс;
- позволяет следить за состоянием рынка и быстро реагировать на его изменения;
- дает возможность принимать более обоснованные решения за счёт привлечения при необходимости дополнительных экспертов;

Для общения в режиме видеоконференции абонент должен иметь терминальное устройство (кодек) видеоконференцсвязи, видеотелефон или иное средство вычислительной техники. Как правило в комплекс устройств для видеоконференцсвязи входит:

- центральное устройство – кодек с видеокамерой и микрофоном, обеспечивающего кодирование/декодирование аудио- и видео- информации, захват и отображение контента;
- устройство отображения информации и воспроизведения звука.

В качестве кодека может использоваться персональный компьютер с программным обеспечением для видеоконференций. Большую роль в видеоконференции играют каналы связи, то есть транспортная сеть передачи данных. Для подключения к каналам связи используются сетевые протоколы IP или ISDN.

В настоящее время при кодировании видеосигнала наибольшее распространение получили различные методы сжатия с использованием словаря.

Метод сжатия с использованием словаря – разбиение данных на слова и замена их на индексы в словаре. Является естественным обобщением RLE.

В наиболее распространенном варианте реализации словарь постепенно пополняется словами из исходного блока данных в процессе сжатия [2].

Алгоритм, положенный в основу метода словарей, был впервые описан в работах израильских исследователей Якуба Зива и Абрахама Лемпеля, которые впервые опубликовали его в 1977 г. В последующем алгоритм был назван *Lempel-Ziv*, или сокращенно LZ. На сегодняшний день LZ-алгоритм и его модификации получили наиболее широкое распространение, по сравнению с другими методами сжатия. В его основе лежит идея замены наиболее часто встречающихся последовательностей символов (строк) в передаваемом потоке ссылками на "образцы", хранящиеся в специально создаваемой таблице (словаре). Алгоритм основывается на том, что по потоку данных движется скользящее "окно", состоящее из двух частей. В большей по объему части содержатся уже обработанные данные, а в меньшей помещается информация, прочитанная по мере ее просмотра. Во время считывания каждой новой порции информации происходит проверка, и если оказывается, что такая строка уже помещена в словарь ранее, то она заменяется ссылкой на нее.

Основным параметром любого словарного метода является размер словаря. Чем больше словарь, тем больше эффективность. Однако для неоднородных данных чрезмерно большой размер может быть вреден, так как при резком изменении типа данных словарь будет заполнен неактуальными словами. Для эффективной работы данных методов при сжатии требуется дополнительная память. Приблизительно на порядок больше, чем нужно для исходных данных словаря. Существенным преимуществом словарных методов является простая и быстрая процедура распаковки. Дополнительная память при этом не требуется. Такая особенность крайне важна, если необходим оперативный доступ к данным.

К методам сжатия с использованием словаря относятся следующие алгоритмы: LZ77/78, LZW, LZO, DEFLATE, LZMA, LZX, ROLZ [3].

В результате поиска и анализа методов кодирования и сжатия данных было выявлено широкое разнообразие решений по сжатию видео, однако все они используют одинаковый набор алгоритмов сжатия видео в различных вариантах.

Предлагаемый алгоритм был написан с использованием системы RGB – модели в контексте «Теории цвета». Его цель и задачи – уменьшения объема передаваемого кадра без видимого ухудшения качества изображения в режиме передачи данных в реальном времени, а также передачу данных видеопотока на большие и сверхбольшие расстояния с использованием каналов связи различной пропускной способности, способность взаимодействовать с алгоритмами составляющие стандарты высокого уровня (H.264)(для создания собственного кодека).

Цвет в RGB модели кодируется 24 битами общий объем палитры равен 2 в 24 степени, 16 777 215 цветовых оттенков [4]. Программный кодек имеет блочную структуру:

- База Данных «DB_RGB» (или файл Map.txt)
- Программный блок «СЕРВЕР».
- Программный блок «КЛИЕНТ».

Программные блоки используют базу данных, в которую входят 4096 таблиц содержащих по 4096 значения в диапазоне RGB цвета. Каждую таблицу можно рассматривать как независимую RGB палитру, отличающихся только смещением второго октета каждого из трех байтов, иллюстрация на рис. 1.

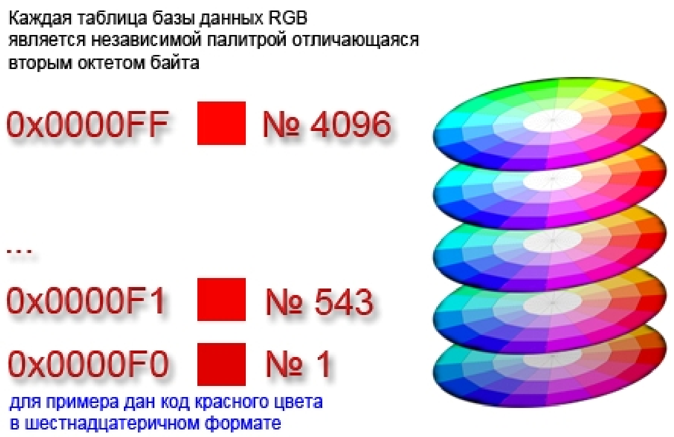


Рис. 1. Графическое представление базы данных RGB

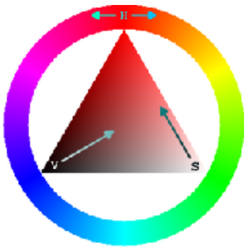


Рис. 2. Функциональное представление таблицы RGB

Функционально каждую таблицу можно представить в виде радужного кольца, иллюстрированного на рис. 2.

Работа программы начинается с подключения буфера обмена к видеопотоку и копирования кадра. Далее идет опрос одной из таблиц базы данных, на её основе создается ассоциативный массив в оперативной памяти, где ключ – 12 битный «усечённый» код, значение – полный, 24 битный, код. Сканирование буфера идет с шагом в 24 бита, что соответствует длине пиксела. Эти значения подвергается обработке - удалению младших октетов каждого из трёх байтов. Исследования показали, что удаление младших октетов увеличивает энтропийность на порядок, что увеличит коэффициент сжатия если дополнительно подключить алгоритмом Хаффмана. На этом этапе сжатие проходит с коэффициентом равным 2, без потери качества изображения. Полученный код храниться в контейнере векторов в оперативной памяти, который передается функции обрабатывающей его по алгоритму «флагового» сжатия. Создаётся второй контейнер для результирующего кодирования. В него помещается результат второго этапа сжатия. Коэффициент различный и зависит от двух параметров: энтропия, размер кадра.

Затем этот вектор передается параметром в функцию осуществляющую передачу через стек TCP/IP клиенту (видеопоток передается по протоколу UDP).

Основываясь на анализе проблемной области, можно сделать вывод, что предложенный нами подход может являться решением рассмотренной задачи, так как позволяет в полной мере сократить объем передаваемых данных до допустимого размера при передаче на большие расстояния, а так как процесс вещания происходит в реальном времени, то необходимо применение альтернативных аппаратных средств, так как существующие программно-аппаратные реализации не подходят или неспособны полностью обеспечить необходимый результат.

Список литературы: **1.** Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с. **2.** Балашов К.Ю. Сжатие информации: анализ методов и подходов: уч. пособие для вузов.– СПб.: ПИТЕР, 2004. - 234с. **3.** Фомин А.А. Основы сжатия информации : учеб. Пособие– СПб.: ПИТЕР, 2006. 210 с. **4.** Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео.– М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003.– 384 с.

УДК 629.78

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКАР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОРБИТАЛЬНОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рыбинская Т.А., Зеленина Н.А. *(каф.СиПУ, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)*

Аннотация: *Для осуществления различного рода орбитальных маневров используют хорошо известное импульсное маневрирование. Однако данный подход имеет ряд ограничений, таких как необходимость по возможности осуществлять маневрирование только в тех точках орбиты, где скорость космического аппарата (КА) минимальна, и другие. В данной работе рассматривается современная, прогрессивная технология синтеза законов управления – метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР). Предложено решение различных задач орбитального маневрирования и несколько вариантов процедуры синергетического синтеза регуляторов. Эффективность синтезированных регуляторов подтверждается компьютерным моделированием замкнутых систем.*

Современный этап развития космической техники характеризуется интенсивным ростом числа создаваемых и запускаемых на орбиту космических аппаратов. Деятельность спутников и выполнение ими различных задач в космосе невозможна без осуществления орбитальных маневров. Поэтому в силу своей чрезвычайной прикладной значимости проблема орбитального маневрирования является весьма актуальной на сегодняшний день.

Маневром называют целенаправленное изменение параметров движения КА, в результате которого первоначальная траектория свободного полета (*начальная орбита*) меняется на некоторую другую (*конечная орбита*). Всякое целенаправленное изменение орбиты спутника называется *орбитальным маневрированием* [1, 2].

В данной статье синтезируются различные законы управления орбитальным маневрированием КА, которые позволяют осуществлять необходимые энергетически выгодные маневры в космическом пространстве и гарантируют асимптотическое сближение и удержание КА на желаемой орбите. Для этого применяется современный метод синтеза систем управления – *метод АКАР*. Данный метод является базовым методом синергетической теории управления [3].

Математическая модель орбитального движения КА. В задачах орбитального маневрирования КА, как правило, рассматривается как материальная точка. В такой задаче уравнения движения КА выглядят следующим образом:

$$
\begin{aligned}
&\dot r(t) = V_r;\\
&\dot V_r(t) = V_\theta^2 r^{-1} - (h^2/p) r^{-2} + U_r;\\
&\dot\theta(t) = V_\theta r^{-1};\\
&\dot V_\theta(t) = -V_r V_\theta r^{-1} + U_\theta,
\end{aligned}
\tag{1}
$$

где r и θ - полярные координаты; V_r и V_θ - радиальная и трансверсальная составляющие скорости; U_r и U_θ - составляющие вектора тяги; $\theta = \gamma + \chi$, где χ - истинная аномалия, γ - угловая постоянная, которая определяет угол между линией апсид и осью OX. Полярные и декартовые координаты связаны между собой выражениями $x = r\cos\theta$, $y = r\sin\theta$. Параметры орбиты определяются следующими соотношениями: $h = \dfrac{2\pi\sqrt{1-e^2}\,p^2}{(1-e^2)^2 T}$, $\dfrac{h^2}{p} = GM = \mu = 398600{,}4$ км^2/с^2, где p – фокальный радиус, G – постоянная гравитации, M – масса притягивающего центра, T – время обращения, e – эксцентриситет эллипса.

Синтез регуляторов. Поставим задачу синтеза законов управления для решения задач маневрирования КА: требуется определить вектор управления U_r и U_θ как функцию координат состояния системы (1), обеспечивающий вывод КА на заданную орбиту вращения. Согласно процедуре метода АКАР введем совокупность инвариантных многообразий, учитывающих решаемые задачи управления.

В качестве первого набора инвариантов используются следующие соотношения:

$$
\begin{aligned}
&r(1+e\cos\theta) - p = 0;\\
&r^2\dot\theta(t) - h = rV_\theta - h = 0.
\end{aligned}
\tag{2}
$$

Первый инвариант в (2) представляет собой первый закон Кеплера и обуславливает движение КА по коническому сечению. Второй инвариант – это закон сохранения момента системы «Земля – КА».

При таком наборе инвариантов следует ввести следующую совокупность инвариантных многообразий:

$$
\begin{aligned}
&\psi_1 = V_r - \varphi_1(r,\theta) = 0,\\
&\psi_2 = V_\theta - \frac{\sqrt{p\mu}}{r} = 0,
\end{aligned}
\tag{3}
$$

где $\varphi_1(r,\theta)$ – пока неизвестная функция («внутреннее» управление).

На пересечении инвариантных многообразий (3) динамика системы описывается уравнениями декомпозированной системы:

$$
\begin{aligned}
&\dot r = \varphi_1(r,\theta),\\
&\dot\theta = \frac{\sqrt{p\mu}}{r^2}.
\end{aligned}
\tag{4}
$$

Для определения «внутреннего» управления введем следующее инвариантное многообразие:

$$\psi_3 = r - \frac{p}{1 + e\cos\theta} = 0. \tag{5}$$

«Внутреннее» управление ищется как решение основного функционального уравнения $T_3\dot{\psi}_3(t) + \psi_3 = 0$ в силу уравнений модели (4):

$$\varphi_1(r,\theta) = x_3 - \frac{T_3 pe\sin x_2\sqrt{p\mu} - x_1^3 - 2x_1^3 e\cos x_2 - x_1^3 e^2 \cos {x_2}^2 + px_1^2 + px_1^2 e\cos x_2}{T_3 x_1^2 (1 + 2e\cos x_2 + e^2 \cos {x_2}^2)}.$$

Приведенная процедура поэтапной динамической декомпозиции позволяет определить структуру инвариантного многообразия $\psi_1 = 0$ и завершить синтез регулятора. Искомый закон управления орбитальным маневрированием КА представляет собой решение системы функциональных уравнений

$$\begin{aligned} &T_1\dot{\psi}_1(t) + \psi_1 = 0; \\ &T_2\dot{\psi}_2(t) + \psi_2 = 0 \end{aligned} \tag{6}$$

в силу уравнений модели (1) и имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
U_r = {} & (2px_1^3 e\cos x_2 + px_1^3 e^2 \cos {x_2}^2 - 3x_3T_3x_1^3 e\cos x_2 - 3x_3T_3x_1^3 e^2\cos {x_2}^2 - \\
& - 2T_1x_3T_3pe^2 \sin x_2\sqrt{p\mu}\cos x_2 - 2T_1x_3T_3pe\sin x_2\sqrt{p\mu} + T_1epx_4x_1^2\sin x_2 - 3T_1x_3x_1^3 e\cos x_2 - \\
& - 3T_1x_3x_1^3e^2\cos {x_2}^2 - T_1x_3x_1^3e^3\cos {x_2}^2 - 3T_1x_4^2T_3x_1^2e\cos x_2 - 3T_1x_4^2T_3x_1^2e^2\cos {x_2}^2 - \\
& - T_1x_4^2T_3x_1^2e^3\cos {x_2}^3 + 2T_1e^2px_4T_3\sin {x_2}^2\sqrt{p\mu} + T_1epx_4T_3\cos x_2\sqrt{p\mu} + T_1e^2px_4T_3\cos {x_2}^2\sqrt{p\mu} + \\
& + T_1e^2px_4x_1^2\sin x_2\cos x_2 + 3T_1\mu T_3x_1e\cos x_2 + 3T_1\mu T_3x_1e^2\cos {x_2}^2 + T_1\mu T_3x_1e^3\cos {x_2}^3 + \\
& + x_1T_3pe\sin x_2\sqrt{p\mu} + x_1T_3pe^2\sin x_2\sqrt{p\mu}\cos x_2 - x_3T_3x_1^3e^3\cos {x_2}^3 - 3x_1^4e^2\cos {x_2}^2 - \\
& - 3x_1^4e\cos x_2 - T_1x_3x_1^3 - x_1^4 - x_3T_3x_1^3 - T_1x_4^2T_3x_1^2 + px_1^3 + T_1\mu T_3x_1 - \\
& - x_1^4e^3\cos {x_2}^3)/(T_1T_3x_1^3(3e\cos x_2 + 1 + 3e^2\cos {x_2}^2 + e^3\cos {x_2}^3));
\end{aligned}$$

$$U_\theta = -\frac{T_2\sqrt{p\mu}x_3 - T_2x_3x_4x_1 + x_4x_1^2 - \sqrt{p\mu}x_1}{T_2x_1^2}. \tag{7}$$

В качестве одного из инвариантов системы можно использовать энергетический интеграл стационарного движения КА:

$$0{,}5(V_r^2 + V_\theta^2) - \frac{\mu}{r} - \frac{(e^2-1)\mu}{2p} = 0. \tag{8}$$

Тогда совокупность вводимых инвариантных многообразий принимает вид:

$$\begin{aligned} &\psi_1 = V_r - \varphi_1(r,\theta) = 0, \\ &\psi_2 = 0{,}5(V_r^2 + V_\theta^2) - \frac{\mu}{r} - \frac{(e^2-1)\mu}{2p} = 0. \end{aligned} \tag{9}$$

где $\varphi_1(r,\theta)$ – пока неизвестная функция («внутреннее» управление).

Далее проводится процедура двухэтапного синтеза регулятора, которая аналогична процедуре синергетического синтеза с первым набором инвариантов. В итоге получаем искомый закон управления, который является слишком громоздким, поэтому приведен только в самом файле программы моделирования.

Компьютерное моделирование замкнутых систем. На рис. 1 представлен маневр перевода КА с начальной эллиптической орбиты с параметрами e=0,87; p=6297,8 км на эллиптическую орбиту с параметрами e=0,2; p=28000 км с применением закона (7).

На рис. 2 представлен маневр перевода КА с начальной эллиптической орбиты с параметрами e=0,87; p=6297,8 км на круговую орбиту с параметрами: e=0; p=20000 км с использованием закона, полученного в результате применения энергетического интеграла движения.

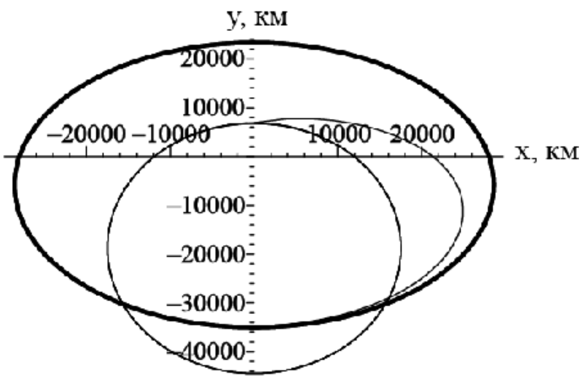


Рис. 1. Фазовый портрет

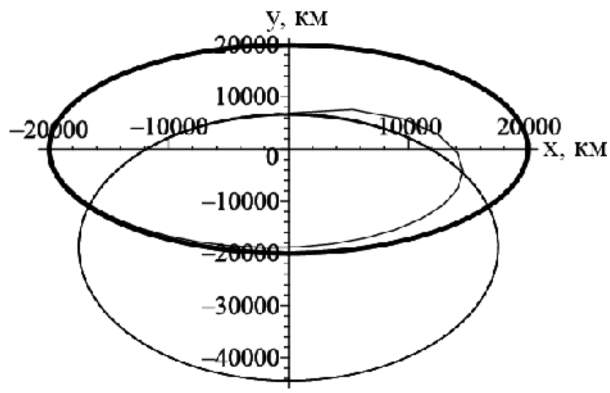


Рис. 2. Фазовый портрет

Найденные законы управления позволяют успешно реализовывать компланарные орбитальные маневры без учета ограничений импульсного подхода, что подтверждается компьютерным моделированием замкнутых систем.

Список литературы: 1. Иванов Н.М., Лысенко Л.Н. Баллистика и навигация космических аппаратов: Монография. – Москва: Дрофа, 2004. – 544 с. **2.** Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г. Основы механики космического полета: Монография. – Москва: Наука, 1990. – 448 с. **3.** Колесников А.А. Синергетическая теория управления. Таганрог: Изд-во ТРТУ. 2001. 123 с. Ил.

УДК 621.9.025

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Исаев Д.С., Михайлов А.Н. *(Кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

Аннотация. *Статья посвящена разработке функционально-ориентированных композиционных технологий обеспечивающих дальнейшее повышение качества изделий машиностроения путем композиции не менее двух различных по значимости техноло-*

гий, количество которых определяется числом различных направлений обеспечения свойств изделий.

Ключевые слова: *функционально-ориентированных композиционных технологий, синтез технологий, структура, повышение качества.*

Научно-технический прогресс постоянно требует от технологов решения вопросов кардинального повышения качества изделий машиностроения. Это особенно необходимо для изделий, работающих в сложных условиях эксплуатации, к которым предъявляются высокие требования к свойствам. В эксплуатационных условиях на изделия действует целое множество различных функций. Причем эти функции имеют переменные параметры действия, что в ряде случаев приводит к быстрому выходу изделия из строя и снижению эксплуатационных свойств машины или технологической системы. Это требует обеспечения изделиям машиностроения новых нетрадиционных свойств [1, 2, 3].

Для решения этих вопросов потребны нетрадиционные подходы в создании принципиально новых технологий, позволяющих решать сложные задачи синтеза машин нового поколения с композицией свойств, получаемых за счет применения различных по значимости технологий [4].

Целью данной работы является разработка функционально-ориентированных композиционных технологий обеспечивающих дальнейшее повышение качества изделий машиностроения путем композиции не менее двух различных по значимости технологий, количество которых определяется числом различных направлений обеспечения свойств изделий.

В соответствии с поставленной целью в работе определены следующие задачи: выполнить анализ и синтез функционально-ориентированных композиционных технологий; предложить общий подход их создания; разработать классификацию функционально-ориентированных композиционных технологий; дать рекомендации по их созданию. Эти задачи решаются в данной работе.

Здесь предложено для обеспечения качественно новой совокупности свойств и меры полезности изделий совместно использовать множество различных по своей значимости технологий на основе принципов композиции**.** Здесь сразу возникает ряд вопросов:

1. Как соединять различные по своей значимости технологии? - (на базе принципов композиции).

2. Сколько по количеству технологий необходимо включать в состав композиционной технологии? - (на базе принципов бинарного соответствия числа технологий и свойств изделия).

3. Какая структура соединяемой в композицию технологии? – (на базе принципа структурного соответствия технологий и свойств изделия).

4. Какая последовательность соединения технологий? – (на базе принципов рекуррентно-итерационной последовательности).

5. Возможно, ли вести управление свойствами изделий? – (на базе принципов функционально-ориентированного подхода).

Здесь главным является создание композиционной технологии, на базе которой обеспечивается возможность формировать нетрадиционные свойства изделий.

Композиционная технология – это специальная технология, структура которой образовывается сочетанием не менее двух различных по значимости технологий на основе принципов композиции, количество которых определяется числом направлений обеспечения свойств изделий. При этом используется функционально-ориентированная технология.

Основные особенности синтеза композиционных технологий. Можно отметить, что композиционная технология это не сумма нескольких технологий или их прямое соединение в единую технологию. Это нечто новое, более значимое в технологии машиностроении, позволяющее обеспечивать изделиям качественно новую совокупность свойств и меру полезности. Композиционная технология это новый класс организационно-технологической формы технологии. Процесс создания этих технологий базируются на следующих принципах композиции:

1. Совместимости структуры технологий.
2. Единства и общности структуры соединяемых технологий.
3. Способности соединяемых технологий к гибридизации.
4. Управляемости технологическими воздействиями и свойствами изделий.
5. Действия между технологиями итерационно-рекуррентных связей.
6. Способности композиционной технологии к реализации качественно новых методов технологических воздействий и принципов преобразования свойств изделий.
7. Обеспечения качественно новой совокупности свойств и меры полезности.

Процесс сочетания и соединения технологий в композиционную технологию базируется на следующем множестве различных по значимости технологий:

1. На технологиях T_1, структурирующихся по виду методов обработки (механической обработки, термической обработки, химической обработки, …, комбинированной обработки).

2. На технологиях T_2, образованных по классу технологических воздействий (традиционные технологии, макро-, микро- и нанотехнологии).

3. На технологиях T_3, формирующихся по типу производства (единичное, серийное и массовое производство).

……………………………………………………………………………………..

x. На технологиях T_x, подразделяющихся по организационно-технологической форме (единичные, типовые, групповые и модульные технологии).

……………………………………………………………………………………..

X. На технологиях T_X , определяющихся по классу организационно-технологической формы технологий (обычные технологии, функционально-ориентированные технологии).

Таким образом, композиционная технология структурируется на множестве следующих технологий:

$$KOT = \{ T_1, T_2, T_3, ..., T_x, ..., T_X \} ; \quad (1)$$

KOT – композиционная технология, состоящая из X технологий;

T_x - x-я технология;

X – общее количество различных технологий (признаков).

Генерирование полного множества различных вариантов композиционных технологий можно выполнять на базе морфологической матрицы:

В целом композиционная технология базируется на композиции структур нескольких различных по значимости технологий:

$$Str_k\{ T, A\} = \bigotimes_{x=1}^{X} Str_x\{T_x, A_x\}, \quad (2)$$

где $Str_k\{T, A\}$ - структура композиционной технологии, состоящая из множества T элементов (операций) и множества A отношений (связей) на множестве T;
$Str_x\{T_x, A_x\}$ - структура x-ой технологии, состоящая из множества T_x элементов (операций) и множества A_x отношений (связей) на множестве T_x;
X - общее количество (мощность множества) соединяемых технологий в композиционную технологию.

Следует заметить, что выполняемое объединение технологий в композиционную технологию образовывает общую новую структуру технологии. В композиционной технологии выполняется предварительный синтез структуры технологии, затем рекуррентный итерационный синтез (рис. 1) и корректирование созданной первоначально структуры технологии на базе принципов и особенностей синтеза следующей технологии, потом последующей технологии и так далее. Здесь используются прямые и обратные связи между этапами проектирования композиционной технологии. При этом создается качественно новая структура технологии, и это не сумма соединяемых технологий – это композиция технологий. Композиционная технология позволяет обеспечивать изделиям качественно новые свойства по нескольким направлениям, число которых зависит от количества вариантов соединяемых технологий.

Проектирование композиционной технологии выполняется поэтапно на множестве параметров каждой технологии, которое можно представить в виде оболочек множеств особенностей проектирования технологий, представленных на рис. 2. Общий подход в создании композиционных технологий базируется на многоуровневом проектировании структуры технологии в оболочках X уровней. Здесь оболочки технологий структурируются следующим образом:

1. Оболочка синтеза технологий по виду методов.

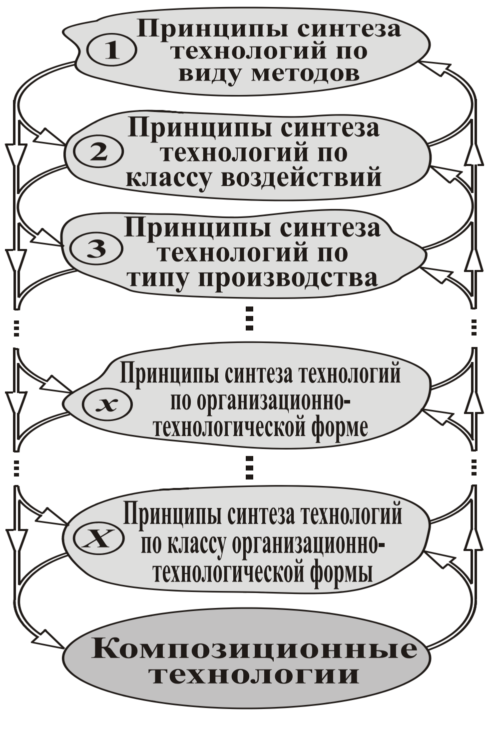


Рис. 1. Схема связей между этапами синтеза композиционных технологий

2. Оболочка синтеза технологий по классу воздействий.

3. Оболочка синтеза технологий по типу производства.

………………………………………… …………………………………...

x. Оболочка синтеза технологий по организационно-технологической форме.

………………………………………… …………………………………...

X. Оболочка синтеза технологий по классу организационно-технологической формы.

Следует отметить, что между оболочками действуют итерационно-рекуррентные связи, что позволяет синтезировать и корректировать структуру композиционного технологического процесса. Итерационно-рекуррентные связи между отдельными этапами проектирования технологий позволяют, во первых - последовательно выполнять синтез структуры технологического процесса на базе всех этапов композиционных технологий, во вторых - производить возврат процесса проектирования на предыдущие этапы и корректировать разработанную ранее структуру технологического процесса, и в третьих - при синтезе технологии обходить отдельные этапы проектирования как в прямом, так и в обратном направлениях. Этот подход дает возможность вести композицию, синтезировать и корректировать композиционную технологию.

Заметим, что в оболочке первого уровня (рис. 2) выполняется синтез структуры технологического процесса на базе принципов синтеза технологий по виду методов. К этим методам можно отнести следующие: механической обработки, термической обработки, химической обработки, …, комбинированной обработки. Для реализации технологических воздействий могут использоваться различные методы обработки изделий. Однако наиболее перспективно применение комбинированных (гибридных) методов или технологий. Применение этих технологий позволяет обеспечивать заданные, требуемые или предельные свойства изделий машиностроения. При этом комбинированные технологии дают возможность решать вопросы повышения качества изделий за счет структуры технологического процесса. Условно этот процесс можно представить как повышение качества изделия «вширь» - по структуре технологического процесса.

В оболочке второго уровня (рис. 2) выполняется синтез и корректирование структуры разработанной ранее технологии на базе принципов синтеза технологий по классу воздействий. К этим технологиям можно отнести традиционные, макро-, микро- и нанотехнологии. Здесь необходимо корректировать и дополнять разработанную ранее структуру технологии новыми операциями. Это обусловлено тем, что макро-, микро- и нанотехнологии содержат ряд дополнительных операций. Например, нанотехнологии включают следующие дополнительные операции: обеспечение особых состояний вещества, синтез нового материала, размельчение материала, компактирование материала, сохранение дисперсности материала, управление свойствами материала изделия.

С помощью макро-, микро- и нанотехнологий решаются вопросы обеспечения заданных свойств изделий на каждой операции, например, комбинированного метода или с помощью комбинированных методов технологических воздействий, то есть условно можно представить как повышение качества изделия «вглубь». В этом случае дальнейшее повышение качества изделий машиностроения реализовывается более тонко и прецизионно уже на макро-, микро- и наноуровнях. На основании этого, преобразование свойств изделий должны выполняться с помощью макро-, микро- и нанотехнологий.

Рис. 2. Многоуровневый синтез композиционных технологий в оболочках *X* уровней

В оболочке третьего уровня (рис. 2) снова выполняется синтез и корректирование структуры синтезированной технологии на базе принципов, определяющихся типом производства. В этом случае разрабатываемая технология строится на основе принципов технологий единичного, серийного и массового производства. И так далее выполняется построение композиционной технологии в оболочках других уровней.

Затем, в оболочке *x*-го уровня производится синтез и корректирование структуры технологии на базе принципов организационно-технологических форм технологий, а именно: единичных, типовых, групповых или модульных технологий. И так далее строится композиционная технология на следующих уровнях проектирования.

Далее, в последней оболочке *X*-го уровня выполняется синтез и корректирование структуры композиционной технологии на базе принципов определяющихся по классу организационно-технологической формы технологий. Здесь могут быть обычные или функционально-ориентированные технологии.

Можно отметить некоторые характеристики оболочек проектирования композиционной технологии:

1-й уровень – фундамент, основа или ядро формирования структуры технологии;

x-й уровень - дополнение, уточнение, корректировка структуры на базе принципов рассматриваемой технологии;

X-й уровень – управляющая технология на базе функционально-ориентированного подхода.

Функционально-ориентированные технологии [5] дают возможность вести управление свойствами изделий на различных уровнях функциональных элементов, а также позволяют полностью адаптировать изделия при изготовлении к особенностям их эксплуатации в машине или технологической системе и обеспечить заданный, требуемый или предельный их эксплуатационный потенциал. Это реализуется на базе оболочки функционально-ориентированной технологии.

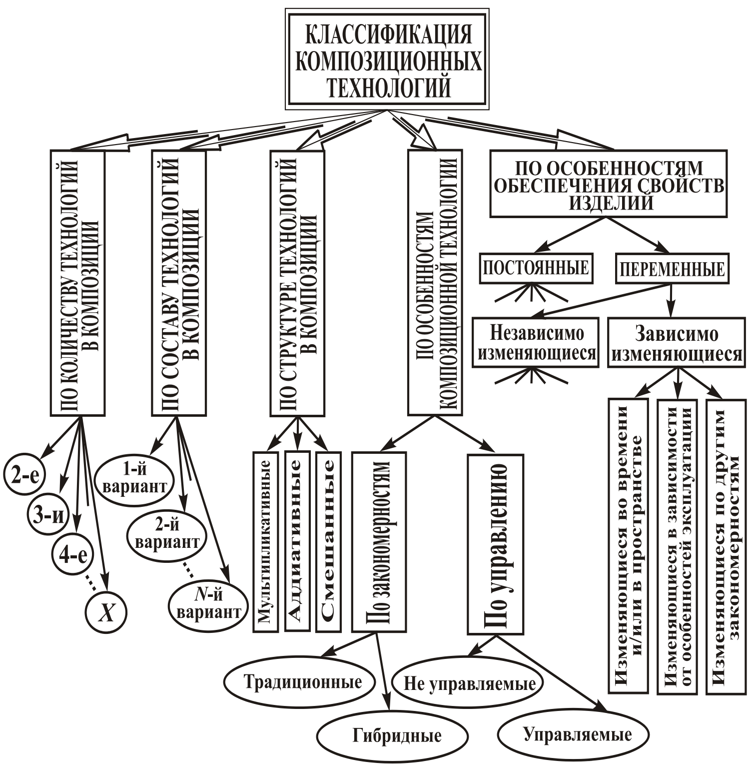


Рис. 3. Общая классификация композиционных технологий

В процессе реализации композиционной технологии повышение свойств и качества изделий обусловлено, прежде всего, тем, что в этих технологиях свойства изделий достигаются сразу по нескольким направлениям на базе принципов композиции.

В работе разработана общая классификация композиционных технологий (рис.3) [6]. При этом за счет того, что композиционная технология создается на множестве различных по значимости технологий и обеспечиваются итерационно-рекуррентные связи между оболочками процесса проектирования реализуется возможность генерирования множества композиционных технологий, отличающихся друг от друга следующим:

- количеством соединяемых в композицию различных по значимости технологий;
- составом соединяемых в композицию различных по значимости технологий;
- структурой технологий в композиции;
- особенностями обеспечения свойств изделий.

Композиционные технологии обеспечивают возможность изготовления изделий с нетрадиционными свойствами, а именно:

- изменяющимися свойствами изделия в пространстве и / или времени;
- изменяющимися свойствами изделия по необходимым законам;
- появляется возможность обеспечивать свойства на макро-, микро- и наноуровнях;
- появляется возможность управления свойствами изделия на базе принципов функционально-ориентированных технологий;
- свойствами, изменяющимися в зависимости от заданных, требуемых или предельных свойств изделий.

Таким образом, функционально-ориентированные композиционные технологии предназначены для изготовления изделий с нетрадиционными свойствами, а следовательно, могут быть применены для проектирования машин и технологических систем нового поколения. В данной работе приведено описание особенностей синтеза этих технологий на базе принципов композиции.

Список литературы: 1. Физико-технологические основы методов обработки / Под ред. А.П. Бабичева. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 409 с. ISBN 5-222-09330-1. **2.** Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 416 с. ISBN 978-59221-0582-8. **3.** Суслов А.Г. Технология машиностроения: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 2004. – 400 с. ISBN 5-217-03223-5. **4.** Базров Б.М. Модульные технологии. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с. ISBN 5-217-03061-5. **5.** Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. ISBN 966-7907-24-4. **6.** Михайлов А.Н., Михайлова Е.А., Михайлов Д.А. Основы синтеза композиционных технологий машиностроения // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні / Вісник Національного університету «Львівська політехніка». № 713 – Львів: НУ «Львівська Політехніка», 2011. С. 23 - 31. ISSN 0321-0499.

УДК 629.78

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКАНИРУЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Каплуновская А.А., Рыбинская Т.А.
(каф. СиПУ, каф. Механики ТК ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Синергетический подход, изложенный в [1], позволил осуществить своего рода прорыв в области синтеза и проектирования многомерных и взаимосвязанных систем управления широким классом сложных нелинейных динамических объектов различной физической природы. Этот подход нашел конкретное применение в основном для решения проблемы управления нелинейными техническими объектами (роботами, подвижными аппаратами, технологическими агрегатами и т.д.), которые охватывают обширную область конструктивной деятельности человека.

Принципиальное отличие синергетического подхода от классических методов науки, на которых основано существующее естественнонаучное и, следовательно, инженерное образование, состоит в выявлении фундаментальной роли свойства самоорганизации в нелинейных динамических системах. Также необходимо подчеркнуть, что в отличие от классического подхода механики, когда инвариантные многообразия отыскиваются, в синергетической теории и методах синтеза они задаются как желаемые и имеют непосредственный физический смысл, связанный с природой исходного нелинейного объекта и требованиями технологической задачи, для решения которой и синтезируется система управления объекта [1].

В настоящей работе показано решение задачи синтеза алгоритмов автоматического управления орбитальным сегментом системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), обеспечивающий заданное движение сканирующей платформы с целью расширения полосы зондирования, с помощью метода АКАР, изложенного в [1], а также подхода, изложенного в [2].

Синтез системы управления положением сканера. Будем считать, что сканирующее устройство может совершать угловое перемещение в боковом направлении от линии движения космического аппарата. Тогда динамика углового перемещения сканера описывается уравнениями:

$$\begin{aligned} &\dot{\theta}(t) = \omega; \\ &J\dot{\omega}(t) = M_{упр} - k_{тр}\omega, \end{aligned} \tag{1}$$

где θ и ω – угол поворота сканера относительно вертикальной оси и его угловая скорость, $M_{упр}$ – момент управления, $k_{тр}$ - коэффициент трения, J – момент инерции сканера.

Поставим задачу синтеза управляющего момента, обеспечивающего гармонические колебания углового положения сканера с заданными амплитудой $A_{\max}$ и частотой ω_0.

Для решения данной задачи используется подход, изложенный в [2]. Согласно этому подходу при синтезе алгоритмов управления используется математическая модель расширенной системы, состоящая из уравнений самого объекта и уравнений эталонного осциллятора. В качестве модели эталонного осциллятора используются модели известных автоколебательных систем (Пуанкаре, Ван дер Поля, Релея и др.). Суть подхода заключается в следующем: одна из переменных модели эталонного осциллятора рассматривается как эталонная переменная – $y^{(s)}$, которая изменяется во времени желаемым образом. В то же время одна из переменных модели объекта – $x^{(c)}$ является управляемой с точки зрения решаемой задачи – генерации регулярных колебаний. Тогда задача синтеза может быть сформулирована следующим образом: требуется найти закон управления как функцию координат состояния расширенной системы, обеспечивающий асимптотическое схождение управляемой и эталонной переменных: $x^{(c)} \to y^{(s)}$ [2].

В качестве модели эталонного осциллятора используется известная система Пуанкаре:

$$\begin{aligned} &\dot{y}_1(t) = (A_{\max}^2 - y_1^2 - y_2^2)y_1 + \omega_0 y_2, \\ &\dot{y}_2(t) = (A_{\max}^2 - y_1^2 - y_2^2)y_2 - \omega_0 y_1. \end{aligned} \tag{2}$$

Таким образом, модель синтеза будет содержать уравнения (1) и (2). Переменные и параметры (2) можно рассматривать как «внутренние» переменные и параметры замкнутой системы.

Введем притягивающее инвариантное многообразие

$$\psi_1 = \omega - b(\theta - y_1) = 0. \tag{3}$$

Оно приводит к динамической декомпозиции расширенной системы:

$$\dot{\theta}(t) = b(\theta - y_1);$$
$$\dot{y}_1(t) = (A_{\max}^2 - y_1^2 - y_2^2)y_1 + \omega_0 y_2,$$
$$\dot{y}_2(t) = (A_{\max}^2 - y_1^2 - y_2^2)y_2 - \omega_0 y_1.$$

Очевидно, что при $b<0$ управляемая переменная θ будет асимптотически стремиться к эталонной переменной y_1, которая в свою очередь колеблется с амплитудой $A_{\max}$ и угловой частотой ω_0.

Искомый закон управления является решением функционального уравнения

$$T_1\dot{\psi}_1(t) + \psi_1 = 0$$

в силу уравнений модели (1) и (2), имеет следующий вид:

$$M_{упр} = k_{тр}\omega + Jb(\omega - (A_{\max}^2 - y_1^2 - y_2^2)y_1 - \omega_0 y_2) - \frac{J}{T_1}(\omega - b(\theta - y_1)). \tag{4}$$

Результаты компьютерного моделирования замкнутой системы (1), (2), (4), представленные на рис. 1–3, показывают, что задача генерации заданных колебаний сканера выполняется.

Представленные в докладе результаты демонстрируют эффективность применения методов синергетической теории управления для синтеза автоматических регуляторов, позволяющих улучшить качество систем ДЗЗ, также следует отметить, что обзор литературы показал, что организация динамического движения сканера является весьма перспективной.

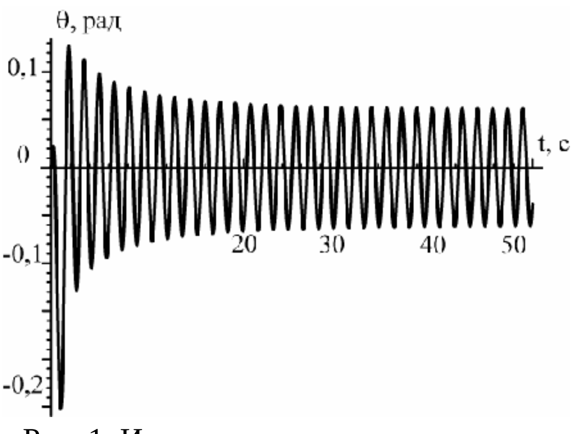


Рис. 1. Изменение углового положения сканера во времени

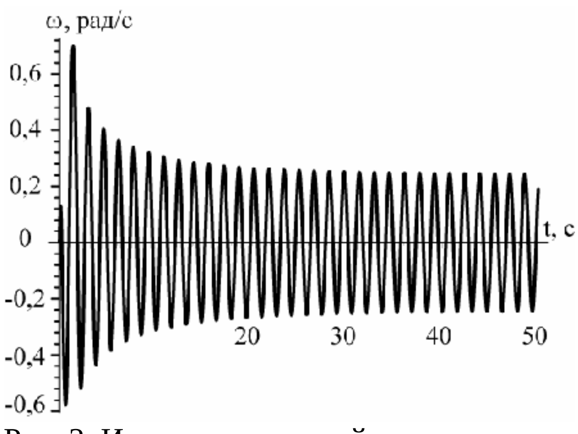


Рис. 2. Изменение угловой скорости сканера во времени

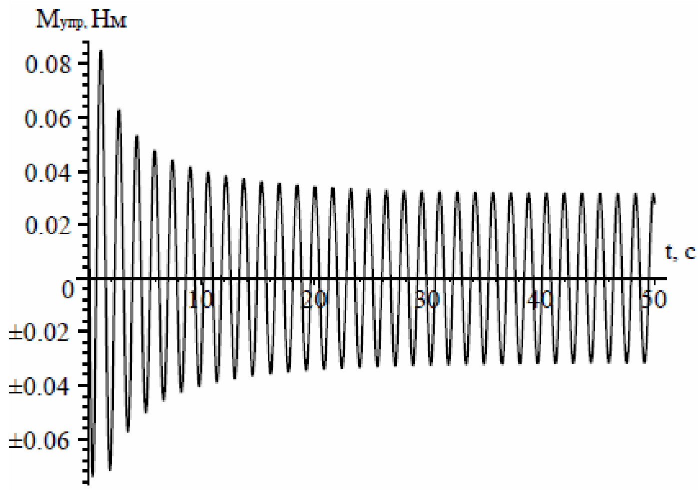


Рис.3. Изменение управляющего момента во времени

Список литературы: **1.** Колесников А.А. Синергетическая теория управления– М.: Энергоатомиздат, 1994. **2.** Попов А.Н. Синергетический синтез регуляторов для задач генерации колебательных режимов в технических системах/ Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Комплексная безопасность сложных систем». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – № 4 (129). –С. 156–162. **3.** Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство А и Б, 1997. **4.** Мозговой Д.К. Управление ориентацией КА ДЗЗ высокой разрешающей способности. – М.: Вестник Днепропетровского университета, серия «Ракетно-космическая техника», 2009. № 4. Вып. 13, том 1.

УДК 621. 923

СПОСОБ СБОРКИ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ЗАЗОРОМ

Кульбида О.О., Ищенко А.Л., Феник Л.Н., Понамарёва Е.А.
(Донецкий национальный технический университет, Украина)
Тел./Факс: +38(062) 3010804; E-mail: olga_kulbida@mail.ru

Аннотация. *В статье приведены результаты исследования возможности сборки гладких цилиндрических соединений с использованием вибраций, приложенных вдоль оси сборки. Предложенный способ отличается отсутствием принудительной ориентации собираемой детали, приложением колебаний только к базовой детали, отсутствием силового досылания детали в соединение, возможностью сборки деталей с различными по форме заходными частями.*

Ключевые слова: *соединение, сборка, вибрация, эксперимент, способ, зазор.*

1. Введение

Современный уровень развития машиностроения предполагает уменьшение количества ручного труда и увеличение количества автоматизированных производственных процессов. На сегодняшний день процессы механической обработки автоматизированы достаточно широко, процессы сборки в силу сложности реализации и многономенклатурности соединений слабо охвачены этом процессом. Механизация в сборке составляет 40%, а автоматизация всего 5...6%. Это остро ставит задачу создания автоматических сборочных систем обладающих достаточной гибкостью при переходе на другую номенклатуру собираемых изделий и обладающих высокой производительностью для уменьшения себестоимости изделия. Поэтому представляет интерес обеспечение возможности использования одного оборудования для деталей с различной геометрией собираемых соединений.

Предложенный проф. Бозровым Б.М. модульный принцип [1] дает возможность удобного математического описания сочетания поверхностей. После проведенного анализа [2, 3] можно сделать вывод о возможности сборки разных по типу и геометрии модулей соединений на одном оборудовании при использовании выделенных в процессе анализа идентичных схем. Это дает возможность объединять разнородные изделия в группы, переходить к большей серийности выпуска и использовать для сборки автоматическое оборудование, работающее по идентичным кинематическим схемам.

Целью исследования является предложение способа сборки различных модулей соединений по одной кинематической схеме, которую можно реализовать в одном сборочном автомате. В соответствии с целью можно поставить следующие **задачи**: предложить способ сборки, который позволит собирать различные по типу и геометрии модули, имеющие идентичные кинематические схемы сборки; проверить экспериментально возможность реализации предложенного способа.

2. Основное содержание работы.

Анализ существующих схем сборки [4] показал, что распространенным и достаточно универсальным способом является сборка с использованием вибраций. Наиболее распространенной схемой является схема с приложением вибраций поперек оси сборки к базовой и к собираемой деталям, с использованием средств адаптации и принудительным досыланием собираемой детали в соединение. Подобные схемы без сомнения обладают рядом преимуществ – возможность сборки при значительных углах перекоса осей деталей в начальном положении, сборка соединений с различной величиной зазора, сборка профильных соединений и др. Недостатками рассмотренных способов являются необходимость обеспечения принудительного движения автопоиска собираемой детали, приложения вибраций к обеим деталям, использование устройств адаптации и силового досылания собираемой детали.

По результатам анализа существующих схем сборки и рассмотренных ранее кинематических схемам была предложена схема сборки – к базовой детали прикладывают вибрации вдоль оси сборки, принудительного движения автопоиска у собираемой детали нет, совмещение осей деталей происходит за счет самоустанавливания детали под действием вибраций.

Для подтверждения возможности реализации предложенной схемы были проведены экспериментальные исследования. Целью проведения эксперимента являлось определение возможности и времени сборки деталей типа вал-втулка при различной геометрии заходной части конца вала под воздействием колебаний, передаваемых базовой детали вдоль оси сборки

Для реализации процесса сборки была сконструирована и изготовлена экспериментальная установка. Принцип действия установки отображен на рис. 1: сборка происходит под действием вибраций, которые прикладываются толкателем 6 к упругому элементу – столу малой толщины 1, на котором зафиксирована от сдвигов на опоре 2 базовая деталь «втулка» 4. Через жестко закрепленную направляющую втулку 3 в зону сборки подается собираемая деталь «ось» 5.

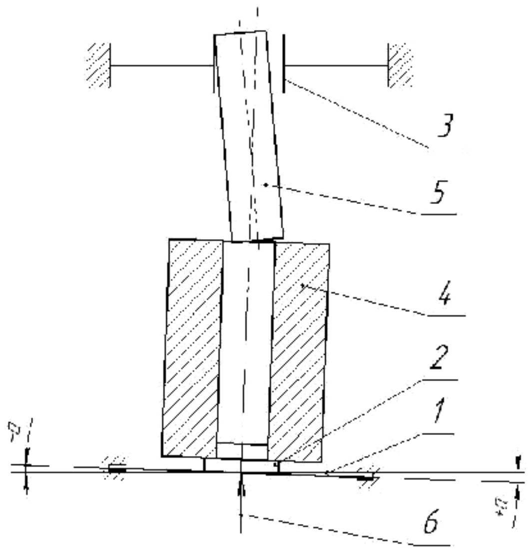


Рис. 1. Принцип действия экспериментальной установки

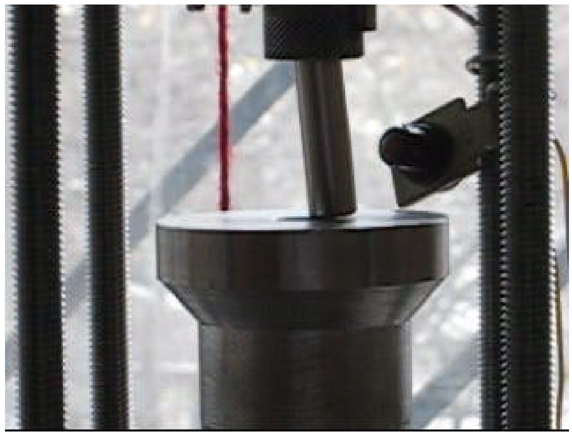


Рис. 2. зона сборки экспериментальной установки

В изготовленной установке описанный принцип сборки реализовывался за счет того, что базовая деталь «втулка» устанавливалась на стол малой толщины, который выполнял функцию упругого элемента, стол фиксировался на направляющих без дополнительной ориентации относительно горизонтали. Вибрации прикладывались к столу толкателем, который соединен с двигателем постоянного тока. Частота ударов по результатам предварительных исследований была принята 24 Гц.

В качестве факторов при проведении исследований были выбраны геометрия заходной части концов вала и отверстия втулки. В качестве ограничения выбран зазор в соединении. Приняты следующие варианты:

- собирались соединения Ø10H9/f9, Ø10 H9/d9, Ø10 H9/e9;
- втулка имела следующий размер заходных фасок: 1,6х45°, 1,6х30°;
- вал имел следующую геометрию заходной части концов вала: фаска 1,6х45°, галтель R1,6, фаска 1,6х30°, без заходной части

В результате проведения эксперимента получены результаты, представленные на рис. 3а и рис. 3б.

Наблюдаемый процесс сборки являлся сложным и включал в себя два этапа:

1) этап ориентации, когда собираемая деталь «вал» совершает движения автопоиска относительно отверстия в базовой детали «втулка» до совмещения осей;

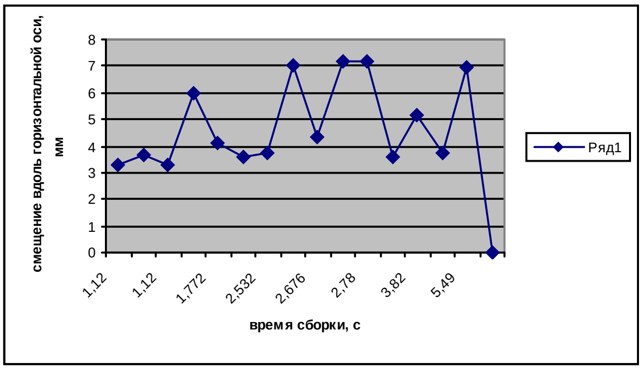
2) этап совмещения деталей.

При проведении эксперимента во время первого этапа наблюдались явления подбрасывания вала на торце втулки при форме конца вала «без заходной части» и «заходная часть - фаска» и явления качения конца вала по торцу втулки при форме конца вала «заходная часть - галтель», после этого скольжение вала по фаске отверстия втулки. Во время второго этапа происходило падение вала вдоль оси отверстия втулки, время которого изменялась в зависимости от зазора в соединении.

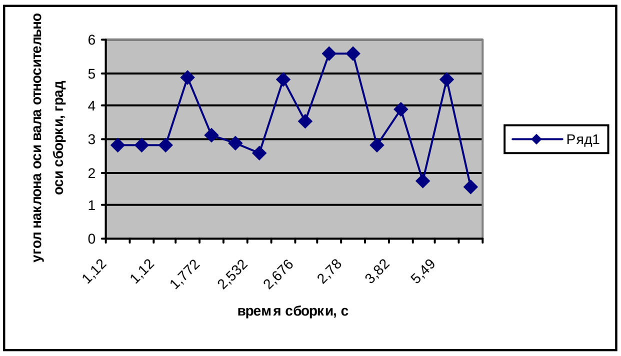
В общем, движения при сборке по данной схеме отвечают следующей последовательности:

- после удара обе детали подбрасывает на столе, во время движения ось доворачивается, принимая вертикальное положение, после приземления она проскальзывает по наклонной поверхности торца втулки. Проскальзывание длится до следующего удара толкателя, после этого цикл движений повторяется.

- после достижения осью заходной фаски втулки, ось скользит по ней и после попадания в отверстие падает под действием собственного веса вдоль отверстия вниз на глубину, равную разности глубины отверстия и высоты фиксирующей опоры.



а)



б)

Рис. 3. Экспериментальные данные

3. Анализ полученных результатов дает следующие **выводы**:

1. При отрицательном значении угла α наклона оси вала относительно оси сборки время сборки имеет наименьшие значения.
2. При положительном значении угла α близком к нулю, в процессе сборки происходит быстрая ориентация оси вала относительно вертикали, угол приобретает значение $\alpha = 0$ и процесс сборки либо не происходит, либо затягивается.
3. Большее значение имеет величина заходной фаски втулки, чем геометрия конца вала. При величине заходной фаски 1,6х45° сборка происходит быстрее.
4. Не прослеживается зависимость между временем сборки и величиной смещения оси вала вдоль горизонтальной оси или изменением угла наклона оси вала относительно оси сборки (при положительных значениях α). Это говорит о том, что нет необходимости в точной ориентации оси вала относительно оси сборки, что позволяет исключить переход по ориентации вала из технологической операции сборки, сократив таким образом операционное время сборки и дает возможность упростить сборочное оборудование.
5. Способ сборки защищен патентом на полезную модель [5].

Список литературы: 1. Базров Б.М. Технология сборки машин: учеб. Пособие /Б.М. Базров, О.В. Таратынов, В.В. Клеприков // под общей ред. Б.М. Базрова. – м.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 368 с. **2.** Использование модульного принципа при моделировании движений в процессе сборки в автоматическом сборочном роторе / О.О.Кульбида, А.Л.Ищенко, Л.Н.Феник, Е.А. Понамарева // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. Вип. 43. – 180-187 с. **3.** Кульбида О.О.Анализ кинематических схем сборки на основе модульного принципа. / О.О. Кульбида, Ю.В. Святная / Известия ТТИ ЮФУ – ДонНТУ. Материалы одиннадцатого Международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3-х кн. – Таганрог. Изд-во ТТИ ЮФУ. Кн. 3. 2010. № 10. – 193-196 с. **4.** Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / И.С. Бляхеров, Г.М. Варьяш, А.А. Иванов и др.; Под общ. Ред. И.А. Клусова. – М.: Маштностроение, 1990. – 400 с. **5.** Патент на корисну модель № UA (11) 79689 U. Спосіб складання деталей типу вал-втулка / Кульбида О.О., Фенік Л.М., Іщенко О.Л., Михайлов О.М.; заявитель и патентообладатель: Державний вищий навчальний заклад "ДонНТУ ". – опубл. 25.04.2013. Бюл. № 8.

УДК 621.9.025

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА БАЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Лахин А.М., Тархов Н.С. *(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

Аннотация. *В работе рассмотрены особенности применения функционально-ориентированного подхода при производстве зубчатых колес. Предложены варианты обеспечения переменных свойств рабочего профиля зубьев в зависимости от характера действия эксплуатационных функций.*

Ключевые слова: *зубчатые колеса, функционально-ориентированный подход, зоны исполнительных рабочих элементов колес, функциональное назначение.*

Зубчатые передачи получили наибольшее применение из всех видов силовых передач что обусловлено их основными преимуществами над остальными видами передач, среди которых: высокая надежность и долговечность, возможность передачи наиболее высоких крутящих моментов и скоростей при малых габаритах. Вместе с тем данные преимущества достигаются высокими требованиями к точности, шероховатости поверхности и физико-механическим свойствам материала зубчатых колес, что обуславливает довольно высокую трудоемкость изготовления и применение дорогих материалов заготовок.

Анализ причин выхода из строя и снижения эксплуатационных функций зубчатых передач, позволил заметить, данный процесс происходит вследствие износа некоторой незначительной части элементов зубчатых колес, тогда как на остальных - износ незначителен или отсутствует вовсе. Немаловажным фактором также является неравномерный характер износа быстро изнашиваемых поверхностей, что вызвано различным характером действия элементов сопряженной детали при постоянных свойствах изнашиваемого участка. Поэтому одной из задач современного машиностроения при производстве зубчатых колес, обеспечить свойства различных элементов согласно условиям эксплуатации для наиболее полного использования ресурса изделия с зубчатой передачей.

Одним из направлений позволяющих решить данные задачи, являются функционально-ориентированные технологии [1], целью которых является обеспечение свойств элементов изделия соответствующих условиям их эксплуатации в машине или технологической системе.

Зубчатые колеса представляют собой совокупность исполнительных, связующих, вспомогательных и дополнительных элементов [2]. Каждая группа элементов состоит частей и составляющих, для которых характерны особые функции в процессе эксплуатации.

Вместе какждое изделии можн разделить по уровням глубины технологии [1].

Составляющая каждой части исполнительных рабочих элементов разделяется по зонам, представлющих собой элементарные геометрические элементы (точки, линии, поверхности, поврехностные слои и объемные зоны). При этом данное деление для отдельного зуба переключаемого колеса можно представить схемой. (рис. 2)

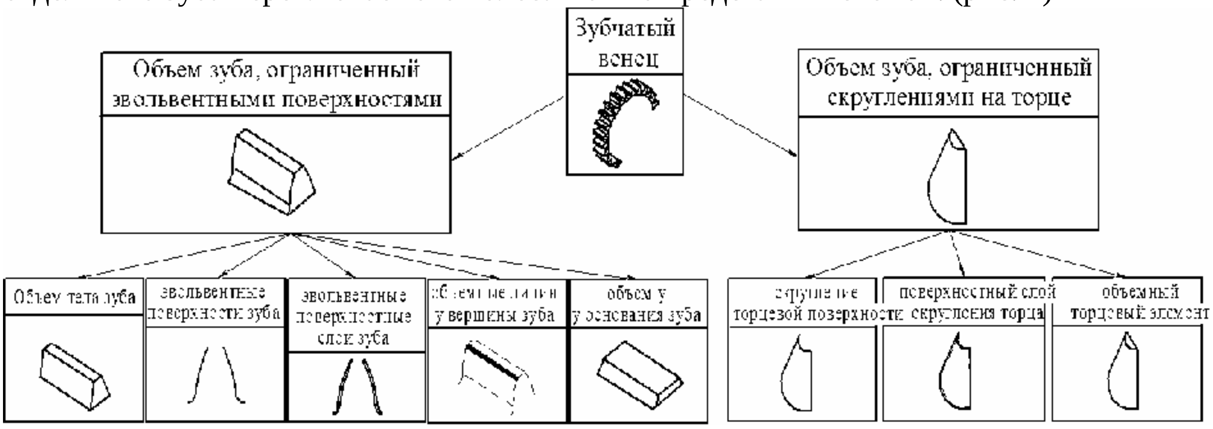


Рис. 1. Зоны исполнительных рабочих элементов зубчатых колес

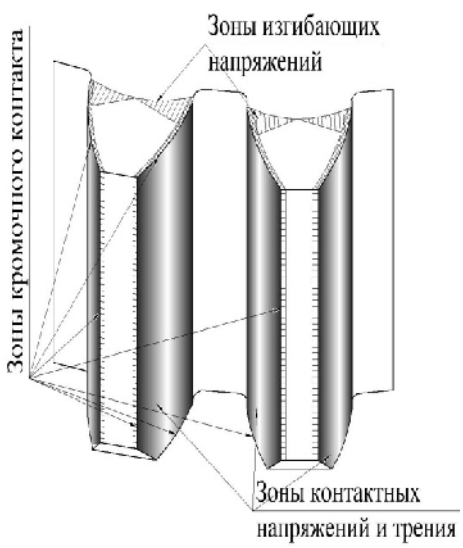


Рис. 2. Условия работы зубчатой передачи

Нарушению безотказной и плавной работы зубчатой передачи могут способствовать следующие признаки, вызывающие разрушение рабочих элементов: концентрация контактных напряжений в поверхностном слое зуба, вызывающих усталостный износ и выкрашивание с поверхностей зубьев; трение скольжения с сопряженным зубом, вызывающее механический износ сопряженной пары зубьев; действие напряжений изгиба в объемной зоне у основания зуба, , вызывающие пластическую деформацию или поломку отдельных зубьев; кромочный контакт, возникающий в результате контакта объемных линий вершинных и боковых кромок с рабочим профилем зуба и приводит к износу и деформации самих кромок, так же концентрации контактных напряжений рабочего профиля (рис. 2).

Обеспечение функций требуемых по условиям эксплуатации, возможно реализацией свойств: непрерывных, прерывистых и единовременных а также их комбинаций в различных направлениях (рис. 3).

Действие эксплуатационных функций в поверхностном слое зуба, вызванное действием взаимного скольжения профилей, представлены на рис. 4, а. Условия эксплуатации предполагают изменение скорости взаимного скольжения профилей по высоте зуба от головки зуба к полюсу зацепления, и от полюса зацепления к ножке зуба. При этом максимальное скольжение и, как следствие максимальный износ при однородных свойствах материала зубчатого колеса, возникает на ножке зуба, а в полюсе зацепления он равен 0. Основной технологической задачей при этом является обеспечение свойств участков поверхностного слоя зубчатого профиля в зависимости от условий эксплуатации, что может быть достигнуто при изменении свойств сопрягаемых поверхностей в соответствие со скоростью взаимного скольжения.

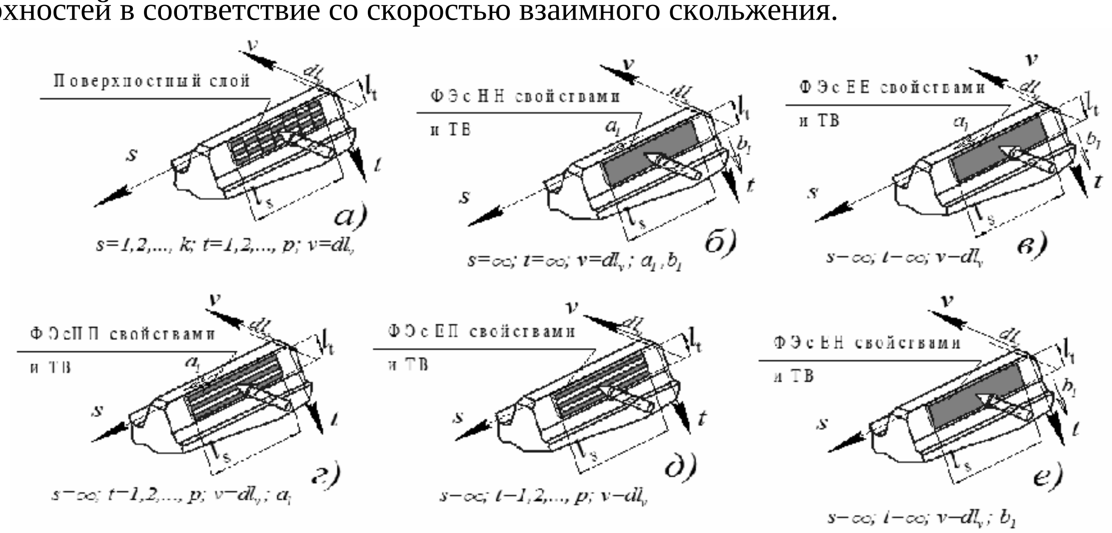


Рис.3. Схемы реализации технологических воздействий поверхностного слоя зубчатых колес для обеспечения свойств: а) – прерывистых в двух направлениях; б) – непрерывных в двух направлениях; в) – единовременных в двух направлениях; г) – непрерывно-прерывистых; д) – единовременно-прерывистых; е) –единовременно-непрерывных

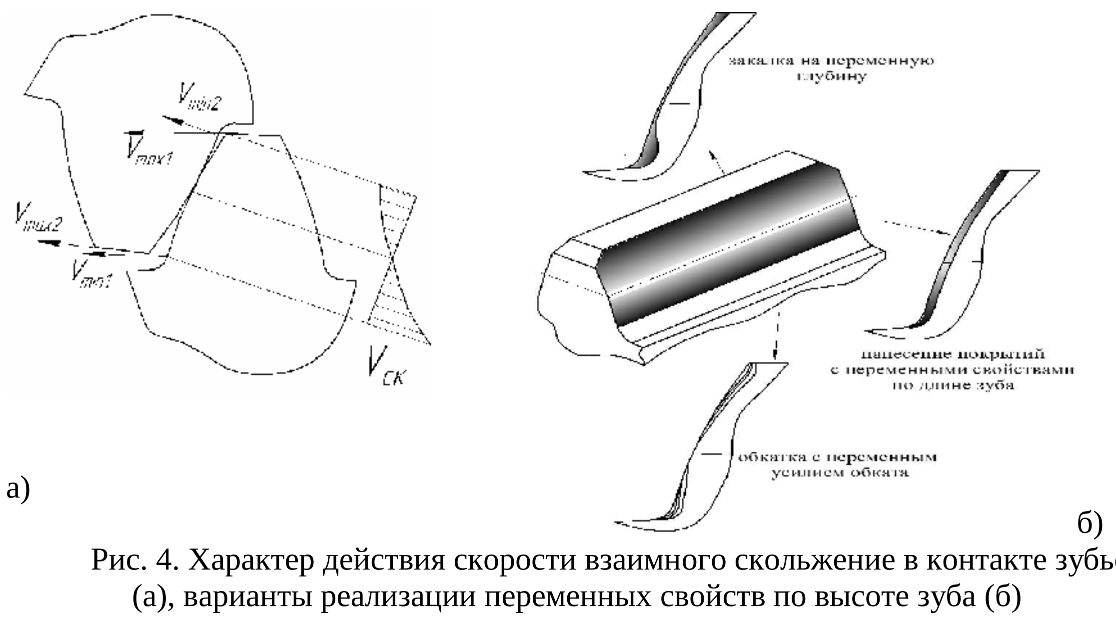


Рис. 4. Характер действия скорости взаимного скольжение в контакте зубьев (а), варианты реализации переменных свойств по высоте зуба (б)

Возможным вариантом является уменьшение коэффициента трения и износостойкости поверхностного слоя в соответствии с графиком скорости взаимного скольжения. При этом возможны следующие варианты технологических воздействий обеспечивающих заданной изменение свойств материала (рис.4, б) :
- термическая обработка на переменную глубину по высоте зуба за счет изменения скорости прогрева и охлаждения в отдельных участков профиля зуба;
- обкатка рабочих поверхностей зубьев с различным усилием обката;
- нанесение покрытий с переменной толщины и с изменяющимися свойствами по высоте зуба.

Таким образом, в работе выполнена классификация и анализ элементов зубчатых колес по функциональному назначению. Рассмотрены основные причины снижения эксплуатационных характеристик зубчатых колес, на основании которых возможно определение структуры технологических воздействий для каждого элемента. Разработаны схемы технологического воздействия, а также варианты реализации различных по структуре свойств. Для возможности реализации переменных свойств по рабочему профилю зуба в зависимости от скорости взаимного скольжения, предложены варианты технологических воздействий. Использование функционально-ориентированного подхода в производстве зубчатых колес, позволяет решать комплексные задачи повышения качества зубчатых колес, а также способствуют повышению эффективности из изготовления.

Список литературы: 1. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. - 346 с. **2.** Лахин А.М., Михайлов А.Н., Зантур Сахби, Тарафа Аль-Судани Синтез схем технологического воздействия для функционально-ориентированных технологических процессов производства зубчатых колес // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. Вып. 38. С. 127-132. **3.** Кудрявцев В.Н. Зубчатые передачи. - М.: «Машгис», 1957. – 263 с.

УДК 631.363.21

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НОЖА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЁРЕН СОИ НА ЭНЕРГОЁМКОСТЬ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Лимаренко Н.В. *(ДГТУ, г.Ростов–на–Дону, Россия)*

Аннотация. *Проведены эксперименты по определению факторов действующих на энергоёмкость процесса резания соевых бобов, а именно влияние угла заточки лезвия ножа и температуры окружающей среды в которой проводились исследования в условиях безударного (статического) резания, для выявления наиболее оптимальных параметров рабочего органа (ножа) и технологических свойств измельчаемого материала (соевые бобы), в ходе проведения экспериментов условиях ударного (динамического) резания.*

Ключевые слова: *угол заточки, соевые бобы, технологические свойства, энергоёмкость процесса резания.*

В настоящее время одной из проблем в области питания у нас в стране и за рубежом является дефицит белка, обусловленный недостатком таких белоксодержащих продуктов как молоко, мясо, рыба и т.п. Чтобы восполнить недостаток этих продуктов в качестве дополнительного источника белка используют комбинированные продукты в виде сочетания животных и растительных белков.

Из растительных белков применяемых в производстве комбинированных продуктов, широкое распространение получили белки сои.

Это объясняется следующими факторами:

1. соя произрастает во многих регионах не только России, но и мира;
2. с одного гектара посевной площади можно получать до 700 кг. белка;
3. семена сои содержат 40% белка и 20% липидов, что обеспечивает целесообразность промышленной переработки сои.

Кроме того, соя имеет достаточно большую биологическую и пищевую ценность, подкреплённую большим историческим опытом использования сои и продуктов её переработки (мука, крупа, молоко и т.д.) в питании.

Соевые продукты нашли широкое применение во многих отраслях промышленности, они используются в качестве кормов в сельском хозяйстве, в качестве ингредиентов в косметической (кремы и прочие средства), легкой (ткани), фармацевтической (лекарства) и химической отраслях, в качестве сырья и добавок в пищевой промышленности, особенно следует отметить мясоперерабатывающую, молочную и масложировую отрасли.

Сегодня на потребительском рынке можно встретить такие молочные соевые продукты, как соевое молоко, тофу (соевый творог), сухое соевое молоко, соевое масло, соевые орешки, соевый майонез и соусы, соевые кефир и йогурт, окара, а также гуляш, фарш, шницель и азу из бобов сои и это далеко не полный список продуктов изготавливаемых с использованием сои.

Технология производства продуктов из сои предусматривает её измельчение на фракции различного размера. Существуют различные способы измельчения такие как: сжатие, сдвиг, истирание, удар, скалывание и резание. Следует отметить, что разница между последними двумя понятиями скалывания и резания является довольно условной и наблюдается лишь в кинематическом режиме и в размере полученных частиц. Измельчение зерна резанием позволяет получить более крупные фракции зерна, что является принципиальным требованием для ведения некоторых технологических процессов, в качестве примера можно привести процесс производства соевого молока.

Как любой процесс измельчения, резание является одним из наиболее энергоёмких производственных процессов. Энергоёмкость процесса зависит не только от физико-механических характеристик измельчаемого продукта, таких как размеры зёрен, их влажность и температура, но и от конструкции рабочего органа и скорости его перемещения.

С целью изучения этих факторов в Донском государственном техническом университете, на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» были проведены исследования по определению величины усилия разрушения бобов сои в зависимости от угла заточки лезвия рабочего органа при изменяющейся влажности и температуре.

Эксперименты проводились для сои марки «Вилана» при технологической влажности $W_з = 12{,}5$ % (где $W_з$ обозначает влажность) в температурном диапазоне от – 10 ˚С до + 30 ˚С, на специально сконструированной для этой цели экспериментальной установке, представленной на рисунке 1, в ходе проведения опытов была применена методика планирования многофакторного эксперимента, где в качестве отклика было принято усилие разрушения, а в качестве варьируемых факторов угол заточки ножа (с остриём заточки 0,25 – 0,30 мм), влажность зерна (для достоверного представления модели варьирование верхнего и нижнего уровней данного фактора было принято в 1,5 %) и его температура.

Принцип действия установки заключается в следующем: привод осуществляется вручную от рукоятки с винтом 1, в следствии чего производится перемещение рабочего органа (лезвия) до момента контакта с зерном, момент контакта рабочего органа с зер ном фиксируется небольшим отклонением стрелки на верхнем индикаторе часового типа (перемещение), после чего оба индикатора выставляются в нулевое положение.

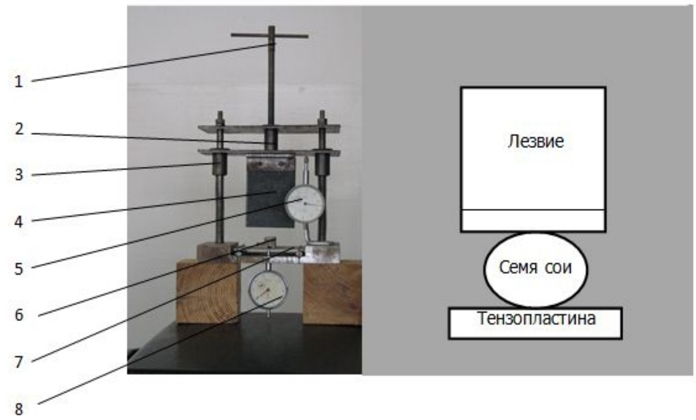


Рис. 1. Экспериментальная установка и схема нагружения зерна сои
1 – Рукоятка с винтом;
2 – Ступица с крепёжными элементами; 3 – Станина;
4 – Рабочий орган (лезвие);
5 – Верхний индикатор часового типа для снятия показаний величины перемещения (ИЧ-10; цена деления 0,01мм; предел измерения 0-10мм);
6 – Предметный столик;
7 – Тензопластина; 8 – Нижний индикатор часового типа для снятия показаний величины усилия разрушения (ИЧ-10)

Далее производится дальнейшее перемещение рабочего органа с одновременным снятием показаний с нижнего (усилие) и верхнего (перемещение) индикаторов, вплоть до разрушения зерна. Момент разрушения фиксируется по сбросу показаний на нижнем индикаторе. Подготовка прибора к работе заключается в выставлении по высоте индикатора 5 (в зависимости от максимального размера исследуемого объекта) и индикатора 8 (в ненагруженном состоянии его показания должны быть равны 2 – 3 делениям шкалы, которые потом корректируются путём установки на ноль). Необходимо отметить, что данная установка обеспечивает проведение исследований в условиях безударного резания. Основной целью проведения эксперимента в условиях безударного резания является выявления важности влияния угла заточки ножа на энергоёмкость процесса.

Ниже на графике рисунка 2 представлены характеристики F(t˚)/W = const, при технологической влажности W = 12,5% и изменении t˚ в диапазоне от – 10˚C до + 30 ˚C, а в таблице 1 представлены значения величины усилия разрушения всех экспериментальных температур.

Таблица 1. Результаты экспериментов по определению величины усилия разрушения сои при различных углах заточки ножа и различных температурах

α ° t, ^{0}C	Усилие разрушения, Н				
	15˚	30˚	45˚	90˚	120˚
-10	6,5	9,0	11,5	13,0	14,0
0	8,0	10,0	13,0	15,0	16,0
10	10,0	14	15,5	17,0	20,0
20	9,0	10,0	12,5	13,0	14,0

30	8	9,5	11	12,5	13,8

* α ° - угол заточки лезвия режущего инструмента (ножа).

Как видно из графика представленного на рисунке 2, то наименьшие величины усилия разрушения наблюдаются в диапазоне температур от -10˚С до 0˚С, далее с увеличение температуры увеличивается и усилие разрушения, максимальные значения наблюдаются при температуре +10˚С, далее с увеличением температуры наблюдается снижение величины разрушающего усилия. Очевидно, что такое поведение соевых бобов можно объяснить их внутренним строением и физико-механическими свойствами. Однако объяснение поведения бобов в каких либо температурных диапазонах не является нашей задачей, целью данного эксперимента было выявить диапазон температур при которых процесс резания является наименее энергоёмким. Далее рассмотрим влияние угла заточки лезвия ножа на энергоёмкость процесса резания, как видно из рисунка 2, усилие разрушения увеличивается пропорционально увеличению угла заточки. Из эксперимента следует, что наименьшая энергоёмкость процесса резания наблюдается при угле заточки ножа 15˚. Из графика видно, что все зависимости полученные экспериментально линейны, т.е. могут считаться единообразными, поскольку эксперимент проводился в условиях безударного резания зерна, то его целью являлось выявление степени важности факторов при ударном процессе резания соевых бобов, что было и реализовано в ходе исследования.

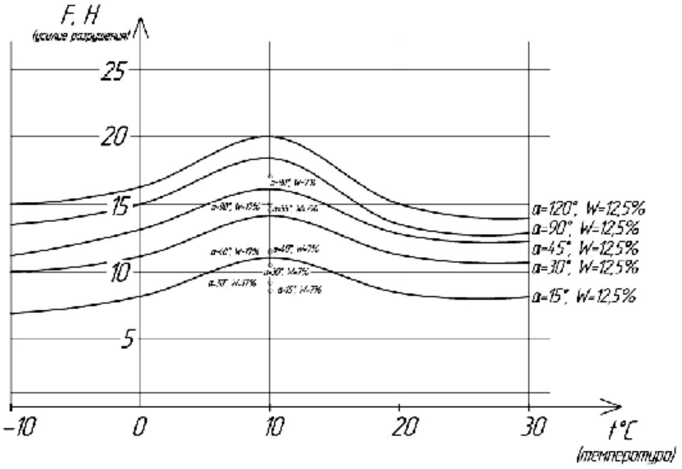


Рис. 2. Зависимость усилия разрушения от температуры в условиях безударного (статического) резания

Выводы:

– наиболее оптимальным температурным диапазоном ведения процессе резания соевых бобов, в ходе эксперимента был выявлен диапазон от +18˚С до 25˚С, т.е. средние комнатные условия, далее же при повышении или понижении значений указанного диапазона высока вероятность нарушения внутреннего строения зерна, поскольку оно является живым биологически активным организмом;

– влияние угла заточки режущего ножа на энергоёмкость ведения процесса резания в условиях безударного процесса указывает на использование ножа с углом заточки 15 ˚, далее с увеличением угла заточки возрастает и усилие разрушения.

Выявление влияния действия этих факторов на энергоёмкость ведения процесса ударного (динамического) резания, является задачей дальнейших исследований.

Список литературы: 1. Н.В. Лимаренко, А.В. Абрамов «Исследование величины разрушающегося усилия зёрен сои от угла заточки лезвия инструмента и температуры при постоянной влажности» //Инновационные технологии и технические средства для АПК юга России: сб. науч. тр. конф. молодых учёных, посвящ. 80-летию кафедры «СХМ и О» в составе РИСХМ). Ростов н/Д: ДГТУ, 2013. 182 с.; **2.** Н.В. Лимаренко, А.В. Абрамов «Исследование величины разрушающего усилия сои в зависимости от геометрии рабочего органа, температуры и влажности» // Материалы 6-й Межд. науч.-практ. конф. «Интерагромаш-2013». Ростов н/Д: ДГТУ, 2013. С. 104–106; **3.** Бегеулов М.Ш. Основы переработки семян сои/ М.Ш. Бегеулов. – М.: ДеЛи принт, 2006. – 181 с.

УДК 621.793.7

К ВОПРОСУ НАПЫЛЕНИЯ НИТРИД ТИТАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Михайлов Д.А., Криволапов А.И. *(Кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

Аннотация. *Работа посвящена изучению возможности повышения производительности и снижения себестоимости напыления вакуумных ионно-плазменных покрытий на лопатки ГТД за счет дальнейшего повышения их концентрации в вакуумной камере путем реализации специальной структуры рабочих позиций технологической оснастки, выполнения необходимых пространственных связей между ее элементами и обеспечения требуемой кинематики движений ее элементов из условия обеспечения равномерности толщины покрытия на поверхностях лопатки.*

Ключевые слова: *лопатки газотурбинных двигателей, концентрация рабочих позиций, объём вакуумной камеры, структура рабочих позиций.*

Наиболее нагруженными деталями газотурбинных двигателей (ГТД), определяющими их ресурс, являются лопатки [1]. Элементы лопаток в процессе их эксплуатации испытывают напряжения растяжения и изгиба от центробежных сил, напряжения изгиба и кручения от газового потока, переменные напряжения от вибрационных нагрузок, частота и амплитуда которых изменяются в широких пределах, а также тепловые напряжения от тепловых нагрузок. Температура на лопатках первой ступени турбины может достигать 1200 ^{O}С [2]. При этом цикличность знакопеременных напряжений приводит к разрушению лопаток вследствие термической усталости из-за возникающих микротрещин и изменения свойств материала.

А также можно отметить, что лопатки ГТД работают в условиях агрессивной газовой среды при высокой температуре, что в ряде случаев приводит к возникновению газовой коррозии. При том наличие влажности и пыли в воздушном потоке оказывают химико-абразивное изнашивание элементов лопаток, а именно поверхностей, входных и выходных кромок пера.

Особенно значительное изнашивание элементов пера лопаток проявляется у ГТД вертолетов, например ТВ3-117, эксплуатирующихся в пустынях с песчаными бурями, в местностях, с пылевыми и соляными составляющими в воздушных потоках, образующихся из-за эрозии почвы, вблизи действующих вулканов с выбросами пепла и тому подобными особенностями. Это приводит к снижению долговечности лопаток и ГТД в целом.

Для повышения долговечности лопаток ГТД применяются различные технологические методы и способы увеличения их эксплуатационных свойств [3, 4, 5]. В частности для снижения износа элементов пера лопаток применяют вакуумное ионно-плазменное (электродуговое) напыление специальных композиционных покрытий, образованных на основе нитрид титана, нитрид цирконий титана и других соединений. Вместе с тем, применение этих видов напыления требует решения вопросов повышения технико-экономических показателей. Прежде всего, повышения производительности и снижения себестоимости напыления вакуумных ионно-плазменных покрытий. На практике эти вопросы решаются за счет повышения концентрации рабочих позиций в вакуумной камере. Однако в этом случае сразу возникает целый ряд вопросов. Прежде всего, сколько лопаток можно располагать в вакуумной камере? Какая структура рабочих позиций будет наиболее рациональной для тех или иных видов лопаток? Какие пространственные связи в расположении лопаток необходимо реализовать? А также, какую кинематику движений элементов приспособления необходимо обеспечить, чтобы уменьшить влияние теневых зон на качество напыляемого покрытия. На эти и другие вопросы в данной статье сделана попытка дать ответы.

Целью данной работы является повышение производительности и снижение себестоимости напыления вакуумных ионно-плазменных покрытий на лопатки ГТД за счет дальнейшего повышения их концентрации в вакуумной камере путем реализации специальной структуры рабочих позиций технологической оснастки, выполнения необходимых пространственных связей между ее элементами и обеспечения требуемой кинематики движений ее элементов из условия обеспечения равномерности толщины покрытия на поверхностях лопатки.

В соответствии с поставленной целью, в данной работе определены следующие задачи исследований: определить необходимые варианты концентрации изделий в вакуумной камере ионно-плазменной установки; предложить возможные виды структур расположения рабочих позиций вакуумной камеры; исследовать виды пространственных связей расположения рабочих позиций в вакуумной камере; выполнить анализ кинематики движений лопаток в вакуумной камере; разработать общие принципы проектирования технологической оснастки из условия обеспечения равномерности толщины покрытия на поверхностях лопаток. Эти задачи решаются в данной работе.

Главной задачей синтеза технологического обеспечения вакуумной камеры является определение необходимой концентрации рабочих позиций вращающейся оснастки или мощности множества рабочих позиций вакуумной камеры. При этом концентрация рабочих позиций или мощности множества рабочих позиций вакуумной камеры или общая плотность изделий вакуумной камеры определяется по следующей формуле:

$$v = П_Ц T_Ц = \frac{V}{V_0}, \tag{1}$$

где v - мощность множества рабочих позиций вакуумной камеры;
$П_Ц$ - цикловая производительность напыления покрытий на лопатки;
$T_Ц$ - полный технологический цикл напыления покрытий на лопатки ГТД;
V - общий объем вакуумной камеры;
V_0 - удельный объем вакуумной камеры для расположения одной рабочей позиции (лопатки).

Можно отметить, что при проектировании вакуумной камеры процесс определения мощности множества рабочих позиций зависит от необходимой цикловой производительности $П_Ц$ установки. Время полного технологического цикла $T_Ц$ напыления покрытия на лопатки ГТД обычно задается предварительно.

Задаваясь конкретными параметрами цикловой производительности $П_Ц$ и временем полного технологического цикла $T_Ц$ в выражении (1) можно определить необходимое количество напыляемых лопаток v в соответствии с заданными начальными условиями. Когда необходимо определить объём вакуумной камеры можно воспользоваться следующим выражением

$$V = П_Ц T_Ц V_0 \ .$$

В случае, когда необходимо вести процесс дальнейшего повышения производительности установки, с заданным объемом вакуумной камеры, можно воспользоваться следующими условиями:

$$\left.\begin{aligned} v &\to \max\ , \\ V_0 &\to \min\ . \end{aligned}\right\}$$

Процесс определения множества рабочих позиций вакуумной камеры имеет следующие ограничения:

- возникновением эффекта «теневые зоны», этот эффект действует в случае особенностей пространственного расположения лопаток относительно друг друга и в случае особенностей кинематического движения лопатки относительно катодов установки;

- наличием предельной удельной плотности лопаток в вакуумной камере, которая определяется по следующей формуле $P = 1/v$;

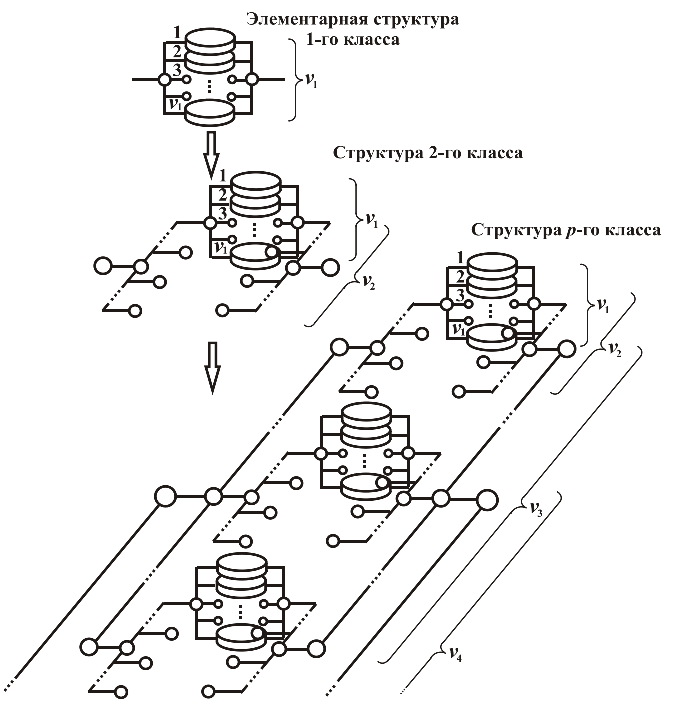


Рис. 1. Особенности формирования структуры рабочих позиций технологической оснастки вакуумной камеры ионно-плазменной установки

- особенностями структуры технологического обеспечения, пространственных связей между элементами структуры и кинематики движений лопаток в вакуумной камере.

Когда определена мощность множества рабочих позиций вакуумной камеры (концентрация рабочих позиций) составляется их структура. Структура рабочих позиций характеризует внутреннюю организацию, порядок и построение технологической оснастки и представляет собой совокупность элементов и отношений между ними.

Структура рабочих позиций технологической оснастки вакуумной камеры представляет собой совокупность упорядоченных множеств y и a, которую представляем следующим образом:

$$Str = \{y, a\},$$

где Str - рабочих позиций технологической оснастки вакуумной камеры;

y - множество рабочих позиций технологической оснастки вакуумной камеры;

a - множество отношений на множестве y.

Здесь множества y и a имеют вид:

$$y = \{y_1, y_2, ..., y_v\},$$

где y_η - η-й элемент множества y;

$$a = \{a_1, a_2, ..., a_{v_i}\},$$

где a_η - η-е отношение между элементами множества y.

Однако для реализации структуры рабочих позиций технологической оснастки вакуумной камеры необходимо определить параметры множеств y и a.

Процесс формирования структуры рабочих позиций технологической оснастки вакуумной камеры ионно-плазменной установки (рис. 1) основывается на следующем.

Сначала формируется элементарная структура 1-го класса, затем из этих элементарных структур составляется структура 2-го класса, потом – структура 3-го класса, и так далее до создания структуры *p*-го класса. В этом случае, мощность множества рабочих позиций будет определяться на основании следующего выражения:

$$v = \prod_{k=1}^{p} v_k ,$$

где v_{ik} - мощность множества элементов подсистемы *k*-го класса;
p – количество классов подсистем на множестве рабочих позиций ионно-плазменной установки.

Для представленной структуры (рис. 1), цикловая производительность вакуумной ионно-плазменной установки определяется по следующей формуле

$$П_Ц = \frac{\prod_{k=1}^{p} v_k}{T_Ц} .$$

Структурная модель рабочих позиций оснастки вакуумной камеры по классам подсистем может быть представлена следующим образом:

$$Str = \{Str_1, Str_2, ..., Str_P\},$$

где Str_k - структура подсистем *k*-го класса технологической оснастки вакуумной камеры установки.

Общую структурную модель состава рабочих позиций можно представить следующим выражением

$$Str = \bigcup^{v_P} \cdots \bigcup^{v_2} \bigcup^{v_1} y_\eta .$$

Таким образом, разработанные в этой работе основы проектирования технологической оснастки вакуумных ионно-плазменных установок позволяют создавать высокопроизводительное оборудование и снизить себестоимость напыления покрытий на лопатки ГТД за счет концентрации рабочих позиций.

Список литературы:1. Демин Ф.И., Проничев Н.Д., Шитарев И.Л. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей. Учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 2002. – 328 с. ISBN 5-217-03119-0. 2. Полетаев В.А. Технология автоматизированного производства лопаток газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с. ISBN 5-217-03340-1. 3. Богуслаев В.А., Качан А.Я., Долматов А.И., Мозговой В.Ф., Кореневский Е.Я. Технология производства авиационных двигателей. Ч. 1. Основы технологии. - Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2007. – 518 с. ISBN 966-87-2. 4. Богуслаев В.А., Яценко В.К., Жеманюк П.Д., Пухальская Г.В., Павленко Д.В., Бень В.П. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД. - Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2005. – 559 с. ISBN 966-7108-91-0. 5. Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С. Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 622 с. ISBN 5-89594-066-8.

УДК 621.3:616

ВОССТАНОВЛЕНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО СЕРЕБРА БОРГИДРИДОМ НАТРИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Пугачёв А.Д. *(ДГТУ, г.Ростов-на-Дону, Россия)*

Аннотация. *Предложена и исследована экспериментальная методика получения наночастиц серебра в реакциях с боргидридом. Изучено влияние растворителей на кинетику образования и физико-химические свойства получаемых золей. Найдены некоторые сочетания факторов и условий, обеспечивающие достаточно узкое распределение частиц по размеру. Создан научный задел для синтеза металлоорганических комплексов, в состав которых входят НЧ серебра и молекулы спиропиранов. Намечены перспективные направления предметных исследований.*

Для получения золей серебра с узким и воспроизводимым распределением по размерам частиц в нанодиапазоне необходимо проведение специальных исследований. Особое значение это имеет в метрологии наночастиц для приготовления стандартных образцов, производство которых в России ограничено, а поставки импортных препаратов не покрывают потребности отечественных наноцентров и экономически не всегда обоснованы. Прежде всего это актуально для стандартных препаратов наносеребра с размерами частиц менее 20 нм, число которых на мировом рынке исчисляется единицами, а стабильность и воспроизводимость размеров оставляет желать лучшего.

В работе рассматривается и изучается боргидридный метод получения наночастиц (далее НЧ) серебра в различных растворителях. Актуальность работы связана также с разработкой новых «химических» носителей информации, где наночастицы серебра могут быть носителем фотохромных молекул, например, спиропиранов [1].

1. Экспериментальные методы и средства

При проведении исследований использовались следующие реактивы: нитрат серебра марки ч.д.а. по ГОСТ 1277-75 (ООО «Уральский завод химических реактивов»); желатин пищевой марки П-11 («Невареактив»); N, N-диметилформамид марки х.ч. по ГОСТ 20289-79 («Экос-1»); этанол х.ч.; боргидрид натрия х.ч.; эмульгатор 3646/51; пальмитиновая кислота марки х.ч. («Реактив»).

Для характеристики полученных наночастиц использовался седиментационный анализ – один из наиболее широко применяемых непрямых методов определения размеров частиц дисперсной фазы в коллоидных и дисперсных системах и их распределения по размерам. Седиментационный анализ выполнялся на дисковой центрифуге CPS DC 24000. Методика седиментационного анализа подробно описана в работе [2].

Методика заключается в восстановлении соли серебра боргидридом натрия в присутствие различных стабилизаторов. Из-за высокой скорости реакции управление процессом затруднено. Проблема решается охлаждением реакционной смеси, а также варьированием концентраций исходных компонентов.

Спектр стабилизирующих агентов и растворителей достаточно широк [3, 4, 5]. Например, группе исследователей [4] при использовании желатина удалось получить НЧ, лежащие в диапазоне 5-50 нм, причем большинство частиц имели размер около 30 нм. Мы стабилизировали золь желатином, эмульгатором 3646/51 и пальмитиновой кислотой. В качестве среды апробированы N, N-диметилформамид, этанол и вода.

Реальный механизм реакции достаточно сложный и во многом определяется используемым растворителем. Для водной среды брутто-реакция выглядит так:

$$2AgNO_3 + 2NaBH_4 + 6H_2O \rightarrow 2Ag + 7H_2 + 2NaNO_3 + 2H_3BO_3 .$$

Следует отметить, что борная кислота является продуктом реакции вследствие взаимодействия диборана с водой:

$$2B_2H_6 + 6H_2O \rightarrow 2H_3BO_3 + 6H_2 .$$

В среде других растворителей брутто-механизм выглядит иначе:

$$2AgNO_3 + 2NaBH_4 \rightarrow 2Ag + H_2 + 2NaNO_3 + 2\ B_2H_6 .$$

Применение различных стабилизаторов позволяет управлять распределением получаемых НЧ. Использование N, N-диметилформамида и этанола в качестве растворителя актуально для получения наноразмерных металлоорганических комплексов серебра со спиропиранами [6], которые могут выступать в качестве химических носителей информации.

Отметим, что в отличие от метода Туркевича[7], использование боргидрида натрия позволяет получать НЧ различной формы, а также менять распределение по размеру не только соотношением концентраций исходных реагентов, но также используемым стабилизатором.

2.1. Боргидридный метод в водной среде

Боргидридный метод отличается от цитратного тем, что восстановитель не является одновременно стабилизирующим агентом. Поэтому, задача оптимизации заключается не только в подборе оптимальных концентраций и температурных условий синтеза, но также и в отыскании наиболее подходящего стабилизатора.

Изначально в качестве стабилизатора применялся эмульгатор 3646/51. Исходные растворы концентрацией C_M = 0,001 моль/л охлаждались до 0 ^{0}C. Соотношение концентраций $[AgNO_3]/[NaBH_4] = 1/20$, объемная доля эмульгатора составила 0,1 %. Функция распределения полученных НЧ по размерам приведена на рис. 1.

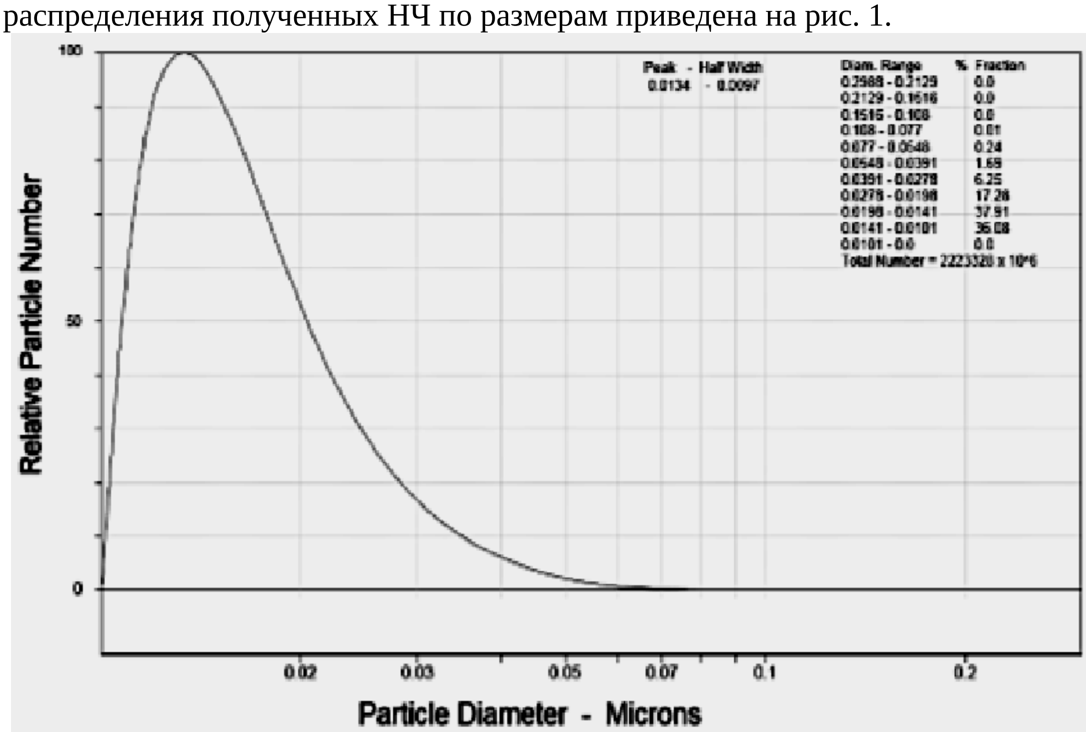


Рис.1. Результат седиментационного анализа образца, полученного при $[AgNO_3]/[NaBH_4] = 1/20$ (C_M = 0,001 моль/л) в водной среде. Объемная доля эмульгатора 3646/51 0,1 %

Полученный образец проявил относительно высокую стабильность, о чем свидетельствует результат седиментационного анализа этого же образца спустя месяц после получения (рис. 2).

Главным результатом для этой такого способа синтез НЧ серебра является получение стабильного коллоида, который в перспективе можно использовать в качестве стандартного образца для калибровки измерительного оборудования в нанодиапазоне.

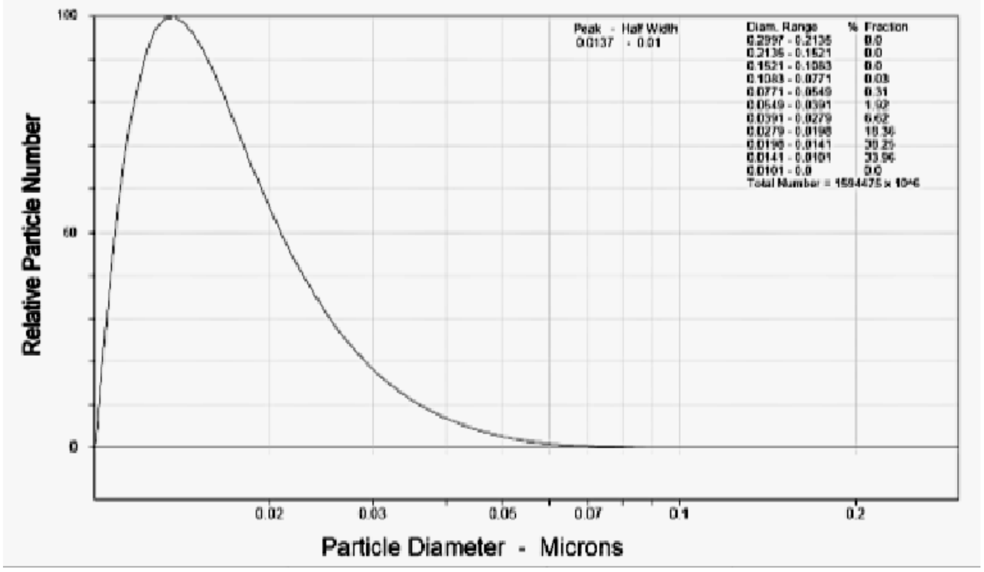


Рис.2. Результат седиментационного анализа образца, полученного при $[AgNO_3]/[NaBH_4] = 1/20$ ($C_M = 0{,}001$ моль/л) в водной среде спустя месяц после синтеза. Объемная доля эмульгатора 3646/51 0,1 %

2.2. Боргидридный метод в этаноле

Для боргидридного метода синтеза, в котором в качестве растворителя выступает этиловый спирт, в качестве стабилизатора применялась пальмитиновая кислота (концентрация в реакционной смеси $C_M = 0{,}0003$ моль/л).

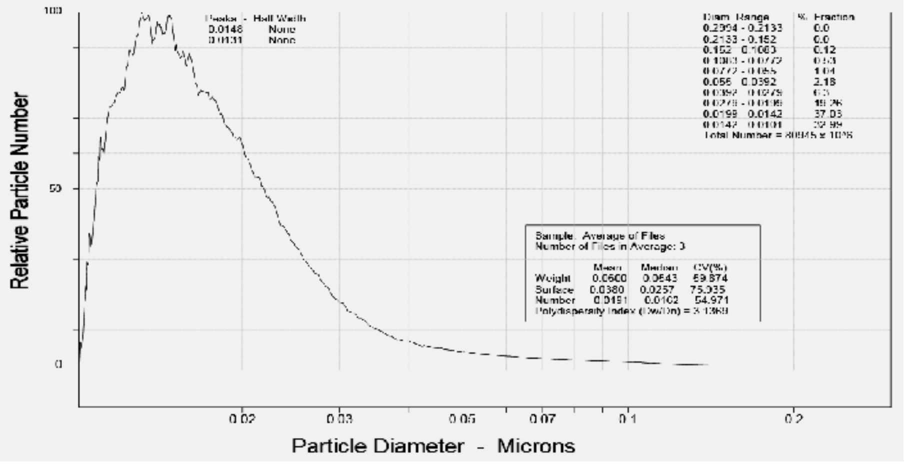


Рис.3. Результат седиментационного анализа образца, полученного при $[AgNO_3]/[NaBH_4] = 1/20$ ($C_M = 0{,}001$ моль/л) в среде этанола. Концентрация пальмитиновой кислоты в реакционной смеси $C_M = 0{,}0003$ моль/л

В опыте, проделанном при концентрациях исходных растворов C_M = 0,001 моль/л и их соотношении $[AgNO_3]/[NaBH_4]$ = 1/20, синтезированные частицы имели следующее распределение (см. рис. 3). Получились достаточно мелкие частицы, как и в предыдущем случае, но стабильности такой коллоид не проявил. Это подтверждается седиментационным анализом, проделанным спустя два месяца после получения (рис. 4): средний размер НЧ увеличился примерно в 5 раз.

По-видимому, эта модификация боргидридного метода не является оптимальной для достижения основных целей исследовательской работы.

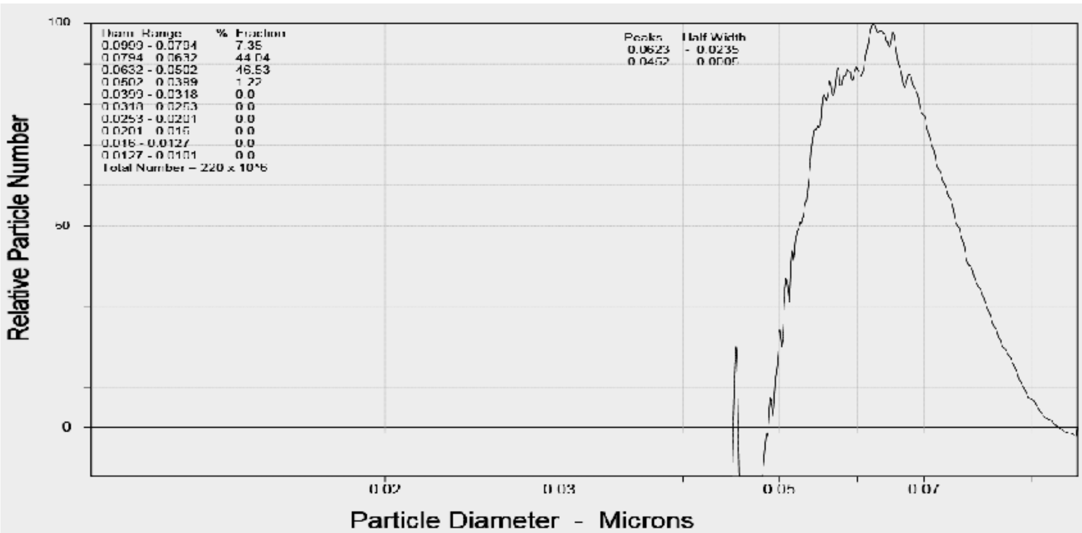


Рис.4. Результат седиментационного анализа образца, полученного при $[AgNO_3]/[NaBH_4]$ = 1/20 (C_M = 0,001 моль/л) в среде этанола спустя два месяца после синтеза. Концентрация пальмитиновой кислоты в реакционной смеси C_M = 0,0003 моль/л

2.3.Боргидридный метод в N, N-диметилформамиде

В таком способе стабилизатором выступал желатин. Отметим, что N, N-диметилформамид также способен восстанавливать соли серебра [8], поэтом концентрация исходных растворов была снижена на порядок (C_M = 0,0001 моль/л) для лучшего контроля над процессом восстановления.

Практически, при соотношении концентраций $[AgNO_3]/[NaBH_4]$ = 1/4 реагентов и массовой доле желатина 0,0001 % получили золь с достаточно узким распределением частиц по размеру, о чем свидетельствует индекс полидисперсности, равный 1,54. Средний размер частиц составил 10 нм.

Модификация боргидридного метода позволила получить стабильные золи, содержащие достаточно мелкие частицы. Такие НЧ в среде N, N-диметилформамида могут выступать в качестве носителей фотохромных молекул спиропирана.

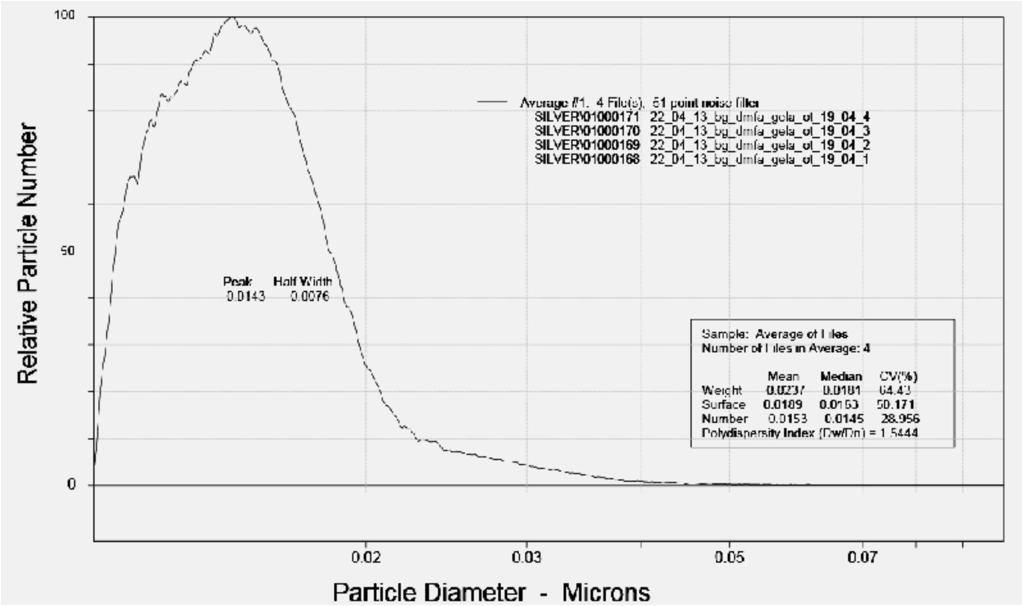


Рис.5. Результат седиментационного анализа образца, полученного при $[AgNO_3]/[NaBH_4] = 1/4$ ($C_M = 0{,}0001$ моль/л) в N, N-диметилформамиде спустя трое суток после синтеза. Массовая доля желатина в реакционной смеси 0,0001 %

Заключение

Экспериментально получен ряд стабильных композиций с достаточно узким распределением частиц по размеру и создан научный задел для синтеза металлоорганических комплексов, в состав которых входят НЧ серебра и молекулы спиропиранов. Разработка позволяет совершенствовать химические носители информации.

Предполагается также осуществить синтез комплексов, в которых НЧ будет служить подложкой для фотохромных молекул. Кроме того, перспективно получение монодисперсных золей из синтезированных образцов ультрацентрифугированием.

Список литературы: 1. Метелица А.В. Спектрокинетика и динамика фотоинициированных процессов в фотохромных спироциклических системах / Дисс. д.х.н. Ростов-на-Дону; НИИ ФОХ ЮФУ, 2012. 428 с. **2.** Кужаров А.С.и др. Методика седиментационнго анализа на центрифуге CPS / Матер. IX Междунар. научно-практ. конф. «Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике». Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2010. **3.** Крутяков Ю.А. и др. Синтез и свойства НЧ серебра: достижения и перспективы // Успехи химии. 2008. Т. 77. №3. С 242-269. **4.** Вегера А.В., Зимон А.Д. Синтез и физикохимимические свойства наночастиц серебра, стабилизированных желатином // Изв. Томск. политех. унив. 2006. Т. 309. № 5. С 60-64. **5.** Шмахов С.Н. Синтез и свойства наночастиц металлов, стабилизированных водорастворимыми полимерами / Дисс. к.х.н. Алматы: Инст. хим. Наук КН МОН РК, 2009. 108 с. **6.** Kuzharov A.S. et al. Photochromism of cation-active spyropyrans on nanosize silver clasters **/** Химия твердого тела: наноматериалы, нанотехнологии – XI международная научная конференция. Ставрополь: СевКавГТУ, 2012. С. 234–236. **7**. Turkevic J., Stevenson P.C., Hiller J. // Discuss. Faradey Soc. 1951. Vol. 11. № 55. **8.** Pastoriza-Santos I., Liz-Marzan L.M. Reduction of silver nanoparticles in DMF. Formation of monolayers and stable colloids // Pure Appl. Chem. 2000. Vol. 72. P. 83–90.

УДК 621.75

COLD PLASTIC DEFORMATION OF THE BEARING RINGS RACEWAY

Pruteanu O.[1], Carausu C.[1], Gramescu T.[1], Nedelcu D.[1]
(1 – UT, Iasi, Romania, Romania)

Abstract: This paper presents comparative results from cold plastic deformation on outer ring raceway of the two types of bearings: 6211 and 6309. The experimentation conditions, the variation diagrams of the shape deviation (circularity) and of the roughness of the raceway of the outer rings depending on deformation force, deformation feed and rotation speed of the roller. After the mathematic modeling of the experimental results, the comparative analysis and the conditions concerning the optimum processing conditions are presented.

Key words**:** plastic deformation, circularity, roughness, mathematic modeling.

1. Introduction

The cold plastic deformation is characterized by high precision in terms of dimension and shape, superior quality of the processed surfaces, roughness and superficial layer, metal economy, increased productivity, etc.

In literature there are works [2, 3] which present the influence of some technological factors on the quality parameters of the processed surface. Paper [1] presents calculation relations established by various researchers depending on the considered criterion: geometry of the tool and of the piece [Maier, Schneider], the roughness of the run surface [Herold], the work parameters [Bokoiavlenscki] etc.

2. Experimental conditions

Experimental research was realized at SC Rulmenţi SA Bârlad in the following conditions:

- material: 100Cr6;
- unfinished goods: warm forged and laminated;
- outer rings for the types of bearings 6211 and 6309;
- machine: CRF-120 OR, with the work parameters presented in table 1;
- tools: specific to the machine and to the type of bearing – mandrel and deformation roller;
- measurement devices: Taylor Hobson Formtalysurf.

Table 1. Work parameters of the machine CRF-120 OR

Parameters	Range	Experimental values
Deformation force, F [daN]	12100 - 17600	12100; 13200; 14300; 15400; 16500; 17600
Feed rate, s [mm/min]	30 – 50	30; 35; 40; 45; 50
Rotation speed of the roller, n [rpm]	85 – 125	85; 90; 95; 100; 110; 120

3. Experimental findings

Experimental research was conducted on the two types of outer rings from bearings 6211 and 6309 by variation of one parameter at the values mentioned in table 1 and the maintaining of the other two parameters constant. The results are presented in table 2.

Table 2. Experimental results

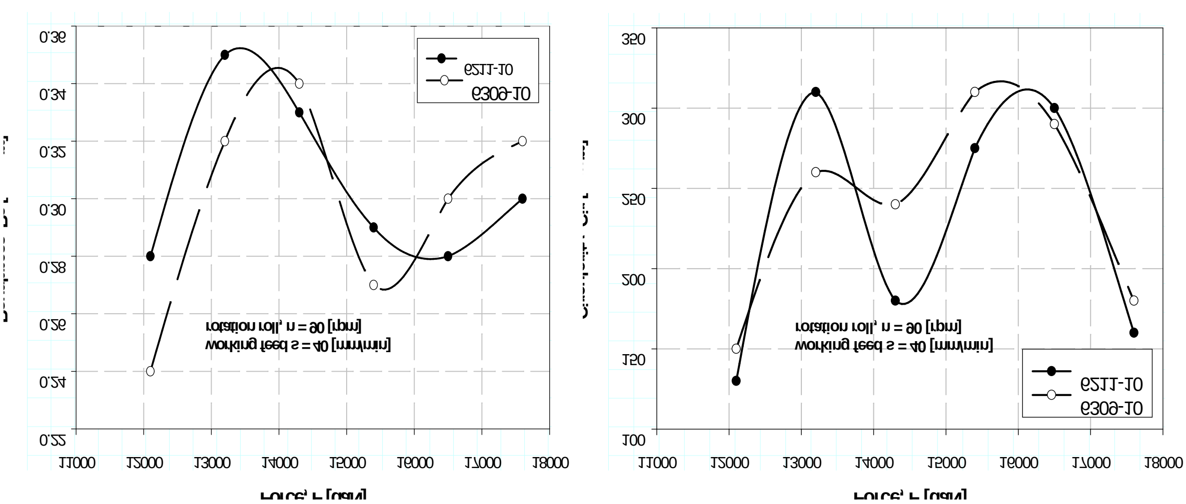
Independent parameter	6211-10		6309-10	
	Circularity µm	Roughness µm	Circularity µm	Roughness µm
Force F [daN]	Variation of the deformation force, F [daN] / **constant** : n = [90 rpm] : s = 40 [mm/min]			
12100	130	0.28	150	0.24
13200	310	0.35	260	0.32
14300	180	0.33	240	0.34
15400	275	0.29	310	0.27
16500	300	0.28	290	0.30
17600	160	0.30	180	0.32
Feed rate s [mm/min]	Variation of the feed rate, s [mm/min] **constant** P= 15400[daN], n= 90 [rpm]			
30	255	0.085	170	0.10
35	195	0.10	185	0.12
40	180	0.15	210	0.22
45	210	0.12	205	0.14
50	220	0.18	200	0.19

The figures 1-2 present the variation of the quality parameters (roughness and circularity) depending on the work parameters (deformation force and feed rate).

4. Mathematical modelling of the experiment results

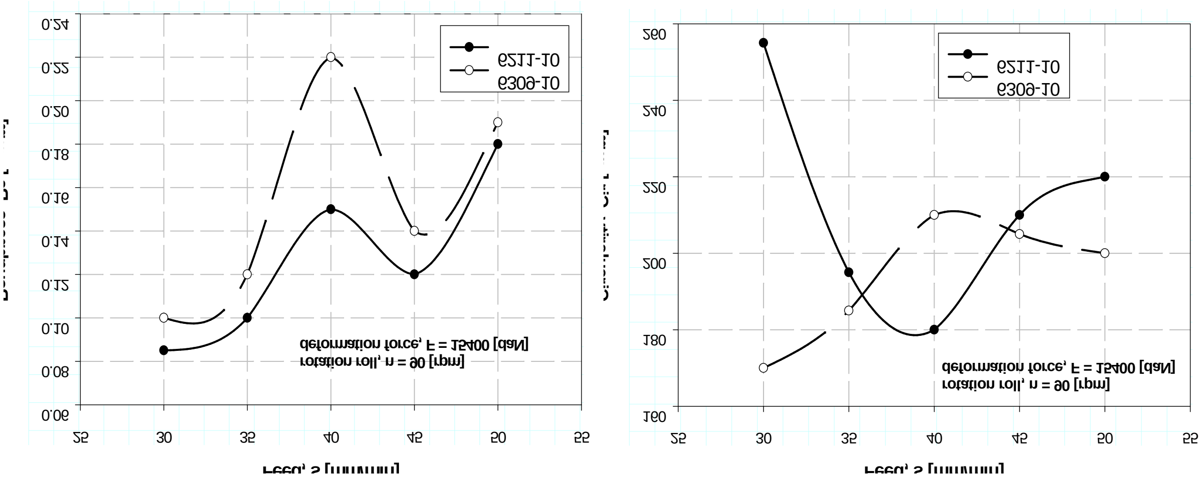
For the deduction of the relations of work parameters influences on quality parameters, the Table Curve 2D v5.01 is used.

The correlation coefficient R2 was deducted, the estimated error, the significance test F was applied, and through comparison the most appropriate model was established for the experiment data [4].



a. b.

Fig. 1. Variation of the roughness (a) and circularity (b) with the deformation force, F



a. b.

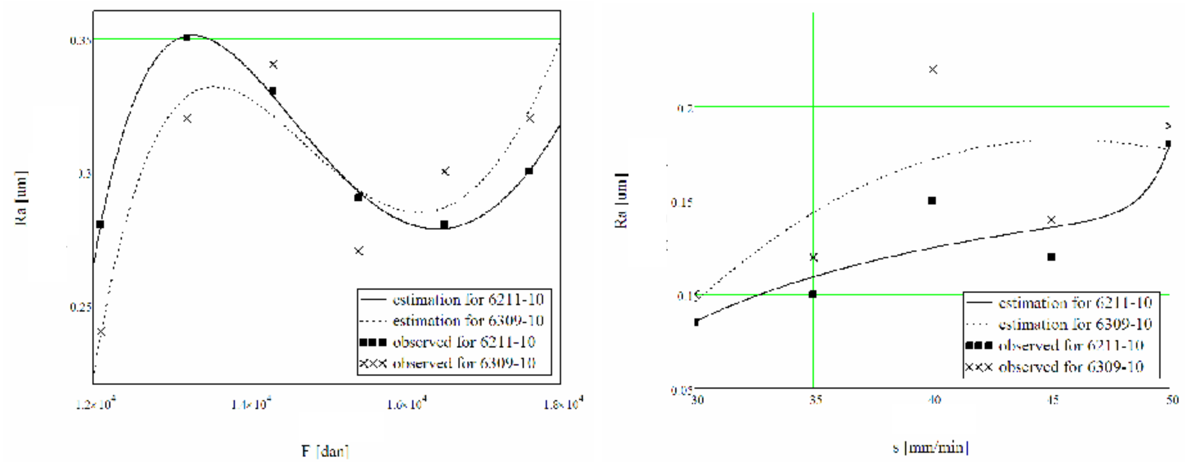
Fig. 2. Variation of the roughness (a) and circularity (b) with the feed, s

The mathematic expression of the models which best describe the factor influences – deformation force and feed rate - on roughness and circularity are presented in table 3.

The graphical representation of these functions and the experimental values are presented in figures 3-4.

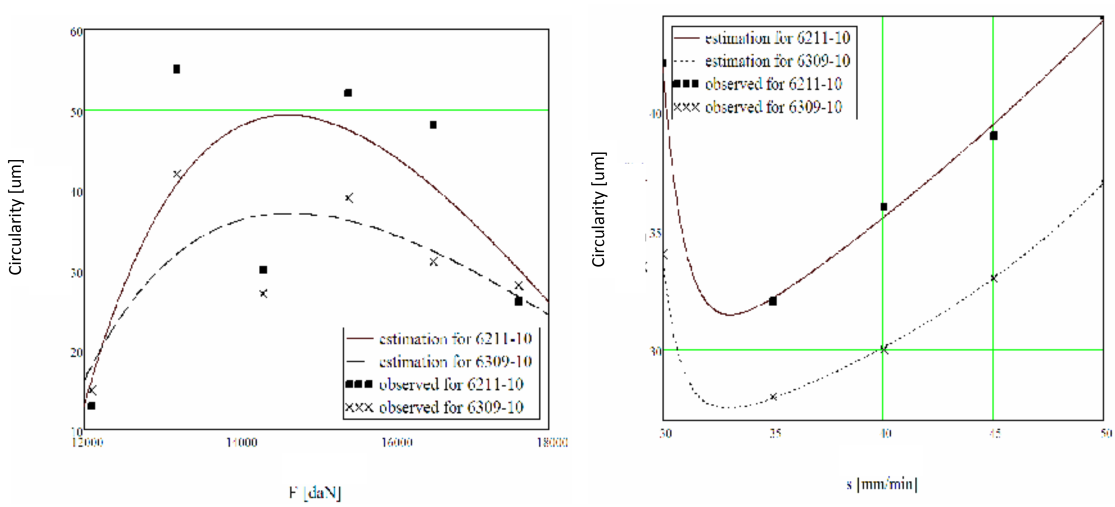
Table 3. The mathematic expression of the models which describe the factor influences on roughness and circularity

Parameter	Factor	Ring	Mathematical expression	R^2	Significance test F
Rougness, Ra	Force, F	6211-10	$Ra = a + \frac{b}{F} + c\cdot\frac{\ln F}{F^2} + \frac{d}{F^2}$, with: a = 22.656; b = -1336876.8; c = 9.8856e+9; d = -8.003e+10	0.997	239.69
		6309-10	$Ra = a + b\cdot\ln F + c\cdot\frac{\ln F}{F} + \frac{d}{F}$, with: a = -1187.08; b = 102.29; c = 1516398.7; d = -11524812	0.832	3.3
	Feed, s	6211-10	$Ra = a + b\cdot e^{s} + \frac{c}{s^2}$, with: a = 0.1752; b = 7.1357e-24; c = -80.72	0.835	5.078
		6309-10	$Ra = a + \frac{b}{\ln s} + c\cdot\frac{\ln s}{s}$, with: a = -24.908; b = 148.51; c = -164.58	0.514	1.058
Circularity, Cir	Force, F	6211-10	$Cir = a + b\cdot F^2 + c\cdot F^4$, with a = -623.85; b = 7.777e-6; c = 1.674e-14	0.835	5.079
		6309-10	$Cir = a + b\cdot F^2 + c\cdot F^4$, with a = -739.46; b = 8.888e-6; c = 1.901e-14	0.514	1.06
	Feed, s	6211-10	$Cir = a + b\cdot s^2 + c\cdot s^4$, with a = 582.204; b = -1177014; c = 3708704.6	0.835	5.079
		6309-10	$Cir = \frac{1}{a + \frac{b}{\ln s} + c\cdot\frac{\ln s}{s}}$, with: a = 0.4744; b = -2.77; c = 3.055	0.514	1.058



a. b.

Fig. 3. Estimated influences of deformation force (a) and feed rates (b) on roughness, Ra



a. b.

Fig. 4. Estimated influences of deformation force (a.), feed rates (b.) on circularity

5. Conclusions

Following the graphic representation of the values of the quality parameters depending on the work parameters of the machine to be processed by cold plastic deformation, one can reach the following conclusions:

- the increase of the deformation force, there occurs an increase on the roughness for both types of bearings, fig. 1-a, with smaller values being registered at the 6309-10 type as a result of a bigger contact surface between the race and the roller;

- the shape, circularity deviations, fig. 1-b, generally increase by the increase of the deformation force up to the force of 16500 [daN] with one exception at the force of 14300 [daN], after which one may notice a relatively small increase of deviations. The cause of this variation can be explained by the vibrations and self-vibrations in the technological system;

- feed rate, the roughness of the processed surfaces also increases, fig. 2-a, with a bigger influence on the ring 6309-10, as well as on shape deviations, fig. 2-b, with a reduction around the value of 35-40 mm/min. This tendency can be explained via the bigger sizes of the contact surface between the unfinished goods and the roller.

5. References

1. Octavian Lupescu – *Netezirea suprafeţelor prin deformare plastică* – Ed. TehnicaInfo, Chişinău, Rep. Moldova, 1999, ISBN: 9975-910-67-X,

2. Octavian Pruteanu, Constantin Cărăuşu, Lucian Tăbăcaru, Traian Grămescu – Influence of deformation feed on the roughness and shape precision of cold worked surfaces - *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, vol I, nr.I/2009, pg. 67-71, Ed. Politehnium Iaşi,

3. Petre Leonte, Constantin Cărăuşu, Octavian Pruteanu, Lucian Tăbăcaru – The influence of technological factors upon the form accuracy surfaces of the cold plastic deformation bearing rings - *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, vol II, nr.I/2010, pg. 37-42, Ed. Politehnium Iaşi.

4. Levin, R. & Rubin, D. (1998) - *Statistics for management.* Seventh edition. Ed. Pearson Education. ISBN 81-7808-741-3.

УДК 621.825

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ МУФТ

Польченко В.В., Бондарев В.А. *(каф. ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

.

Теория и инженерная практика повышения износостойкости и надежности работы трущихся деталей располагает большим количеством важных качественных зависимостей, результатов экспериментальных исследований и наблюдений, использование которых позволяет существенно повысить сроки службы машин.

Рассмотрим возможности повышения долговечности деталей машин на примере зубчатых муфт.

Неисправности агрегатов и машин зачастую связаны с нарушением работоспособности зубчатых муфт. При этом большинство отказов связано с износом зубьев зубчатых муфт, их поломкой или увеличением выше допустимого предела вибраций машины, вызванных увеличенными зазорами в зацеплении муфты.

Важнейшим в вопросе повышения долговечности зубчатых муфт является установление видов разрушения зубьев. Для этого по специально разработанной методике исследовалось состояние поверхностного слоя зубьев муфты после изготовления и эксплуатации в производственных и лабораторных условиях при различных режимах работы муфт. По изменениям характера и величины шероховатости, волнистости поверхности, механических и физических свойств трущейся поверхности, внешнему виду поверхности делался вывод о виде износа, разрушения поверхностей зубьев.

На основании исследований видов разрушения и условий их возникновения разработана классификация основных видов износа зубьев зубчатых муфт, которая на стадии проектирования, после установления основных параметров эксплуатации определяет ведущий вид износа и предусматривает мероприятия по его минимизации [1].

Долговечность зубчатой муфты будет зависеть от износа зубьев. Для зубчатых муфт удобнее пользоваться линейной интенсивностью, представляющей собой толщину слоя изношенного материала зуба h на единицу пути трения L. Для случая пластического контакта И.В. Крагельским получена зависимость для линейной интенсивности на основе молекулярно-механической теории трения [2].

Однако к зубчатым муфтам непосредственно применить указанную зависимость не представляется возможным, потому что она выведена для условий однонаправленного трения скольжения, при котором интенсивность износа ниже, чем при возвратно-поступательном скольжении, что имеет место в зубчатых муфтах.

Учитывая переменность нагрузки на зубьях муфты в пределах контактной зоны и возвратно-поступательное скольжение, линейный износ зуба за один оборот муфты можно определить по зависимости [2], преобразованной к виду

$$h = 2\frac{K_и}{HB^{\gamma}}\int_{o}^{\varphi_k} P_{ai}^{\varphi}(\varphi_i)L_i(\varphi_i)d\varphi_i,$$

где P_{ai} – давление, зависящее от угла положения зуба; HB – твердость материала зуба; K_u – экспериментальный коэффициент, учитывающий микрогеометрию контактирующих тел, условия смазки, напряженное состояние материала; γ - показатель степени зависимости износа от давления и твердости зубьев; φ_k - угол зоны контакта зубьев; φ_i – угол положения зуба.

В результате анализа распределения нагрузки между зубьями установлено, что давление на зубьях в значительной мере зависит от деформаций изгиба, контактного сжатия и перемещения, обусловленного упругой деформацией прилегающей к зубу части обода [3].

На составляющие суммарного перемещения, обусловленные деформациями изгиба и контактного сжатия воздействовать, в смысле их увеличения, не представляется возможным без снижения изгибной и контактной прочности зубьев. Перемещениями, вызванными упругой деформацией прилегающей к зубу части обода можно управлять оптимальной конструкцией ступицы, снижая при этом давление на зубьях и повышая долговечность муфты.

Эксперимент по исследованию распределения нагрузки между зубьями муфты, имеющих различную конфигурацию показал, что изменением жесткости обода можно увеличить число зубьев, передающих нагрузку на 40%, без снижения изгибной прочности.

Благоприятное распределение нагрузки между зубьями муфты, может быть достигнуто также уменьшением ширины зуба втулки и увеличением расстояния между зубчатыми венцами втулок. При этом необходимо учитывать другие факторы, ограничивающие размеры названных параметров. В частности, увеличение расстояния между зубчатыми венцами втулок приводит к увеличению габаритов муфты, хотя при этом возрастает компенсирующая способность муфты.

В процессах изнашивания важную роль играют состояние и свойства тонкого поверхностного слоя деталей машин, от которых зависит характер образования и разрушения вторичных структур. Поверхностный слой формируется при окончательной обработке деталей машин. В настоящее время в машиностроении применяется большое число способов формирования поверхностного слоя деталей. К основным методам, обеспечивающим повышение надежности и долговечности деталей машин, относятся: упрочнение пластическим деформированием, термообработка, наплавка и напыление износостойкого материала на рабочие поверхности деталей, электролитические и химические покрытия, электроискровое упрочнение, покрытие полимерными материалами и т.п. Эти методы дают возможность получать поверхностные слои с нужными эксплуатационными свойствами.

Из перечисленных методов наиболее технологичным для зубьев зубчатых муфт может быть дробеструйный наклёп.

Эксперимент по исследованию влияния режимов обработки на состояние поверхностного слоя были проведены на образцах зубчатых муфт, изготовленных из стали 45. Дробеструйный наклёп повышает твердость поверхностного слоя зубьев на 20…30%. Изменением времени дробеструйной обработки можно управлять шероховатостью обрабатываемой поверхности и достигать Ra 3,2…6,3 мкм. Исходная шероховатость при этом на окончательную не влияет.

Упрочнение поверхностного слоя зубьев муфты дробеструйным наклепом способствует повышению износостойкости рабочих поверхностей, главным образом за счет наклепа. Повышение твердости, прочности и активизации поверхностного слоя при наклепе способствует установление динамического равновесия разрушения и восстановления вторичных структур. А это оказывает существенное влияние на расширение диапазона нагрузок, при которых происходит нормальный окислительный износ. На образцах зубчатых втулок, предварительно обработанных дробью, при трении в среде смазки индустриальное 30, даже при высоких давлениях (до 890 Мпа) не развивается схватывание I рода и стабильно сохраняется нормальный окислительный износ.

Одним из основных эксплуатационных методов повышения долговечности зубчатых муфт является применение смазочных материалов по физическим и химическим свойствам соответствующих условиям работы зубчатых муфт. Параметры трения между зубьями муфты не обеспечивают создания устойчивого масляного клина. Поэтому для снижения износа в процессе трения должны непрерывно создаваться разделительные вторичные структуры, экранирующие непосредственное взаимодействие твердых тел.

Максимальный эффект функционального назначения смазочной среды достигается при применении масел с присадками. При этом возникает возможность управления процессами трения износа, создание устойчивого протекания процессов.

Проведенные эксперименты показали, что присутствие ПАВ в смазочной среде снижает износ зубьев. Хорошие противоизносные свойства показали присадки с серой. Серные присадки создают на трущихся поверхностях металлов пленки сульфидов, для которых характерна высокая твердость, прочность и температура плавления. Сульфиды образуются при температуре порядка 200°С, поэтому противозадирный эффект этих присадок может проявляться только при высоких температурах. Так как температура в зоне трения зубьев не повышается выше 150°С, то полностью противозадирные свойства серных присадок не проявляются.

Самые хорошие противозадирные и противоизносные свойства показали присадки с хлором. Хлорные присадки образуют на трущихся поверхностях металлов пленки хлоридов. Они также образуются при высоких температурах, но ниже чем сульфиды, а именно при температуре примерно 150°С, что соответствует температуре на площадке контакта зубьев. Пленки хлоридов железа характеризуются пластинчатой структурой, что обеспечивает малое сопротивление сдвига и низкий коэффициент трения.

Список литературы:1. Польченко В.В., Михайлов А.Н. Износ в зубчатых муфтах. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 1997. Вып. – с. 131-135. **2.** Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. **3.** Польченко В.В., Соловей А.В. Распределение нагрузки между зубьями зубчатой муфты. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 1998. Вып. 5 – с. 177-181.