

Міністерство освіти і науки України  
Херсонський національний технічний університет  
Факультет машинобудування ХНТУ  
Національний технічний університет України «КПІ»  
Донбаська державна машинобудівна академія  
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова  
Херсонська державна морська академія  
Одеський національний політехнічний університет  
Житомирський державний технологічний університет  
Кіровоградський національний технічний університет  
Луцький національний технічний університет  
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя  
Чернігівський національний технологічний університет  
АН Вищої освіти України

**Матеріали**  
**Всеукраїнської науково – практичної конференції**  
**"Сучасні технології промислового комплексу"**



**ОФІЦІЙНІ ПАРТНЕРИ І СПОНСОРИ:**



**Херсон - 2015 р.**

Матеріали Всеукраїнської науково – практичної конференції "Сучасні технології промислового комплексу", випуск 2. – Херсон: ХНТУ (факультет машинобудування), 2015. – 162 с.

В матеріалах конференції викладені результати досліджень, конструювання, розрахунку, удосконалення і створення нової техніки та машин. Розглянуті проблеми в галузях: технології машинобудування, обробки матеріалів тиском, технології нанесення та обробки покриттів, виробництві нових матеріалів, зміцнення та відновлення деталей машин, системного аналізу та математичного моделювання складних об'єктів, проблем надійності та енергозбереження, захисту довкілля, екологічної безпеки, ресурсозберігаючих технологій.

Викладені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень і дослідно-конструкторських розробок в машинобудуванні.

Даний збірник є виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень провідних вчених України, викладачів, аспірантів та студентів ВНЗ.

Збірник розрахований на наукових і інженерно-технічних робітників ВНЗ, конструкторських організацій і промислових підприємств.

Відповідальний за випуск: Розов Ю.Г., д.т.н., професор.  
Комп'ютерне макетування: Костерний О.С.

Редакційна колегія : Розов Ю.Г., Савіна Г.Г., Селіверстов І.А., Дмитрієв Д.О., Аппазов Е.С., Русанов С.А., Лобов О.О., Ключев О.І, Грубнік О.В., Мешков Ю.Є., Подольский М.І., Бергер Є.Е., Ткач В.О.

Адрес редакційної колегії: 73008. м. Херсон, Бериславське шосе, 24, Херсонський національний технічний університет, корп. № 3, ауд. № 223.

**ISBN 978 – 966 – 2207 – 39 – 2**

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації.

## РАСЧЕТ ОСЕВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ НА ОПРАВКЕ ПРИ ОБЖАТИИ С ПРОТАЛКИВАНИЕМ

Розов Ю.Г.

Херсонский национальный технический университет

Толстостенные трубчатые изделия с прецизионными элементами внутреннего профиля (6...8 квалитет, при шероховатости 0.16...0.64 мм) достаточно широко применяются в машиностроении, приборостроении и изделиях специального назначения.

Получение фасонных отверстий в указанных изделиях методами, основанными на пластической деформации металлов, достигается, как правило, при использовании внутреннего копира – оправки, форма и размеры наружной поверхности которой, идентичны форме и размерам внутренней поверхности канала заготовки. При этом возможны две схемы деформирования: радиальное обжатие (применяется при радиальной ковке волочении, прессовании, обжатии роликами); продавливание дорна вдоль канала заготовки (дорнование). С нашей точки зрения, первая схема более предпочтительна, т.к. при ее использовании нет остаточных напряжений, резко снижающих точность окончательных формы и размеров изделия.

В этой связи, заслуживают внимания новые процессы изготовления трубчатых изделий с профилированной внутренней поверхностью методами холодной пластической деформации, основанные на радиальном обжатии заготовки на профильной оправке, например, в гладкой конической матрице или роликовой волоке [1,2].

Обжатие может осуществляться по двум схемам: методом проталкивания (прессование) и с помощью тянущего усилия, т.е. методом волочения. Процесс проталкивания имеет то преимущество, что отпадает необходимость в подготовке переднего конца оправки под захватное устройство для волочения. А недостаток заключается в том, что при длине трубчатой заготовки, превышающей некоторое критическое значение, возможна потеря устойчивости заготовки вместе с оправкой. Поэтому возможность применения указанного метода требует предварительного расчёта на продольный изгиб составного стержня "заготовка-оправка".

В современной научной литературе много внимания уделено расчётам на продольную устойчивость различных нагруженных стержней. Однако расчёты на устойчивость составных брусев, например, цилиндрической толстостенной оболочки с внутренним стержнем, отсутствуют.

Рассмотрена продольная устойчивость при осевом сжатии составного бруса, состоящего из цилиндрического стержня (оправки), вставленного внутрь цилиндрической трубы (заготовки), в области упругих и пластических деформаций для различных схем деформирования [3].

Рассматривая продольно-поперечный изгиб составного стержня «заготовка-оправка», получена формула для определения силы  $P_{\Sigma}^{kp}$ , при которой происходит потеря продольной устойчивости бруса, состоящего из цилиндрического стержня, вставленного внутрь цилиндрической трубы, в области упругих деформаций:

$$P_{\Sigma}^{kp} = \frac{\pi^3 E}{64(v,l)^2} \left[ D^4 - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{пл}(1)}}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}} (D^4 - d^4) \right], \quad (1)$$

где:  $E$  – модуль Юнга (принимаем  $E_1 = E_2 = E$ , т.е. материал заготовки и оправки – сталь);

$$\sigma_{\text{пл}}^{cp} = \frac{d^2}{D^2} (\sigma_{\text{пл}(1)} - \sigma_{\text{пл}(2)}) + \sigma_{\text{пл}(2)},$$

$\sigma_{\text{пл}(1)}; \sigma_{\text{пл}(2)}$  – пределы пропорциональности материалов внутреннего стержня и наружной трубы, соответственно;

$l$  - длина составного стержня;

$\nu_l$  - коэффициент приведения длины стержней;

$d$  - диаметр оправки (внутренний диаметр трубчатой заготовки);

$D$  - наружный диаметр трубчатой заготовки

Полученная формула отвечает граничным условиям (при  $d=0$ ;  $d=D$  совпадает с формулой Эйлера для определения критической силы для сплошного бруса).

Величину предельной гибкости предлагается определять по формуле:

$$\lambda_{пред} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}}}, \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{пл}}^{cp} = \frac{\sigma_{\text{пл}(1)} F_1 + \sigma_{\text{пл}(2)} F_2}{F} = \frac{d^2}{D^2} (\sigma_{\text{пл}(1)} - \sigma_{\text{пл}(2)}) + \sigma_{\text{пл}(2)},$$

Выражение (1) позволяет вывести формулу для определения гибкости составного бруса. Учитывая аналогию со стержнем сплошного сечения диаметром  $D$ , запишем выражение для определения радиуса инерции сечения составного бруса:

$$i = \frac{D}{4} \sqrt{1 - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{пл}(1)}}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)}.$$

Тогда гибкость составного бруса может быть определена по формуле:

$$\lambda = \frac{4\nu_l l}{D \sqrt{1 - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{пл}(1)}}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)}}. \quad (3)$$

Формула (3) позволяет определить гибкость бруса, состоящего из цилиндрического стержня, вставленного внутрь цилиндрической трубы, например, с целью сравнения с предельной гибкостью.

По аналогии определена величина критической силы при напряжениях, превышающих предел пропорциональности, т.е. когда в стержнях возникают пластические деформации (гибкость составного бруса меньше предельной), т.е. в области пластических деформаций:

$$P_{\Sigma(n)}^{кр} = \frac{\pi^2 E}{4(\nu_l l)^2} \left[ D^4 - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{пл}(1)}}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}} (D^4 - d^4) \right] \frac{\left[ \frac{D^2}{16} (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha) - e^2 (\alpha - \sin \alpha) \right]}{D(D - 2e)}, \quad (4)$$

где:  $e = \frac{1}{2} \left[ D - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{пл}(1)}}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}} \left( D - d \frac{d^3}{D^3} \right) \right]$ ;  $\alpha = 2 \arccos \left[ 1 - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{пл}(1)}}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}} \left( 1 - \frac{d^4}{D^4} \right) \right]$ ;  $\alpha^0 = \pi \frac{\alpha^0}{180^0}$ .

Построены предельные кривые, выражающие граничные значения осевого усилия деформирования  $P$  и длины трубчатой заготовки на оправке  $l$  для сталей 30ХН2МФА (рис. 1), 50РА и 30ХРА (аналогичные графики, выражающие общую тенденцию), для соотношений диаметра оправки (внутреннего диаметра заготовки) к наружному диаметру заготовки: 1 –  $d/D = 0,5$  ( $d = 9$  мм;  $D = 18$  мм); 2 –  $d/D = 0,6$  ( $d = 9$  мм;  $D = 15$  мм); 3 –  $d/D = 0,75$  ( $d = 9$  мм;  $D = 12$  мм).

Алгоритм построения и практического использования семейства предельных кривых заключается в следующем.

1. Исходя из материалов и размеров поперечных сечений оправки (диаметра) и заготовки (внутреннего и наружного диаметров), по формуле (2) определяем величину предельной гибкости  $\lambda_{пред}$  составного стержня «заготовка-оправка».

2. По формуле (3) определяем величины гибкости  $\lambda$  составного стержня «заготовка-оправка» для различных длин (например,  $l_i = 100$  мм, 120 мм, 140 мм ...) и сравниваем с

предельной гибкостью  $\lambda_{пред}$ . Для определения величины осевой критической силы, при выполнении неравенства  $\lambda \leq \lambda_{пред}$ , используем формулу (1), при выполнении неравенства  $\lambda > \lambda_{пред}$ , используем формулу (4).

3. По найденным значениям точек  $(l_i, P_i)$  строим предельные кривые для различных соотношений диаметра оправки (внутреннего диаметра заготовки) к наружному диаметру заготовки  $d/D$ .

4. При проектировании процессов деформирования трубчатой заготовки на оправке, при величинах осевого усилия меньше критических значений (на графиках – ниже соответствующей кривой) рекомендуемая схема – прессование (проталкивание). При величинах осевого усилия больше критических значений (на графиках – выше соответствующей кривой) рекомендуемая схема – волочение.

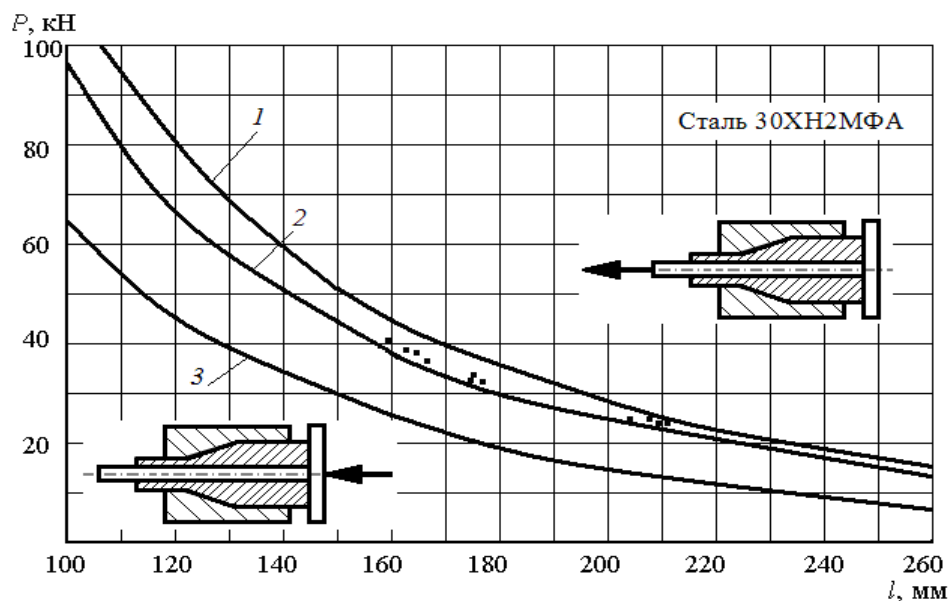


Рисунок 1 - Экспериментальные точки (для  $d/D = 0,6$ ) и кривые, выражающие зависимость предельной длины трубчатой заготовки (сталь 30XN2MFA) на оправке (сталь Х12М) от осевого усилия деформирования при обжатии проталкиванием

Предельные кривые позволяют определить границы использования радиального обжатия трубчатой заготовки на оправке по схеме прессования (методом проталкивания) при условии потери продольной (осевой) устойчивости в процессе деформации для рассмотренных размеров и материалов заготовки и инструмента (оправки). Подобные кривые могут быть построены для разных материалов и размеров трубчатой заготовки и оправки с использованием полученных в работе формул (2), (3), (4). При проектировании процессов деформации трубчатой заготовки на оправке, при величинах осевого усилия меньше критических значений (на графике – ниже соответствующей кривой) рекомендуемая схема – прессование. При величинах осевого усилия больше критических значений (на графике – выше соответствующей кривой) рекомендуемая схема – волочение.

Результаты анализа, проведенные расчёты и натурные эксперименты подтвердили тот факт, что при обжатии в конической матрице и неприводными роликами с проталкиванием, при длине заготовки, превышающей некоторое критическое значение, возможна потеря продольной устойчивости трубчатой заготовки вместе с оправкой в области, как упругих, так и пластических деформаций. При этом с ростом отношения диаметра оправки (внутреннего диаметра заготовки) к наружному диаметру толстостенной заготовки  $d/D$  (при  $d/D \leq 0,8$  и постоянстве остальных параметров), величина критической силы уменьшается с нарастающей интенсивностью (рис. 2), т.е. вероятность потери продольной устойчивости возрастает.

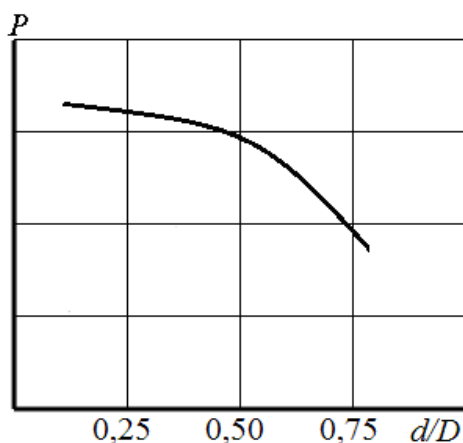


Рисунок 2 - Залежність величини критичної сили від відношення діаметра оправки (внутреннього діаметра заготовки) до зовнішньому діаметру заготовки  $d/D$  (тенденційний графік)

Найбільш сприятливим, з точки зору запобігання втраті осової (продольної) стійкості, може бути прийнято обжаття в роликівій волоке і в конічеській матрицьі по схемі волочєнія.

### ВВВВВВВВ

1. Вперше отримані формули для визначєнія радіуса інерцьії, гібкості складного бруса і критичеської сили, при котрій відбувається втрата продольної стійкості бруса, складного з циліндрічеського стержня, вставленого внутрь циліндрічеської труби в області упругих і пластичеських деформаций для різних схем деформирования.

2. Побудовані предельні криві в координатах «осовєє усилие деформирования – дліна заготовки на оправкє», дозволяють визначити границі застосування схем прєссования і волочєнія, при проектуванні процесів деформирования трубчатих заготовок на оправкє в операцїях холодної ОМД.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Розов Ю. Г. Конєчно-єлемєнтная модель волочєнія трубчатой заготовки на профільній оправкє в конічеській матрицьі / Ю. Г. Розов // Вєстник Магнітогорського державного технічеського універсьїтєта ім. Г. І. Носова. – Магнітогорськ, Россьїя, 2013. – № 3. – С. 47–50.

2. Розов Ю. Г. Технологія виготовлення прецьїзійних трубчатих изделий методом обжатія на профільній оправкє прокаткєй-волочєнієм неприводними роликємі / Ю. Г. Розов // Свременнє технології обробкє матеріалів давлєнієм: моделірование, проектувание, производство : сб. науч. тр. – № 1 (44) – Москва : Московський державний машиностроїтельний універсьїтет (МАМІ), 2013. – С. 24–29.

3. Розов Ю. Г. Втрата продольної стійкості трубчатой заготовки на оправкє при прєссования / Ю. Г. Розов // Прогресивні техніка, технологія та інженерна освіта : сб. труд. учасників XIV Міждународної науко-практичеської конференцьї, посвяцьїєної 115-лєтїю механіко-машиностроїтельного інсьїтута НТУУ «КПІ», 25–28 іуня 2013 г., Київ–Сєвастополь, Україна. – С. 60–62.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БОКОВОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ОТРОСТКА В РАЗЪЕМНЫХ МАТРИЦАХ**

Алиев И.С., Абхари П.Б., Ерёмина А.А.

Донбасская государственная машиностроительная академия

Процессы бокового выдавливания являются сложными по технологическим параметрам, что вызывает необходимость проведения комплексных исследований причин и устранению дефектообразования. Холодное боковое выдавливание позволяет получить штамповкой детали сложных пространственных конфигураций с разными боковыми отростками. При штамповке выдавливанием достигается максимальное приближение формы, размеров и качества поверхностей исходной заготовки к соответствующим параметрам готовой детали.

Для моделирования процесса использовался программный комплекс DeForm 3D, в основе которого лежит метод конечных элементов. С помощью данной программы был изучен процесс бокового выдавливания детали с различным углом наклона отростка. Были определены интенсивность напряжений, энергосиловые параметры на различных стадиях процесса, а также поэтапного формоизменения заготовки. Представлены схемы бокового выдавливания отролков в разъемных матрицах, при различном смещении осей отролков относительно центра поковки. Для этого были взяты отролки под углом наклона 90, 45 и 135. Моделирование проводилось с использованием алюминиевого сплава АД1.

Распределения интенсивности напряжений показывает, что при выдавливании с максимальные значения сосредоточены в центральной части заготовки, на кромке перехода детали в отросток, а также вдоль оси выдавливаемого отростка. Минимальное значение находится в пределах 80 МПа, а максимальное достигает значения 236 МПа при ходе пуансона 12 мм.

Моделирование выдавливания под углом наклона отростка показывает, что максимальные значения интенсивности напряжений появляются уже при ходе пуансона равном 8 мм и равняются 236 МПа. Минимальное значение равняется 90 МПа.

Выдавливание бокового отростка под углом показывает минимальное значение на кромке перехода металла в отросток достигает 110 МПа с ходом пуансона в 6 мм, а максимальное значение при ходе пуансона в 12 мм – 220 МПа. Моделирование показывает образование повреждения на начальном этапе выдавливания. Наличие повреждений в дальнейшем может привести к появлению зажимов на поверхности отростка.

Наиболее благоприятной с точки зрения равномерности напряжений, является схема выдавливания под углом  $\alpha = 315^\circ$ . Это снижает вероятность образования трещин и позволяет прогнозировать более высокие эксплуатационные характеристики детали. При этом угле выдавливания также отмечалось наименьшее усилие выдавливания. Это связано с более благоприятными условиями течения материала, меньшей жесткостью системы. Для подтверждения полученных результатов было выдавлено ряд экспериментальных образцов с различным углом наклона отростка.

### **ВЫВОДЫ**

Методом конечных элементов исследованы энергосиловые параметры процесса бокового выдавливания отролков на стержне, а также напряженно-деформированного состояния при односторонней подаче с различными углами наклона отростка. Установлено, что максимальная интенсивность напряжений наблюдается в зонах, контактирующих с полостью матрицы. Минимальные значения деформации наблюдаются в стержневой части поковки, вблизи контакта её торцов с инструментом. Выявлено, что наиболее благоприятное формообразование отростка происходит при выдавливании отростка с углом  $\alpha = 315^\circ$ .

## **МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ И СОЗДАНИЮ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ МОТОР-ШПИДЕЛЕЙ**

Шинкаренко В.Ф., Кузнецов Ю.Н.

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

**Введение.** Характерной тенденцией развития науки и техники на современном этапе, является возрастающая сложность создаваемых систем. Под сложными, здесь понимаются такие системы, анализ и синтез которых возможен лишь в рамках междисциплинарного подхода. Создание таких систем требует тесного сотрудничества специалистов разных областей знаний и обуславливает необходимость разработки новых междисциплинарных научных подходов к их исследованию и проектированию. Имеющая место конвергенция научных направлений и технологий сопровождается постепенным стиранием искусственных границ, разделяющих сегодня различные отрасли науки, с образованием интегрированных научных направлений, что способствует фундаментализации дисциплин и открывает возможность горизонтального обмена знаниями и методами исследований. Особенно важным с «прикладной» точки зрения для объединения наук является образование новых научных направлений, на основе синтеза достижений математики, биологии, информационных технологий и когнитивных наук, которые приобретают статус «междисциплинарных» [1].

В последние годы на роль междисциплинарной дисциплины претендует генетика, поскольку предметом ее исследования являются взаимосвязанные процессы исторического прошлого, настоящего и будущего, имеющие место в развивающихся системах различной физической природы. Сегодня генетический подход в науке приобретает ключевую роль в познании фундаментальных принципов структурной организации, управления структурной наследственностью и разнообразием на обобщенном языке генетической информации, не только в биологических системах, но и в системах антропогенного происхождения [2-4].

**Актуальность исследований.** Как известно, идея междисциплинарного подхода к познанию сложных систем различной физической природы не нова, она лежит в основе общей теории систем, задача которой заключается в выявлении структурного сходства законов или других форм знания, полученных в различных дисциплинах и установления на этой основе общих закономерностей функционирования разнородных систем. Накопленные к настоящему времени знания о закономерностях развития сложных систем, в большинстве случаев представляют собой гигантские массивы разрозненной, узко-предметной информации, которые по своему объему и разнообразию заведомо превышают информационные и организационные возможности индивидуального пользователя или исследователя, принимающего решения.

Возникает острая необходимость системного обобщения и упорядочения накопленных знаний с последующим переходом от узкопрофильных исследований и наблюдаемой эволюции, к стратегии управляемой эволюции с использованием технологии генетического предвидения и междисциплинарного обмена знаниями.

Результаты структурно-системных исследований, полученные в последнее время в области структурной и генетической электромеханики, позволили выделить особый класс генетически организованных систем, имеющих не только биологическое, но и антропогенное происхождение. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что структурная организация и развитие таких систем осуществляется в соответствии с системными принципами наследственности, которые реализуются в соответствии с их генетическими программами [5-8]. Постановка системных задач по определению и расшифровке генетических программ относится к категории междисциплинарных задач, а их решение возможно лишь при условии наличия концептуальных моделей знаний высокого уровня обобщения, методологическую основу которых составляют методы генетического



анализа и синтеза[8]. Поэтому развитие исследований в данном направлении открывает возможность постановки и решения принципиально новых междисциплинарных задач, включая задачи структурного предвидения и инновационного синтеза новых классов совмещенных электромеханических систем (ЭМ-систем) по заданной функции цели.

**Постановка задачи.** В данной работе выдвигается гипотеза о существовании генетического родства электромагнитных и механических структур, обладающих осевой симметрией. На примере электромеханической системы типа мотор-шпиндель (М-Ш), ставится задача построения ее генетической модели и определения генетической программы с использованием общего элементного и информационного базиса, в качестве которого используется предметная область общей порождающей системы - генетической классификации (ГК) первичных источников электромагнитного поля [4]. Наличие периодической порождающей системы генетических кодов является необходимым условием развития объектов с наследственностью. Порождающие системы являются формой представления принципов сохранения и интегрального периодического закона. До последнего времени периодическая структура ГК использовалась только в задачах предвидения, анализа и синтеза электромагнитных структур.

**Результаты исследований.** Использование общего элементного базиса для моделирования устройств типа М-Ш, структурно-совмещающих электромагнитные и механические узлы, требует установления структурно-информационных соответствий между электромагнитными и механическими структурами. В качестве примера в табл. 1 приведена система соответствий между многороторными электрическими машинами и подшипниками качения. Структурные представители указанных классов характеризуются наличием осевой симметрии и твердотельными многоэлементными подвижными частями. Если генетический уровень соответствий инвариантен к физической природе сравниваемых объектов, то соответствия объектного уровня требуют уточнения в зависимости от функционального назначения механической системы (табл. 1).

Таблица 1. Структурно-информационные соответствия между классами электромеханических и механических устройств осесимметричного типа

Многороторная электрическая машина	Подшипник качения
<b>Генетический уровень</b>	
Движущийся электрический заряд (электромагнитный ген)	Материальная точка (механический ген)
Генетическая информация	Генетическая информация
Генетический код	Генетический код
Первичный источник поля (первичная хромосома)	Первичная поверхность (первичная хромосома)
Вторичный источник поля (вторичная хромосома)	Вторичная поверхность (вторичная хромосома)
Ориентированность электромагнитная	Ориентированность приложения силы (механическая)
<b>Объектный уровень</b>	
Внешний статор	Внешнее кольцо (наружная направляющая)
Внутренний статор (индуктор)	Внутреннее кольцо, (внутренняя направляющая)
Ротор	Тело качения (шарик, ролик)
Электромеханическая пара	Механическая пара
Активная поверхность	Поверхность (дорожка, желоб, направляющая) качения (скольжения);
Многороторная электрическая машина	Подшипник качения
Односторонняя активная поверхность	Односторонняя поверхность качения (скольжения)

Двухсторонняя активная поверхность	Двухсторонняя поверхность качения (скольжения)
Составляющие сил	
Вектор действия электромагнитного усилия	Направление действия воспринимаемой нагрузки
Радиальная сила электромагнитная	Радиальная сила механическая
Аксиальная сила электромагнитная	Осевая сила механическая

Наличие указанных соответствий означает, что составляющие генетической информации в структуре универсального генетического кода будут инвариантны к функциональному назначению, уровню сложности и времени эволюции анализируемых классов технических объектов. Это свидетельствует об общности элементного и информационного базиса на уровне элементов предметной области ГК. В этом случае, свойства объектов, принадлежащих к различным физическим и функциональным классам, будут характеризоваться общностью пространственной геометрии, симметрии и топологии первичных и вторичных частей, обобщаемых понятием генетической информации.

В качестве примера, на рис.1 представлены структуры многороторного конического электродвигателя и радиально-упорного подшипника качения, обладающие общностью генетической информации на хромосомном уровне. С учетом принятых соответствий (табл. 1), генетическую информацию порождающей парной хромосомы можно представить общим генетическим кодом

$$2(KN\ 0.2y)_1:n(KN\ 0.2y)_2 \quad (1)$$

где:  $2(KN\ 0.2y)_1$  – генетический код первичной (родительской) хромосомы;  $n(KN\ 0.2y)_2$  – интегральная генетическая информация вторичной (подвижной) хромосомы.

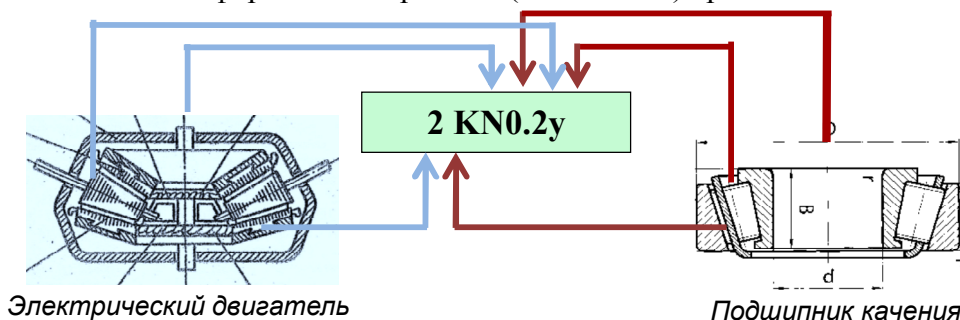


Рис. 1. Общность составляющих генетической информации в осесимметричных электромеханическом и механическом объектах

Общность представления генетической информации электромеханических и механических структур, открывает возможность моделирования и синтеза сложных систем, совмещающих электромагнитные и механические компоненты. В качестве примера рассмотрим задачу синтеза структуры М-Ш вращательного движения.

Целевая функция синтеза  $F_\omega$  определяется следующей совокупностью частных требований:

- обеспечение функции вращения шпинделя ( $\pm\omega$ );
- обеспечение соосности приводного двигателя с шпинделем ( $S_{OX}$ );
- обеспечение динамической жесткости конструкции мотор-шпинделя ( $C_D$ );
- совмещение шпинделя с зажимным патроном ( $Ш_{ЗП}$ );
- реализация модульного принципа конструктивного исполнения ( $M$ ).

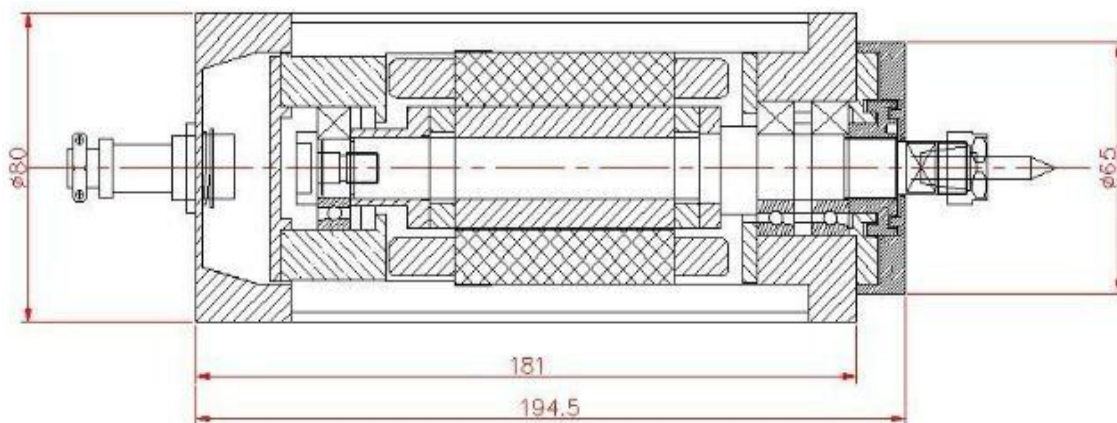


Рис. 2. Конструкция мотор-шпинделя с тремя радиально-упорными шариковыми подшипниками (2 – в передней опоре, 1 – в задней опоре)

С учетом указанных требований, интегральная функция поиска в поисковом пространстве предметной области порождающей системы  $R^n$  приобретает следующий вид:

$$F_\omega = [\pm \omega, S_{OX}; C_D, Ш_{3П}, M] \subset R^n \quad (2)$$

Вариант структуры М-Ш, который соответствует заданной  $F_\omega$ , содержит следующую совокупность основных узлов: шпиндель с зажимным устройством ( $Ш_{3П}$ ); закрепленный в корпусе шпинделя статор двигателя вращения ( $(ЦЛ\ 0.2y)_1$ ); совмещенный с шпинделем ротор приводного двигателя ( $(ЦЛ\ 0.2y)_2$ ) и тришариковых подшипника  $-3[(TC\ 0.2y)_1 \times n(SF)_2]$ .

Заданной целевой функции  $F_\omega$  ставится в соответствие следующая генетическая модель конвергентного типа (рис.3):

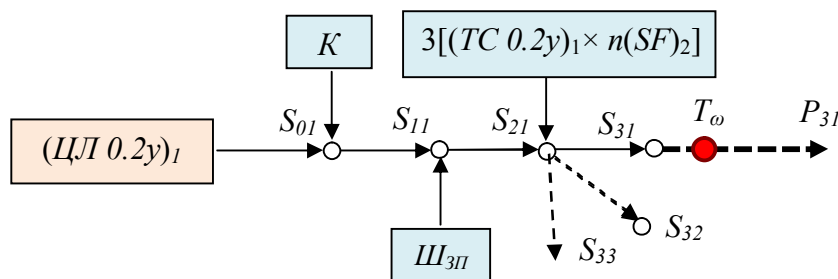


Рис. 3. Генетическая модель совмещенной структуры М-Ш.

Хромосомный набор модели  $S_{01} - S_{31}$  определяет уровень генетической сложности и одновременно представляет генетическую программу совмещенной осесимметричной структуры мотор-шпинделя объектного ( $S_{31} \in T_\omega$ ) и популяционного уровней ( $S_{31} \in P_{31}$ ). Совмещенная хромосома  $S_{31}$  удовлетворяет заданной функции цели  $F_\omega$ .

По результатам анализа генетической модели определяется структурная формула искомой совмещенной хромосомы третьего поколения  $S_{31}$ :

$$S_{31} = \{[(ЦЛ\ 0.2y)_1; (ЦЛ\ 0.2y)_2] \times (K) \times (Ш_{3П})_{OX} \times 3[(TC\ 0.2y)_1 \times n(SF)_2]; R_{OX} \subset F_\omega \quad (3)$$

где:  $R_{OX}$  - оператор репликации по оси симметрии  $OX$ .

Наличие генетической информации единичного структурного представителя открывает возможность определения генетической программы всего функционального класса М-Ш. Программа класса распознается через процедуру последовательного анализа

генетической предрасположенности родительских хромосом к реализации  $F_\omega$ , в пределах заданного поискового пространства  $R^n$ . Элементный базис генетической программы  $Q_F$  представим в виде совокупности гомологических рядов первого большого периода ГК:

$$Q_F = (Q_{00}, Q_{02}, Q_{20}, Q_{22}), \quad (4)$$

где:

$$Q_{00} = (CL\ 0.0y; KN\ 0.0y; TP\ 0.0y; TC\ 0.0y); \quad (5)$$

$$Q_{02} = (CL\ 0.2y; KN\ 0.2y; TP\ 0.2y; TC\ 0.2y; {}^3CL\ 0.2y; {}^3KN\ 0.2y; {}^3TP\ 0.2y; {}^3TC\ 0.2y) \quad (6)$$

$$Q_{20} = ({}^2CL2.0x; {}^2KN2.0x; {}^2TP2.0x; {}^2TC2.0x); \quad (7)$$

$$Q_{22} = (CL2.2y; KN2.2y; TP2.2y; TC2.2y; {}^2CL2.2y; {}^2KN2.2y; {}^2TP2.2y; {}^2TC2.2y) \quad (8)$$

Анализ рядов (5-8), показывает, что структурное разнообразие совмещенных систем типа «мотор-шпиндель», для заданной  $F_\omega$ , ограничено 24 видами, содержащими информацию как об известных видах, так и генетически допустимых видах, еще отсутствующих на данное время эволюции класса.

Результаты исследования подтверждают достоверность принятой рабочей гипотезы и открывают возможность горизонтального переноса знаний между исследуемыми системами (табл. 2). Использование общих системных принципов открывает возможность постановки междисциплинарных задач генетического предвидения и направленного инновационного синтеза, реализуемых на уровне произвольных гомологических рядов и видов технических объектов. Любому инновационному новшеству, реализованному в пределах вида  $S_E$  некоторого функционального класса  $F_E$ , ставится в соответствие структура – гомолог некоторого вида  $S_M$ , принадлежащему к классу  $F_M$ . Свойство параллелизма объектов, в таком случае, приобретает статус межсистемной гомологии.

Таблица 2. Сравнительный анализ используемых системных принципов при исследовании электромеханических и механических систем (до и после горизонтального переноса знаний)

Дисциплина	Системные принципы генетически организованной системы											
	Упорядоченный элементный базис	Генетическая информация	Генетический код	Родительская хромосома	Симметрия	Изотопия	Парность	Гомология	Изомерия	Самоподобие	Периодичность	Генетические программы
Электромеханика	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Механика	До	—	—	—	●	—	—	—	—	●	—	—
	После	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

**Заключение.** Впервые выдвинута и подтверждена научная гипотеза о наличии общего структурно-информационного базиса в структурном разнообразии электромагнитных и механических систем осесимметричного типа. Предложен единый методологический подход к моделированию электромагнитных, механических и других осесимметричных систем, который создаёт реальные предпосылки для автоматизации поискового проектирования сложных технических систем, содержащих подсистемы различной генетической природы, по заданной функции цели. Результаты исследований, открывают возможность междисциплинарного обмена знаниями, что позволяет осуществлять структурное предвидение и направленный синтез сложных систем на основе общесистемных законов информационной и структурной наследственности.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ковальчук М.В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее / М.В. Ковальчук // Журнал "Российские нанотехнологии" № 1-2 2011. – С. 13 – 23.
2. Князева Е.Н. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. – М.: Наука, 1994. – 236 с.
3. Эбелинг В. Физика процессов эволюции / В. Эбелинг, А. Энгель, Р. Файстель. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.
4. Шинкаренко В.Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем / В. Ф. Шинкаренко – К.: Наукова думка, 2002. – 288с.
5. Шинкаренко В.Ф. Генетические программы структурной эволюции антропогенных систем. (Междисциплинарный аспект) / В. Ф. Шинкаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 13, том 4. - Мелітополь, 2013. – С. 11 - 20.
6. Shynkarenko V. Genetic Programs of Complex Evolutionary Systems (Part 1) / V. Shinkarenko, Y. Kuznietsov. 11th Anniversary International scientific Conference «Unitech'11», 18 – 19 November 2011. Gabrovo, Bulgaria. Vol. I. P.p. 33-43.
7. Shynkarenko V. Genetic Programs of Complex Evolutionary Systems (Part 2) / V. Shinkarenko, Y. Kuznietsov. 11th Anniversary International scientific Conference «Unitech'11», 18 – 19 November 2011. Gabrovo, Bulgaria. Vol. I. P.p. 44-52.
8. Shynkarenko V. Genetic Program of structural Evolution and Synthesis of Spindle-Motor Hybrid Electromechanical Systems / V. Shynkarenko, Y. Kuznetsov, A. Salenko, J. Gaidaienko, E. Oleynik, O. Chenchevaya // Journal of the Technical University of Gabrovo, Vol. 48'2014 (15-19).

## **ПІДВИЩЕННЯ ТВЕРДОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБОНАРИЗНИХ ЗУБКІВ МЕТОДОМ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ**

Майборода В.С., Emmer Т., Джулій Д.Ю., Ткачук І.В.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"  
Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg

Для підвищення надійності роботи різального інструменту (РІ) використовують ряд методів, які спрямовані на покращення певних параметрів якості. Серед них найпоширенішими є методи підвищення твердості робочих поверхонь, зниження їх шорсткості, формування спеціальної геометрії різальних кромки (РК), нанесення зносостійких покриттів. Але поряд з підвищенням конкретних параметрів якості вони можуть знижувати інші показники, бути слабоконтрольованими і в більшості випадків не забезпечують комплексного впливу.

Зважаючи на широке використання в промисловості зубчастих передач, важливе місце в машинобудуванні займає нарізання зубчастих коліс. Основним методом їх виготовлення є зубофрезерування. Використання збірних фрез з твердосплавними пластинами забезпечує підвищення продуктивності та ефективності нарізання зубчастих коліс. Надійність роботи шестеренних механізмів визначається якістю виготовлення шестерень, що в свою чергу визначається якістю фрез. Тому фінішне оброблення зубофрезерного інструменту є актуальною задачею, вирішення якої полягає в підготовці РК, підвищенні твердості, зниженні шорсткості робочих поверхонь. Метод магнітно-абразивного оброблення (МАО) на ряду з формуванням радіусів округлення РК, зниженням шорсткості забезпечує підвищення твердості робочих поверхонь як на інструменті зі покриттям, так і без нього. Для ефективного та контрольованого оброблення необхідно визначити залежність зміни твердості оброблюваних поверхонь від використовуюваного для МАО магнітно-абразивного порошку (МАП).

Досліджено зміну твердості поверхонь твердосплавних зубонарізних зубків з покриттям TiN в залежності від використовуваного типу МАП. Оскільки товщина зрізаного шару матеріалу при нарізанні зубчастих коліс методом обкатки з використанням одного різального зуба мала, для ефективної і безвідмовної роботи інструменту необхідно підвищити твердість поверхонь без значної зміни величини радіусів округлення РК та видалення зносостійкого покриття.

На рис. 1 представлена схема MAO зубонарізних зубків.

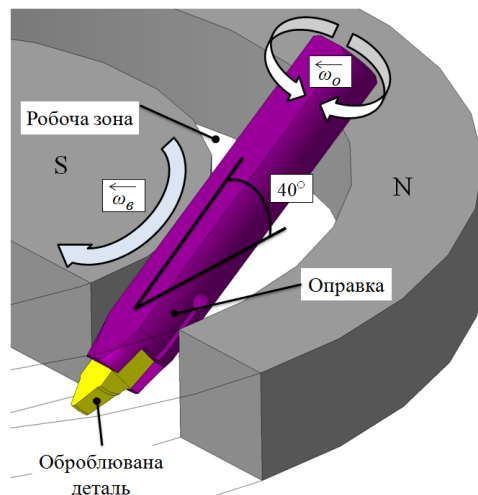


Рисунок 1 – Схема MAO зубонарізних зубків

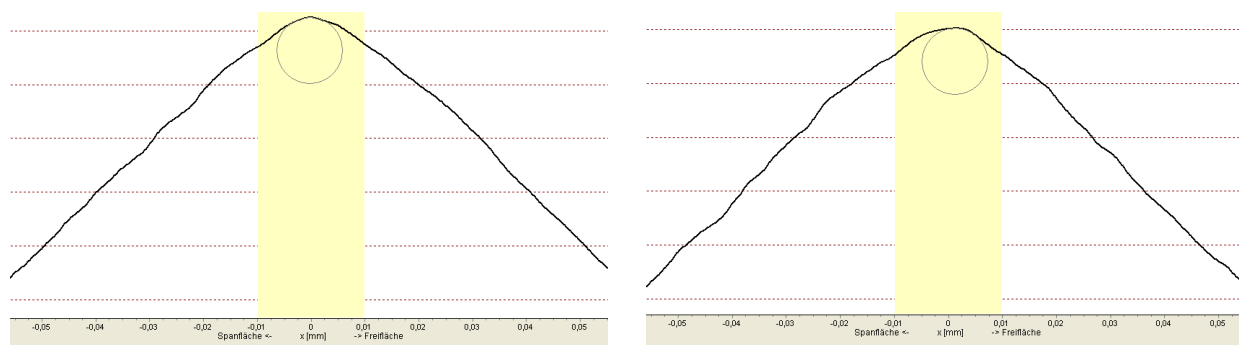
Експериментальні дослідження виконували при наступних умовах та режимах оброблення: кутова швидкість обертання оправки навколо осі кільцевої робочої зони  $\omega_b=250$  об/хв, кутова швидкість обертання оправки навколо власної осі  $\omega_o=500$  об/хв, індукція магнітного поля в незаповненій МАП робочій зоні – 0,24 Тл, кут базування оправки відносно площини перпендикулярної осі кільцевої ванни – 40, для відновлення працездатності магнітно-абразивного інструменту (MAI) використовували стержневий елемент діаметром 10 мм при куті нахилу – 42°, оброблення виконували 3 хв в режимі "натікання" зі зміною напрямку обертання оправки навколо власної осі. У вихідному стані твердість поверхневого шару була на рівні 17,7 – 18,6 ГПа.

Таблиця 1 – Підвищення твердості робочих поверхонь зубків

№	МАП	Приріст твердості поверхонь, ГПа
1	ПР Р6М5 200/160 мкм	2,31
2	Полімам М 315/200 мкм	2,34
3	Царамам 315/200 мкм	1,56
4	S330 1200/900 мкм	1,61

В проведених експериментальних дослідженнях використано МАП з низькою абразивною здатністю, які мають округлу форму зерен. В результаті оброблення не відбулось видалення матеріалу з поверхні, а величина радіусу округлення РК не змінилась і залишилась в межах 5 – 9 мкм. На рис. 2 представлено радіуси округлення РК в одному з перетинів на боковій РК для зубків без MAO та після оброблення на прикладі МАП ПР Р6М5 200/160 мкм. При використанні вищезазначених порошків твердість у всіх випадках збільшилась, приріст твердості поверхонь залежить від розміру зерна та їх механічних властивостей. При використанні більш дрібнозернистого МАП приріст твердості більший, що може бути пояснено механізмом формування МАП в MAI в процесі оброблення та реологічними властивостями сформованого інструменту. Дрібний порошок формує представницькі мікрооб'єми порошку з більшою масою в порівнянні з порошком, що має значні розміри зерен, що забезпечує більшу енергію, яка витрачається на пластичне деформування контактуючих поверхонь. Відмітимо, що для всіх зубків як оброблених, так і

необроблених шорсткість передньої поверхні знаходиться в межах  $R_a$  0,065 – 0,095 мкм. При вимірюванні твердості після оброблення на поверхні залишаються уколи без деформації від попередніх вимірювань, виконаних перед МАО.



Без МАО,  
радіус округлення РК – 6,2 мкм

МАО ПР Р6М5 200/160 мкм,  
радіус округлення РК – 6,2 мкм

Рисунок 2 – Радіуси округлення РК на боковій грані в одному з перетинів

Магнітно-абразивне оброблення забезпечує підвищення твердості робочих поверхонь твердосплавного інструменту зі зносостійким покриттям без видалення поверхневого шару та зміни радіусів округлення РК. Величина твердості передньої поверхні при використанні МАП різного типу збільшується на 1,5 – 2,3 ГПа, що є суттєвою передумовою підвищення стійкості інструменту обробленого методом МАО.

## РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ ВЕРСТАТІВ ТОКАРНОЇ ГРУПИ

Шевченко О.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Вступ. Підвищення ефективності токарної обробки є однією з важливих науково-технічних проблем сучасного машинобудування.

Безперервне зростання вимог до точності малих переміщень обмежує використання традиційних кінематичних ланок верстатів, які часто не забезпечують необхідної точності позиціонування робочих органів. Для позиціонування в мікрометричному діапазоні в приводах верстатів доцільно використовувати спеціальні пружні кінематичні пристрої, що виконують функції напрямних та виключають вплив зовнішнього тертя в останній передачі приводу на точність позиціонування (рис.1).

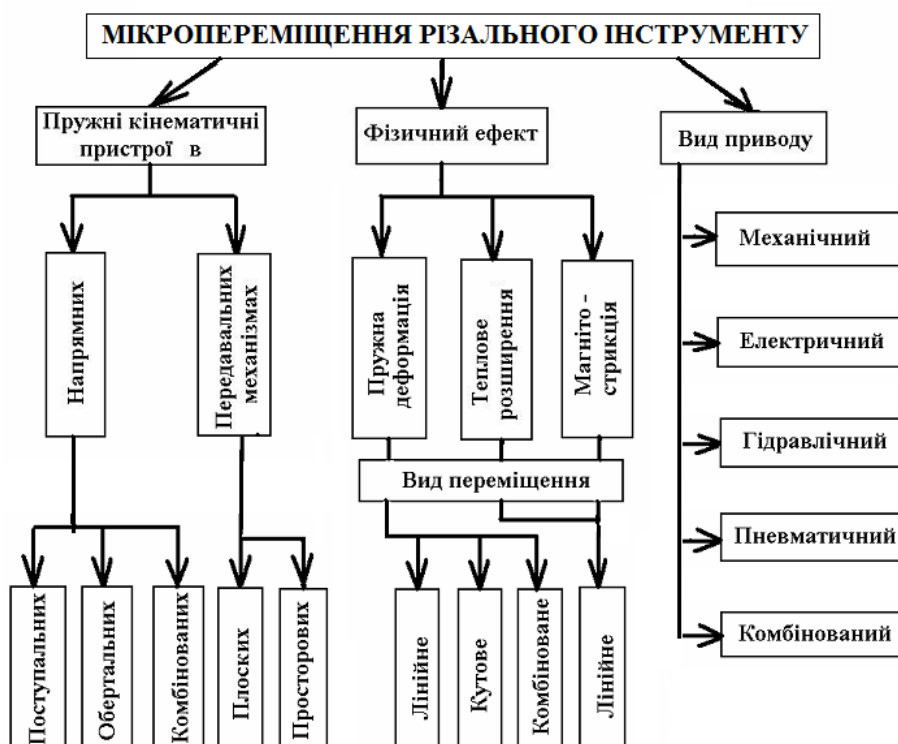


Рис.1. Класифікація основних принципів здійснення мікропереміщень різального інструменту

У відповідності до вказаних вимог розроблено ряд конструкцій різцетримачів з мікрорегулюванням різців для верстатів токарної групи.

При обробці таких матеріалів, як високолеговані сталі і ряд сплавів кольорових металів, переміщення зливної стружки здійснюється в самих непередбачених напрямках, утрудняється спостереження за процесом різання, а сама стружка є потенційним джерелом важкого травматизму. Найбільшої уваги серед способів видалення стружки заслуговують способи її кінематичного дроблення, серед яких ефективністю і надійністю вирізняється вібраційне різання (рис. 2).

Сутність процесу вібраційного різання полягає в тому, що на прийнятну для даної операції кінематичну схему накладається додатковий направлений вібраційний рух інструменту відносно заготовки. При правильному виборі напрямку коливань, їх частоти та амплітуди вібраційне різання дозволяє надійно і ефективно дробити стружку. Суттєвим



резервом підвищення ефективності вібраційного дроблення стружки є використання інструментального оснащення з пружними напрямними для зворотно-поступального вібраційного руху інструменту [3].

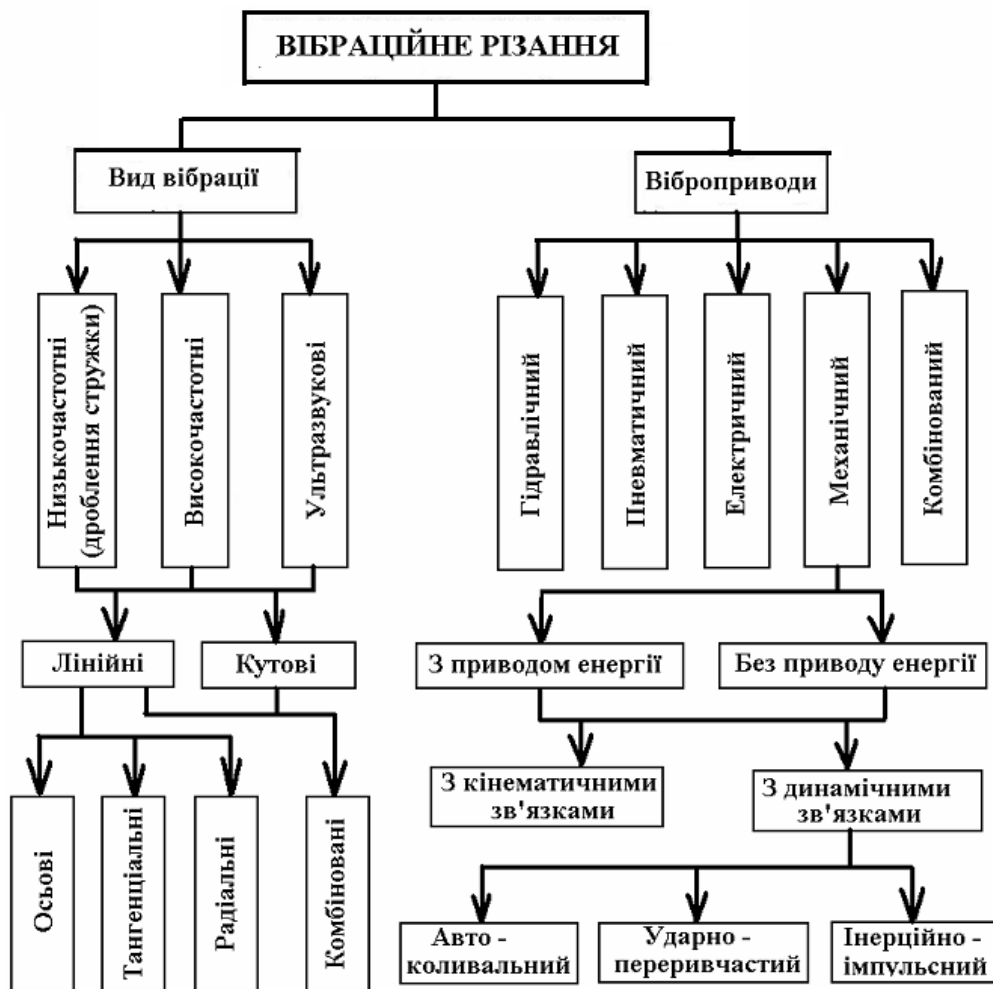


Рис.2. Класифікація основних способів вібраційного різання

Сучасні методи різання дозволяють обробляти матеріали, що традиційно важко піддаються обробці і при цьому отримувати суттєво вищу якість обробленої поверхні. Однак значний розігрів різця при різанні корозійностійких та високоміцних сплавів, необхідність в охолодженні спеціальними емульсіями є проблемами, що суттєво здорожують та ускладнюють процес обробки. Ефективним для обробки таких матеріалів є використання ультразвукового різання. Ультразвукове різання, це процес, при якому різцю за допомогою спеціального пристрою передаються високочастотні (ультразвукові) коливання, як правило, в напрямку швидкості різання. Серед відомих типів вібраційних приводів для ультразвукової обробки найбільше використовують електромагнітні та електро(магніто)стрикційні. Використання пружних елементів в інструментальному оснащенні для ультразвукової обробки реалізує переваги способу точіння з ультразвуком, забезпечуючи достатній рівень статичної жорсткості різцетримача, що дає можливість його використання в режимах із значними силами різання [4].

Одним з розповсюджених видів обробки на токарних верстатах є обробка консольним інструментальним оснащенням, до якого належать оправки, різцетримачі, борштанги. Особливістю обробки консольним інструментом є висока ймовірність виникнення вібрацій при різанні, що знижує точність, якість та продуктивність обробки деталей, обмежує технологічні можливості верстатів (рис. 3).

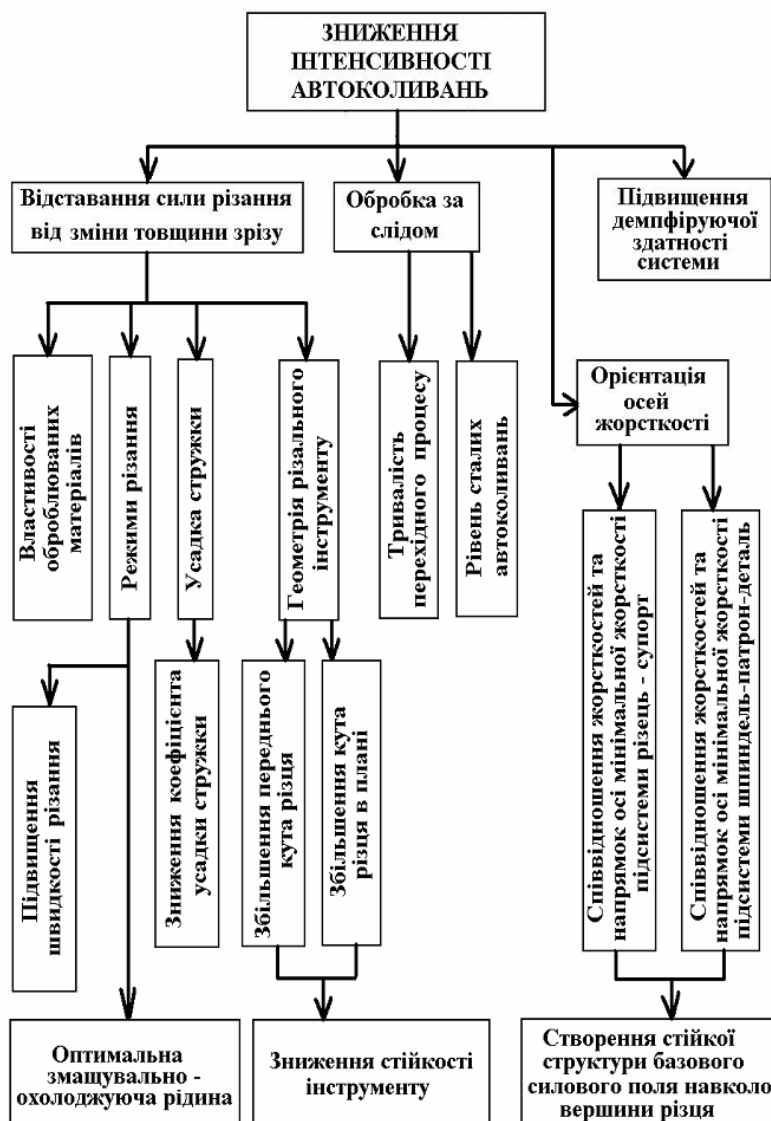


Рис.3. Напрямки зниження інтенсивності автоколивань при різанні

Забезпечення умов вібростійкої обробки консольним інструментом може здійснюватись шляхом раціонального вибору його конструктивних параметрів з врахуванням відповідної орієнтації головних осей жорсткості пружної системи інструменту по відношенню до напрямку дії сили різання та вибором раціонального співвідношення жорсткостей оснащення за головними осями жорсткості [4].

#### Висновки.

На основі виконаних досліджень розроблені методика проектування, нові ефективні конструкції інструментального оснащення для мікрорегулювання різця, ефективного дроблення стружки в процесі різання, ультразвукової обробки, вібростійкого точіння та визначені основні вимоги до цього оснащення і розроблені рекомендації щодо його ефективного використання при токарній обробці.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Шевченко О.В., Гримуд Т.Г. Підвищення точності обробки на токарних автоматизованих верстатах шляхом мікрорегулювання положення різця. Вісник НТУУ "Київський політехнічний інститут", Машинобудування, вып.59, Київ, 2010. с. 59 - 64.
2. Повышение производительности и надежности токарно-револьверных станков / В.Н.Шишкин, В.Е.Лоев, Л.И.Новицкий, А.В.Шевченко. - Киев: Техніка, 1986. - 95с.

3. Шевченко О.В., Беляєва А.Ю. Ефективне дроблення стружки при токарній обробці // Технологія і техніка друкарства / Збірник наукових праць – Київ: НТУУ „КПІ”, 2010. Вип. 4(30). - с.131 – 137.

4. Шевченко О.В., Бальченко М.Ю. Пристрій для ультразвукової обробки / Матеріали 5 міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», - Чернігів: 19-22.05.2015. с 114-115.

5. Шевченко О.В. Методи підвищення сталості процесу різання при токарній обробці нежорстким інструментальним оснащенням. Машинознавство № 8 (146). . Київ, 2009. с. 16-23 .

## **ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ІОННО - ПЛАЗМОВОГО ПЛАКУВАННЯ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ**

Селіверстов І.А., Смирнов І.В

Херсонський національний технічний університет

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

Для отримання нових матеріалів і покриттів широкого використання набули композиційні порошки, які застосовуються у вигляді механічних сумішей металу і кераміки або у вигляді порошкових сплавів [1].

На сьогодні актуальним є використання композиційних порошків особливого складу, структурною особливістю яких є наявність тонких покриттів (плівок) полікристалічної будови, нерівноважних, дисперсних або нанорозмірних фаз, які радикально впливають на властивості газотермічних покриттів.

Створення такого складу композиційних порошків вимагає розробки нових методів, прийомів і технологій формування компонентів.

Серед великої кількості технологій формування композиційних порошків, які б найбільш повно відповідали вимогам щодо створення наноструктурних фаз, є вакуумні методи. Ці методи дозволяють створювати покриття широкої гами неорганічних матеріалів – металів, сплавів, хімічних сполук регульованої структури з високими швидкостями осадження на поверхню.

Метод формування покриттів з потоків металевої плазми вакуумної дуги в силу своїх технологічних можливостей є найбільш перспективним у нанесенні покриттів особливої структури на поверхню порошків різного гранулометричного складу. Вирізняється він простотою реалізації випару і конденсації пари матеріалу на поверхню і завдяки високій іонізації плазмового потоку дозволяє наносити покриття на різні конструкційні матеріали, істотно поліпшуючи експлуатаційні характеристики цих матеріалів, і надає їм нові фізико-механічні властивості, недосяжні при нанесенні іншими вакуумними методами [2].

Завдяки таким властивостям порошкових матеріалів можна досягнути нового рівня розвитку технологій порошкової металургії та нанесення газотермічних покриттів і забезпечити вимоги, які обумовлюються новими розробками в аерокосмічній техніці, двигунів внутрішнього згоряння, перетворювачів енергії, нафтохімічній, скляній і інструментальній галузях промисловості.

З огляду на це, подальший розвиток технології іонно-плазмового осадження визначає необхідність систематизації і виробітку єдиних принципів підходу до рішення наукових і технологічних завдань, а розробка нових видів покриттів потребує дослідження процесів випару катодного матеріалу, процесів взаємозв'язку між основними технологічними режимами роботи вакуумної установки і процесами, які відбуваються у плазмових потоках, що генеруються вакуумною дугою.

У зв'язку з цим, дослідження удосконалення і оптимізації технологічних процесів іонно-плазмового осадження плівок на порошкові матеріали, є актуальними і направлені на створення якісно нового плакованого порошкового матеріалу.

Головною відмінністю процесу нанесення покриттів на порошки є: по-перше - малість об'єктів металізації і відповідно велика кількість частинок, тому сумарна площа поверхні порошків, які вміщуються на перемішувачу пристрої може досягати 30-100 м<sup>2</sup>, що потребує достатньої швидкості конденсації; по-друге - наявність високої температури в шарах порошку за рахунок високих енергій іонів. До того ж температура має зростаючий характер за низької теплопровідності та тепловіддачі у шарах порошкових матеріалів.

Ці головні фактори визначають напрями досліджень і технологічні прийоми для створення якісного плакованого порошку.

Нанесення покриття здійснювалося на вакуумно-дуговій установці АНГА-1, вихідним порошковим матеріалом використовувались поширені порошки: оксиду алюмінію, оксиду цирконію та карбиду вольфрам. У якості матеріалів для нанесення покриття використовувались катоди з міді, алюмінію та титану.

Визначення раціональних технологічних режимів нанесення покриття обумовлює досліджень металевої плазми високошвидкісного струменя, що поширюється у вакуумі. Для цього був застосований вольфрамовий електричний зонд, дана методика обробки зондових характеристик базується на теоретичних положеннях [3,4]

В результаті визначення та аналізу основних параметрів плазми, встановлено, що найбільший вплив на швидкість конденсації та температуру на поверхні частинок оказує струм вакуумної дуги, в залежності від матеріалу катоду максимальний струм 90-130А.

Негативним чинником в процесі плакування в окремих випадках може стати висока температура на поверхні, внаслідок чого частинки порошку активно злипаються, утворюючи конгломерати. Для усунення цього недоліку і здобуття рівномірної оболонки на кожній частці порошку були розроблені різні пристрої перемішування [5,6].

Практика плакування порошків показала, що перемішування порошків у пристроях в стані віброкипіння, реалізується найпростіше, доступно і забезпечує достатню ефективність перемішування і охолодження. Вибір параметрів віброкипіння в цілому, визначається зовнішніми умовами, конструкційними особливостями пристрою, фізико - механічними властивостями і найбільше когезійними і адгезійними властивостями, формою частинок порошку, параметрами вібрації, а також рядом інших чинників. В зв'язку з цим для визначення параметрів віброкипіння, які забезпечують оптимальні умови перемішування для здобуття рівномірної оболонки, була використана система автоматизованого моделювання «Виброслой 1.0» [7].

Таким чином при правильному виборі технологічних режимів методом вакуумно-дугового плакування було визначено, що величина і якість плакованого шару на порошках має щільний і рівномірний характер і хімічний склад не відрізняється від складу катодного матеріалу, а плаковані порошки мають унікальний комплекс фізико- механічних властивостей.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов: [справочник] / [Ю.С.Борисов, Ю.А.Харламов и др.]. – Киев: Машиностроение, 1987. – 544 с.
2. Шаронов Е.А., Ванновский В.В., Алексеев С.В. Вакуумно-дуговое напыление меди на порошок керамики SiO<sub>2</sub> – FeO<sub>n</sub> // Труды 6-й междунар. Конференции «Пленки и покрытия – 2001». — СПб: Изд. СПбГТУ. — 2001. — С.146–149.
3. Чен Ф. Электрические зонды . — В кн.: Диагностика плазмы. / Под. Ред. Р. Хедлстоуна, С. Леонарда. — М.: Мир, 1967. — С. 94 –164.
4. Сонин А.А. Свободномолекулярный зонд Ленгмюра и его применение для исследования поля течения / А.А.Сонин // Ракетная техника и космонавтика. — 1966. — № 9. — С. 108-110.

5. Пат. 41184 Україна, МПК (2009) B22F1/00. Пристрій для нанесення покриттів на порошок / Копилов В.І., Степанчук А., Смірнов І. В., Селіверстов І. А. Чорний А. В.: заявник і власник Херсонський національний технічний університет. — № 41184; заявл. 05.12.08; опубл. 12.05.09, бюл. № 9.

6. Пат. 89851 Україна, МПК (2014) B22F1/00. Пристрій для плакування порошків у вакуумі / Смирнов І.В., Селіверстов І. А., Чорний А. В., Ковальчук В.Ю.: заявник і власник Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”. — № 89851; заявл. 31.12.13; опубл. 25.04.14, бюл. № 8.

7. Система автоматизованого моделювання “Виброслой 1.0”. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №25051. /С.А.Русанов. – №24961: Заявл. 14.04.2008; Опубл. 24.07.2008.

## **ВИМОГИ ДО КОМПЕТЕНТНОСТІ АТЕСТОВАНИХ ЛАБОРАТОРІЙ ПРИ ПРОВЕДЕНІ ВИМІРЮВАНЬ**

Дядюра К.О., Майдан В.С.  
Сумський державний університет

**Вступ.** З 01.01.2016 року набирає чинності Закон України № 1314-VII "Про метрологію та метрологічну діяльність" від 05.06.2014 [1]. Положення цього Закону викладені відповідно до вимог директиви Міжнародної організації законодавчої метрології OIML D1 "Розгляд Закону про метрологію". Розвиток національної метрологічної системи створює умови для ефективного функціонування системи технічного регулювання, що буде сприяти підвищенню конкурентоспроможності вітчизняної продукції, захисту інтересів споживачів і держави від наслідків недостовірних результатів вимірювань.

Слід зазначити, що коли завдання метрологічного забезпечення відповідним чином вирішуються не тільки на основному підприємстві при випробуванні виготовлених виробів, а й у науково-дослідних лабораторіях при розробленні матеріалів, конструкцій і технологій, то це забезпечує фундаментальну підтримку промисловим інноваціям, створенню і ефективному виробництву продукції, яка відповідає потребам ринку, а також у виявленні та запобіганні невідповідностей. Створення довіри споживачів до робіт з сертифікації, випробувань та вимірювань є головною вимогою до системи оцінки відповідності. У зв'язку з цим важливість результатів вимірювання зростає, у тому числі із розвитком технологічного прогресу та інформаційних технологій.

Необхідний рівень довіри повинен бути заснований на технічній компетентності виробника, лабораторій, органів з сертифікації та атестації та на прозорості процедур з оцінки відповідності продукції та послуг вимогам нормативних документів.

Тому роль системи атестації та атестованих вимірювальних лабораторій в сучасному суспільстві суттєво підвищилась і характеризується значним впливом на економіку, рух товарів, рівень добробуту громадян, розвиток держави в цілому. Уповноваження (атестація) проводиться з метою визначення і офіційного підтвердження готовності заявників до проведення метрологічних робіт, передбачених Законом.

Дуже важливим фактором є те, що атестація забезпечує офіційне визнання компетентних лабораторій, тим самим надаючи споживачам зручності при виборі послуг, здатних задовольнити їхні вимоги. Обираючи технічно компетентну лабораторію, виробник або постачальник мінімізує ризик випуску чи постачання браку.

Із упровадженням ДСТУ ISO/IEC 17025 [2] для лабораторії відкриваються нові можливості по роботі на внутрішньому ринку та стає можливою співпраця з іноземними лабораторіями та замовниками з інших країн. Для отримання атестата на відповідність вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025 від лабораторії потрібно більше, ніж просто можливість

проводити виміри. Сучасна лабораторія має бути: оснащена новітнім устаткуванням, забезпечена кваліфікованим персоналом, мати сертифіковану систему якості (що реально працює), прозору систему менеджменту лабораторії та використовувати стандартні методи випробувань і процедур.

Метою даної роботи є аналіз сукупності вимог, яким повинна відповідати лабораторія для того, щоб бути атестованою. Розглянуті найважливіші теоретичні та практичні аспекти при підготовці лабораторії до атестації згідно з вимогами.

**Актуальність досліджень.** Атестація спрямована на підвищення рівня проведення метрологічних робіт з метою захисту громадян і національної економіки України від наслідків недостовірних результатів вимірювань. Кожен з вимірювальних об'єктів має свої індивідуальні властивості з безмежною кількістю проявів і пов'язаний з іншими об'єктами та їхніми системами. Реально неможливо у повному обсязі досягнути всі зв'язки властивостей об'єктів з явищами, які відбуваються в них і навколишньому світі. Тому, якщо говорять про вимірювану величину конкретного об'єкта, мають на увазі певну абстракцію цієї властивості або її модель, яка лише тією чи іншою мірою відображає справжню властивість. Традиційно з поняттям якості виконаного вимірювання безпосередньо пов'язані:

– істинне значення  $X$  вимірюваної величини, яке є ідеальним відображенням певної виокремленої властивості досліджуваного об'єкта, однак яке недоступне під час експериментальних вимірювальних процедур;

– результат вимірювання  $X_p$ , який стає відомим експериментатору внаслідок вимірювання, однак є лише певною практичною оцінкою (наближенням) істинного значення величини;

– різноманітні чинники, які не є вимірюваними величинами, але впливають на отримуваний результат вимірювання, внаслідок чого з одного боку певному істинному значенню можуть відповідати різні результати вимірювань, а з іншого боку – отриманому результату вимірювання можуть відповідати різні значення вимірюваної величини.

На мінливість результатів вимірювань, виконаних за одним методом, крім відмінностей між імовірно ідентичними зразками, можуть впливати багато різних факторів, у тому числі:

- a) оператор;
- b) використовуване обладнання;
- c) калібрування обладнання;
- d) параметри навколишнього середовища (температура, вологість, забруднення повітря і т.д.);
- e) інтервал часу між вимірюваннями.

Відмінності між результатами вимірювань, виконуваних різними операторами та/або з використанням різного обладнання, як правило, більші, ніж між результатами вимірювань, виконаних протягом короткого проміжку часу одним оператором з використанням одного і того ж обладнання. Прецизійність є загальним терміном для вираження мінливості повторюваних вимірювань. При практичній інтерпретації результатів вимірювань ця мінливість повинна враховуватися. Вимірювання, які виконують на імовірно ідентичних матеріалах при імовірно ідентичних обставинах, не дають, як правило, ідентичних результатів. Це пояснюється немінучими випадковими похибками, що притаманні кожній вимірювальній процедурі, а фактори, що впливають на результат вимірювання, не піддаються повному контролю.

Дві умови прецизійності: повторюваність і відтворюваність є необхідними для оцінки мінливості методу вимірювань. В умовах повторюваності (збіжності) фактори а) - е), перелічені вище, вважають постійними, і вони не впливають на мінливість, в той час як в умовах відтворюваності всі ці фактори змінні і впливають на мінливість результатів випробування [3]. Лабораторна складова систематичної похибки при реалізації конкретного методу вимірювання (МВВ) є специфічною для даної лабораторії і умов виконання вимірювань у межах лабораторії, та її значення також може залежати від значення величини

вимірювання. Лабораторна складова систематичної похибки при реалізації конкретного МВВ відноситься до загального середнього результату вимірювання, але не до істинного або опорного значення вимірюваної величини.

Для інтерпретації та аналізу результатів вимірювань, розподіл яких вважають приблизно нормальним, використовують статистичну модель. З метою оцінки точності (правильності і прецизійності) методу вимірювань доцільно припустити, що кожен результат вимірювань,  $y$ , являє собою суму трьох складових [4]

$$y = m + B + e, \quad (1)$$

де (для конкретного матеріалу, що досліджується):

$m$  - загальне середнє значення (математичне очікування);

$B$  - лабораторна складова систематичної похибки в умовах повторюваності;

$e$  - випадкова складова похибки кожного результату вимірювань в умовах повторюваності.

Коли досліджують розбіжності між результатами вимірювань, які отримані одним і тим же методом, систематична похибка методу не матиме ніякого впливу, і нею можна знехтувати. Однак при порівнянні результатів вимірювань зі значенням, встановленим у стандарті з посиланням на істинне значення ( $m$ ), а не на «рівень випробувань» ( $m$ ), або при порівнянні результатів, отриманих з використанням різних методів вимірювань, систематичну похибку методу, природно, необхідно враховувати. Якщо вірне значення існує, і є в наявності придатний стандартний зразок, систематична похибка методу вимірювань повинна визначатися згідно з вказівками ISO 5725-4.

Складова  $B$  вважається постійною протягом виконання будь-яких серій вимірювань в умовах повторюваності, але вона буде різною за величиною для вимірювань, виконаних в інших умовах.

Дисперсія  $B$  називається міжлабораторною і виражається наступним чином

$$\text{var}(B) = \sigma_L^2, \quad (2)$$

де  $\sigma_L^2$  - включає в себе мінливість результатів, отриманих різними операторами і на різному обладнанні.

Складова  $e$  є випадковою похибкою, що має місце у кожному результаті вимірювань. У межах однієї лабораторії дисперсія в умовах повторюваності носить назву лабораторної дисперсії і виражається наступним чином:

$$\text{var}(e) = \sigma_w^2. \quad (3)$$

Це загальне значення, яке оцінюють середнім арифметичним лабораторних дисперсій, носить назву дисперсії повторюваності та його позначають наступним чином:

$$\sigma_r^2 = \overline{\text{var}(e)} = \overline{\sigma_w^2}. \quad (4)$$

У базовій моделі загальне середнє значення  $m$  може бути замінено на

$$m = m_o + d, \quad (5)$$

де  $m_o$  - прийняте опорне значення вимірюваної характеристики;

$d$  - систематична похибка методу вимірювання.

Модель набере наступний вигляд

$$y = m + d + B + e. \quad (6)$$

Рівність (6) використовують у випадку, коли інтерес представляє  $d$ . Тут  $B$  являє собою лабораторну складову систематичної похибки стандартного методу вимірювань, тобто складову результату вимірювань, що є міжлабораторною варіацією.

Систематичну похибку лабораторії  $D$  представляють

$$D = d + B, \quad (7)$$

тому модель може бути записана у вигляді

$$y = m + D + e. \quad (8)$$

**Постановка задачі.** Виходячи з вищенаведеного у роботі поставлена наступна задача: провести аналіз вимог щодо оцінки точності (правильності і прецизійності) методів та

результатів вимірювань, яким повинна відповідати вимірювальна лабораторія для того, щоб бути атестованою.

**Результати досліджень.** Атестовані лабораторії зобов'язані забезпечувати постійну відповідність вимогам, установленим до виконання метрологічних робіт, на право проведення яких вони атестовані. Щоб вимірювання виконувалися однаковою чином, метод вимірювань повинен бути стандартизований. Усі вимірювання повинні виконуватися згідно даного документально стандартного методу, що встановлює у всіх подробицях, як повинно виконуватися вимірювання, і бажано включати опис процедур отримання та підготовки зразків для виконання вимірювань.

Виконання вимірювань має бути організовано з дотриманням таких вимог:

а) будь-яка попередня перевірка обладнання повинна відповідати вимогам стандарту на метод вимірювань.

б) кожна група з  $n$  вимірювань, що відносяться до одного рівня, повинна здійснюватися при дотриманні умов повторюваності, тобто протягом короткого інтервалу часу і одним і тим же оператором, а також без якого б то не було проміжного калібрування апаратури, якщо тільки це не є невід'ємною частиною виконання вимірювань.

в) необхідно, щоб група з  $n$  вимірювань в умовах повторюваності виконувалася незалежним чином так, як якщо б це були  $n$  вимірювання на різних матеріалах. Як правило, оператор знає, що він досліджує ідентичний матеріал, і тому в інструкціях необхідно підкреслити, що головною метою експерименту є визначення саме відмінностей (розбіжностей) в результатах, які можуть з'явитися у реальних випробуваннях.

Аналіз даних як статистичне завдання передбачає три наступних один за іншим етапи:

а) критичне вивчення даних з метою виявлення і обробки нерегулярних результатів, а також перевірки придатності моделі;

б) розрахунок попередніх оцінок прецизійності і середніх значень для кожного рівня окремо;

в) встановлення остаточних значень прецизійності і середніх значень, у тому числі аналітичне подання залежності між прецизійністю і середнім значенням  $m$  - у випадках, коли аналіз показує, що така залежність існує.

Для визначення правильності і прецизійності як традиційних, так і стандартизованих останнім часом методів вимірювань можуть використовуватися схожі експериментальні процедури. В останньому випадку отримані результати повинні сприйматися як попередніх оцінок, так як правильність і прецизійність можуть змінюватися по мірі набуття лабораторіями досвіду. Документ, в якому викладається метод вимірювань, повинен бути викладений ясно, докладно і повно. Всі істотні операції, що мають відношення до умов виконання процедур, реактивів і апаратури, попередньої перевірки обладнання, а також до підготовки зразків для випробувань, повинні бути включені в цей документ, можливо, за допомогою посилань на інші письмово оформлені процедури, доступні для операторів. Спосіб обчислення та подання результату випробувань повинен бути точно визначений, включаючи число значущих цифр, що мають заноситися в протокол.

**Висновки.** Розглянуто питання підготовки до атестації та акредитації вимірювальних лабораторій. Атестація вимірювальних лабораторій проводиться з метою визначення і офіційного підтвердження готовності заявників до проведення метрологічних робіт, передбачених Законом України "Про метрологію та метрологічну діяльність". Рівень відповідності лабораторії встановленим критеріям у межах заявленої галузі атестації та області акредитації визначається відповідністю вимогам щодо оцінки точності (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювань, підготовленістю матеріально-технічної бази, системи якості, документації та кваліфікації персоналу лабораторії.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України № 1314-VII "Про метрологію та метрологічну діяльність" від 05.06.2014 / Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 30, ст.1008. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>.
2. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT): ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. – [Чинний від 2007–07–07]. — К.: Держспоживстандарт України, 2007. — 40 с. — (Національний стандарт України).
3. ISO 5725-1 Accuracy (correctness and precision) of measurement methods and results. Part 1. Fundamentals and definitions.
4. ISO 5725-2 Accuracy (correctness and precision) of measurement methods and results. Part 2. Basic method for determining repeatability and reproducibility of standard measurement method.

## ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

Пальчевський Б.О.

Луцький національний технічний університет

Основний недолік сучасних САПР - це відсутність формалізованих людино-машинних методів концептуального проектування та їх системного об'єднання в комплексну систему.

Розрізняють такі методи автоматизації САПР, а саме:

- інформаційно-пошукові системи,
- варіантне проектування,
- пошукове проектування.

Інтегрована САПР по суті об'єднує в собі переваги проектування на основі пошуку інформації в базі даних про готове технічне рішення, яке задовольнить ТЗ (**інформаційно-пошукова САПР**). При відсутності результату відбирається ближчий прототип і на основі експертного досвіду модифікується для задоволення вимог ТЗ (**варіантна САПР**). При відсутності результату здійснюється синтез моделі об'єкту проектування (**пошукова або компонувальна САПР**).

Таким чином, інтегровану САПР можна розглядати як систему, що реалізовує в загальному випадку декілька схем проектування. Тому процес проектування стає трьохстадійним. Схема функціонування гібридної інтелектуальної САПР має наступну послідовність. Процедура виведення технічних рішень при проектуванні включає наступні етапи.

1. Введення початкових знань і даних про вид виробу, який може виготовлятися на проектованій технологічній машині і побудова його концептуальної моделі.

2. Побудова матриці передування на основі використання продукційних правил передування. Визначення послідовності утворення КТЕ виробу, вибраних на основі застосування обчислювального алгоритму обробки матриці передування, що включений до складу САПР.

3. Формування структури технологічної операції з використанням продукційних правил і обчислювальних алгоритмів і формування технологічної схеми машини із функціональних модулів.

4. Оптимізація набору конструкторських модулів для реалізації технологічної схеми на основі вибраних критеріїв за допомогою одного із оптимізаційних алгоритмів, що входять до складу САПР.

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ТРЕНАЖЕРА-ГЕКСАПОДА

Яглінський В.П., Обайді А.С., Москвичов М.М., Козерацький Г.В.  
Одеський національний політехнічний університет

**Вступ.** Під час керування мобільними машинами (ММ) екіпаж отримує різноманітну інформацію, серед якої найбільший вплив мають: зорова; тактильно-кінестезична; звукова та акселераційна [1]. У технічному відношенні, найбільші труднощі викликає моделювання на сучасних тренажерах акселераційної інформації, яка відображає величину та тривалість дії на оператора ММ перевантажень, спричинених лінійними та кутовими пришвидшеннями під час руху.

**Актуальність проблеми.** Аналіз технічних можливостей існуючих динамічних тренажерів наземних ММ показує, що більш маневреними є динамічні тренажерні системи на основі гексаподу, що мають шість ступенів рухомості і використовуються для обов'язкових наземних тренувань пілотів (рис. 1). [2, 3].



а) б)  
Рисунок 1 – Авіатренажери на основі гексапода: а) – США; б) – Україн

Під час експлуатації ММ внаслідок відмови агрегатів і систем екіпаж може не встигнути адекватно відреагувати на прояв таких відмов і це може привести до руйнування техніки та до загибелі людей. Тому є актуальним зростанням вимог замовників до підготовки операторів ММ та до підвищення технічного рівня тренажерних систем.

**Дослідження.** Інтенсифікація досліджень тренажерів-гексаподів пов'язана також з випробуваннями військової й радіаційної техніки. Одним з найбільш відомих дослідників тренажерів є Дж. Мерлет (*J.P. Merlet*), який значно розширив спектр їх практичного застосування. Серед різноманітних конструкцій, розроблених Дж. Мерлетом, є тренажер-гексапод для пілотів-космонавтів (рис. 2) [4]. Відтворення лінійних та кутових швидкостей і пришвидшень у запропонованому комбінованому аерокосмічному тренажері типу «гексапод» дозволяє забезпечення акселераційних відчуттів при рушанні з місця, розгоні, гальмуванні та зупинці ММ, подоланні таких перешкод як спуски, підйоми, косяги, обминання перешкод (здійснення поворотів) (рис. 3). [1].

**Дослідження.** Метою досліджень є визначення технічного рівня тренажера-гексапода, який має збільшену робочу зону, підвищену мобільність та вищу швидкодію порівняно з відомими тренажерними системами. Модульний динамічний тренажер типу «гексапод» має (див. рис. 3): базову платформу 1, що за допомогою лінійного приводу рухається поступально по напрямним 2, які обертаються навколо нерухомої осі, та рухому промислому платформу (ПП) 3, яка кріпиться безпосередньо на привідних ланках-штангах 4 у вигляді важелів змінної довжини [5]. Тренажерна система має підвищену мобільність за рахунок 9-ти ступенів рухомості: базова платформа має три незалежні координати (одна обертальна і дві поступальні); ПП розташована на гексаподі з 6-тьма незалежними координатами.



Рисунок 2– Найбільший у світі рухомий на площині авіатренажер для пілотів *Shuttle* (NASA, США), [3].

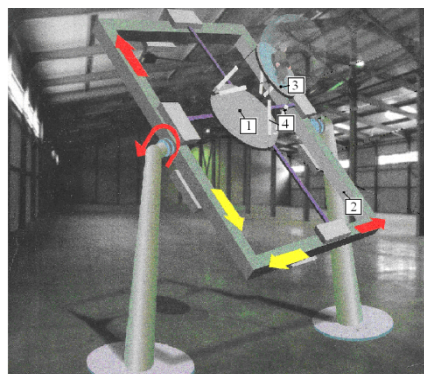


Рисунок 3 – Модель багатокоординатної аерокосмічної тренажерної системи (патент України, 104273) [5].

Процес багатокритеріальної і багаторівневої оптимізації системи складається з двох етапів: пошуку границь області існування показників якості готового виробу та пошуку у цій області кращого набору значень показників якості основних складових [6].

Кваліметрична модель технічного рівня тренажера має 15 науково обґрунтованих критеріальних показників, які характеризують 5 функціональних властивостей: (табл. 1)

Таблиця 1 – Систематизація типових показників якості тренажера-гексапода

Властивість	Показник	Позначення
1. Маневреність	1.1 Коефіцієнт маневреності	$k_i$
	1.2 Коефіцієнт ефективності площі	$k_{eff}$
2. Вантажність	2.1. Питома енергоємність	$\gamma_N = N_D \cdot \gamma_i$
	2.2. Відносна вантажність підсистем	$\gamma_i = m_i / n_s$
3. Точність позиціонування	3.1. Похибка позиціонування полюса ПП	$\Delta_C$
	3.2. Усереднена динамічна похибка: — кутова — лінійна	$\Delta_\varphi$ $\Delta_d$
	3.3. Усереднена нерівномірність рухів: — обертальних — поступальних	$\delta_\omega$ $\delta_V$
4. Швидкодія	4.1. Час фіксації полюса схопу	$t_f$
	4.2. Коефіцієнт динамічності: — для підсистеми повороту — для підсистеми лінійних переміщень	$k_{dA} = \varepsilon_{max} / \omega_{cp}^2$ $k_{dA} = a_{max} / V_{cp}^2$
	4.3. Усереднений час розгону двигунів модулів: — кутового переміщення — лінійного переміщення	$t_p$
	4.4. Усереднена допустима відносна швидкість у кінематичних парах: — кутова — лінійна	$\omega_{max}$ $V_{max}$
5. Надійність	5.1. Наробіток на відмову системи тренажера	$T_{HC}$
	5.2. Усереднене значення коефіцієнта готовності для підсистеми	$T_{HP}$
	5.3. Усереднений ресурс модулів	$T_{PM}$
	5.4. Усереднений ресурс кінематичних пар	$T_{KP}$
	5.5. Усереднений ресурс "слабких" елементів	$T_{CE}$

Прийняті позначення:  $m_i$  – маса об'єкта маніпуляції ПП;  $N_D$  – сумарна потужність двигунів;  $n_s$  – число ступенів рухомості;  $\varepsilon_{\max}, a_{\max}$  – максимальні значення кутового пришвидшення ПП та пришвидшення полюса;  $V_{cp}, \omega_{cp}$  – усереднені лінійна та кутова швидкості модулів рухів;  $k_i = k_{eff} \cdot k_{st} \cdot L_{\max} / L_H$ ,  $L_{\max}, L_H$  – максимальні хід та номінальна довжина штанги;  $k_{st}$  – коефіцієнт урахування структури платформи (кількості штанг [6]). Усереднені оцінки для малих вибірок значень певного показника відповідають математичному очікуванню, для великих вибірок – визначають за функцією розподілу.

І.Г. Хольшевим і В.В. Бушуевим виконано порівняння ряду конструкцій гексаподів за критерієм ефективності займаної площі  $k_{eff}$  у вигляді

$$k_{eff} = \frac{S_{\bar{a}}}{S_{\delta i}} = \frac{L_{\bar{n}0} \cdot B_{\bar{n}0}}{l_{\delta i} \cdot b_{\delta i}}, \quad (1)$$

де  $S_{\bar{a}}$  – площа, відповідна до габариту верстата;  $S_{\delta i}$  – площа перерізу робочого простору гексапода;  $L_{\bar{n}0}, B_{\bar{n}0}$  – довжина та ширина гексапода;  $b_{\delta i}, l_{\delta i}$  – характерні розміри в плані робочого простору.

Припускаючи, що множина параметрів стану об'єкту проектування є замкненою, випуклою і не порожньою, показник технічного рівня  $U = U(q_{i,j})$ , значення якого є інваріантним рівню кваліметричної моделі, визначається за рішенням наступної системи неоднорідних лінійних рівнянь [6, 7]:

$$\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} & q_{15} & -1 \\ 0 & q_{22} & q_{23} & q_{24} & q_{25} & -1 \\ 0 & 0 & q_{33} & q_{34} & q_{35} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & q_{44} & q_{45} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_{55} & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

де  $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_5\}$  – стовпець невідомих вагових коефіцієнтів.

Індекси елементів  $q_{i,j}$  матриці нормованих показників якості в формулі (2) відповідають номеру показника у другому стовпцю таблиці 1.

Для нормування різноманітних фізичних шкал елементів множини  $\{Y\}$  у діапазоні  $[0,1 \dots 1,0]$  використано наступні рівняння [6]:

при відображенні без зміни градієнта:

$$q_i = 0,1 + 1,18 \operatorname{th} \left[ (y_i - y_i^-) / (y_i^+ - y_i^-) \right] \quad (3)$$

при зміні градієнта на протилежний

$$q_i = 1,0 - 1,18 \operatorname{th} \left[ (y_i - y_i^-) / (y_i^+ - y_i^-) \right] \quad (4)$$

де  $y_i^+, y_i^-$  – відповідно верхня і нижня межі статистично усередненого діапазону зміни показника певної ознаки.

Для порівняння технічного рівня обрано гексапод-прототип з 6-ма ступенями вільності, для якого за аналізом і статистичним усередненням параметрів ПП, та розрахункових значень функціональних показників, визначено межі зміни відповідних показників технічного рівня, виконано нормування відповідних показників згідно з (3) і (4), сформовано номенклатуру типових показників (табл. 1) та визначено технічний рівень інтегральним показником  $U = 0,76$  [6]. Для комбінованого тренажера-гексапода (рис. 3) усі показники прототипа збережено за виключенням критеріїв маневреності та швидкодії, які

для розглянутого тренажера покращені і також нормовані згідно з (3) і (4) та вирізнено у матриці (рис. 4, б) і на відповідній «павутині якості» (рис.4, а).

Шляхом покращання параметрів маневреності та швидкодії тренажера-гексапода ММ за груповими показниками  $q_{11}=0,81$  і  $q_{41}=0,59$  забезпечено підвищення системного (інтегрального) показника технічного рівня до значення  $U=0,86$ , що на 12,1% вище у порівнянні з базовою конструкцією прототипа, для якої  $U=0,76$ .

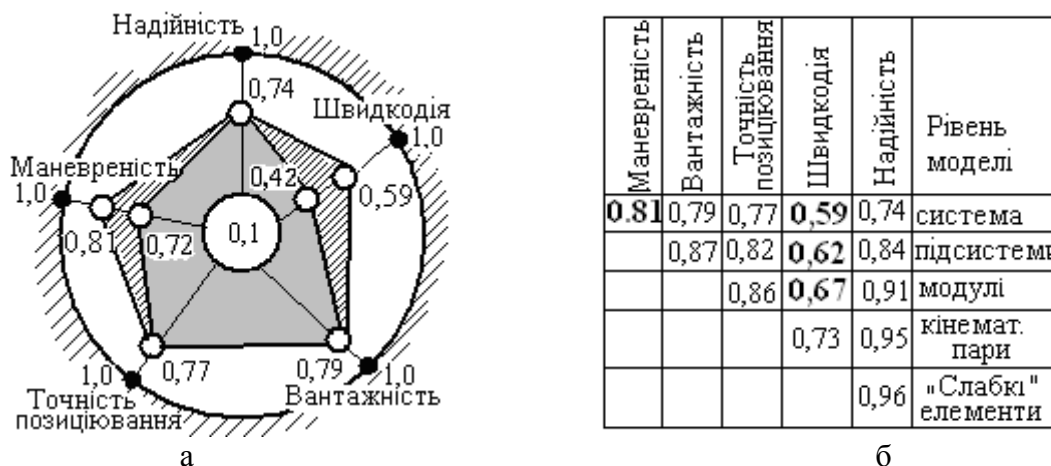


Рисунок 4 – “Павутина якості” (а) та матриця [Q] (б) для тренажера-гексапода прототипу (пунктиром позначено “павутину” для моделі (патент України 104273)

**Висновки.** 1. Для тренажерних систем ММ на основі гексаподу запропоновано удосконалениу конструкцію і виявлено резерви покращення за критеріями маневреності та швидкодії. 2. Опрацьовано методику оцінки технічного рівня комбінованого тренажера-гексапода при порівнянні альтернативних варіантів конструкцій.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Яглинский, В.П. Повышение подвижности кабин динамических тренажеров мобильных машин / В.П. Яглинский, А.С. Обайди, Н.В. Фелько // Технологический аудит и резервы производства. — 2014. — № 3/4 (17). — С. 44 — 48.
2. Яглинский, В.П. Кинематика оборудования на основе механизмов параллельной структуры: Монография / В.П. Яглинский, В.В. Ержуков, А.Г. Ивахненко, А.В. Киричек, В.В. Куц, А.В. Морозова, Л.А. Рыбак, Д.Л. Соловьев, М.А. Федоренко, А.В. Чичварин // Прогрессивное машиностроительное оборудование. Коллективная монография — Орел, Изд. дом “Спектр”, 2011. — 455 с.
3. Кузнецов, Ю.М., Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. — 456 с.
4. Merlet, J.P. Parallel Robots [Текст] // J.P. Merlet. – The Netherlands, Dordrecht: Springer, 2006. – 417 p.
5. Яглинський, В.П.. Багатокоординатний двосторонній модульний електропривод аерокосмічних тренажерних систем [Текст] / В. П Яглинський, М.В. Фелько, В.Т. Беліков // Патент України № 104273 від 10.01.2014.
6. Гутиря, С.С. Підвищення технічного рівня механізмів паралельної структури і кінематики у складі технологічних комплексів / С.С. Гутиря, В.П. Яглинський, А.С. Обайди // Технологічні комплекси. — 2012. — № 2,2 (5,6). — С. 50 — 56.
7. Yaglinsky V.P. Multi-criterion optimization functional trajectories of industrial robots / V.P. Yaglinsky, S.S. Gutyrja, O.U. Bezuglenko // Annals of DAAAM International 2004. — Vienna, 2004. — P. 37 — 38.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ВИХОДУ РОБОЧОГО ОРГАНУ ВЕРСТАТА З МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ПОЗИЦІЮ

Струтинський В.Б., Дем'яненко А.С.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Однією з важливих вимог, що ставляться перед верстатами з механізмами паралельної структури (МПС) є забезпечення необхідних параметрів точності обробки. На сьогоднішній день для вирішення даної задачі проводиться періодичне калібрування шляхом вимірів еталонної деталі, що не враховує особливостей просторового переміщення рухомої платформи верстата. В зв'язку з цим, для ідентифікації геометричних параметрів верстата з МПС та визначення похибки виходу робочого органу в задану позицію актуальним є розробка спеціального оснащення.

Спеціальне оснащення складається з системи сфер 1 діаметром 35 мм, які жорстко зафіксовані на опорах 2 (рис 1, а). Опори встановлюються на основі 3. Допуск сферичності кожної зі сфер регламентується в межах до 0,1 мкм. Відстань між центрами сфер  $x_i$ ,  $y_i$  не виходить за межі допуску 0,5 мкм на 100 мм вимірювальної довжини. Основною вимогою до матеріалу, з якого виготовляються сфери є стійкість до температурних деформацій. В зв'язку з цим, доцільним є виготовлення сфер з композитів, надтвердих матеріалів або кераміки. Основа 3 має забезпечувати постійність геометричних характеристик та мати якомога меншу вагу, тому раціональним є її виготовлення з вуглепластику.

Приведені конструкції дають можливість визначити параметри точності позиціонування робочого органу верстата при відпрацюванні лінійних переміщень (рис. 1, а) та при переміщеннях в площині (рис. 1, б). Для проведення вимірів в площині, що розташована під кутом  $\theta$  до установчої поверхні 1 (рис. 2), на якій встановлюється спеціальне оснащення 2, пропонується використовувати спеціальні додаткові приспособи типу стійки-трипода 3. Основними недоліками зазначених вище конструкцій є неможливість проведення вимірів в просторі за один установ; недостатня точність при встановленні під кутом до установчої площини; неможливість регулювання відстані між центрами вимірювальних сфер.

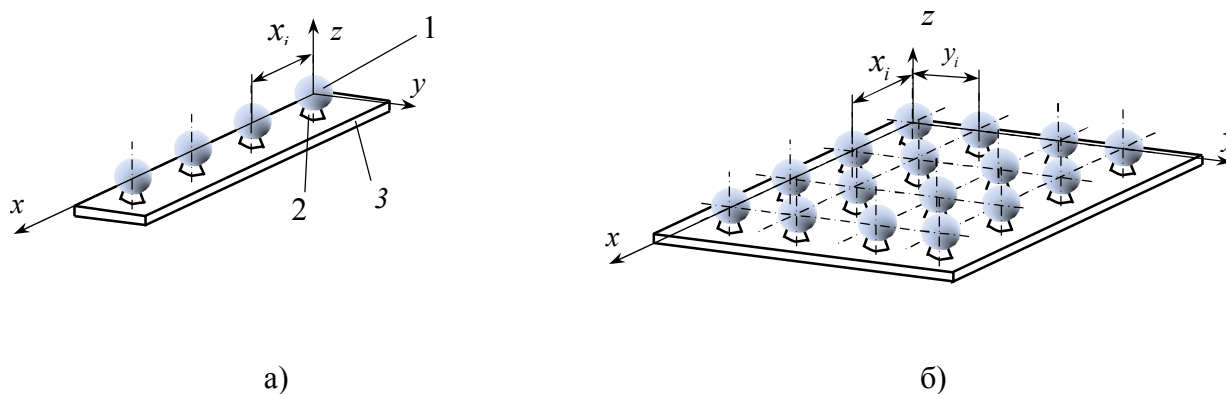


Рис. 1. Конструктивна схема оснащення для визначення похибки позиціонування вздовж однієї з координат (а) та по площині (б)

Визначення положення робочого органу верстата у просторі можливе при використанні конструкції, що складається з системи сфер 1, які зафіксовані по гранях куба (рис. 3). Просторове розташування сфер забезпечується за рахунок круглих профілів 2, торці яких мають сферичну форму з установчими поверхнями 3, що забезпечують точне встановлення кожної сфери по трьом точкам. Недоліками даної конструкції є неможливість зміни просторової конфігурації системи сфер, а також неможливість регулювання відстані між ними.

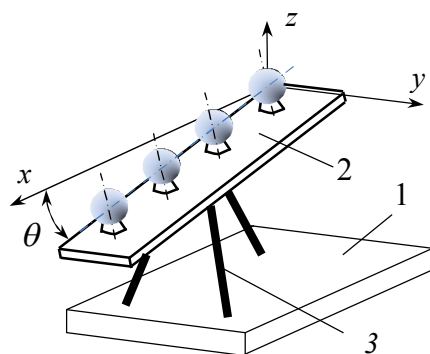


Рис. 2. Розташування системи сфер під кутом до установочної площини

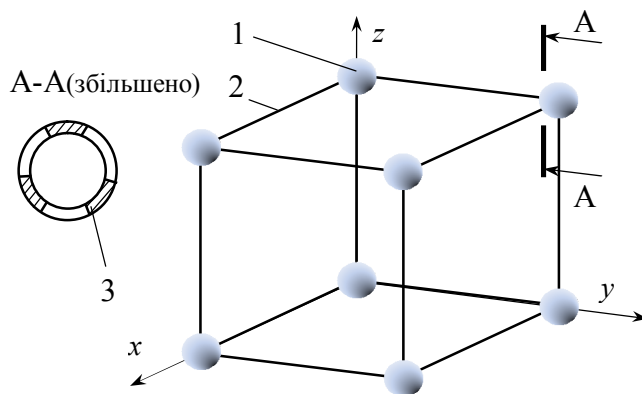


Рис. 3. Просторове розташування сфер по гранях куба

З урахуванням основних переваг та недоліків розглянутих конструктивних рішень, було розроблено конструкцію спеціальних пристроїв (калібрів) для ідентифікації геометричних параметрів точності верстата з МПС та визначення параметрів його точності. В якості калібрів використовується система точних сфер, які розміщені в точно визначених положеннях в межах робочого простору верстата. Сфери виготовлені із кераміки, яка має мінімальні термічні деформації. Сфери розміщуються в отворах однотипних модулів у вершинах квадратів сторони  $100 \pm 0,002$  мм (рис. 4, а).

Кожний модуль складається з основи 1, в якій встановлено високоточні сфери 2 діаметром  $35 \pm 0,001$  мм (рис. 4, б). Сфери фіксуються в основі за допомогою фіксаторів 3. Для визначення параметрів точності верстата з МПС при прямолінійному русі інструмента, в основі передбачено пази 4. Із модулів формуються плоскі або просторові структури різної конфігурації.

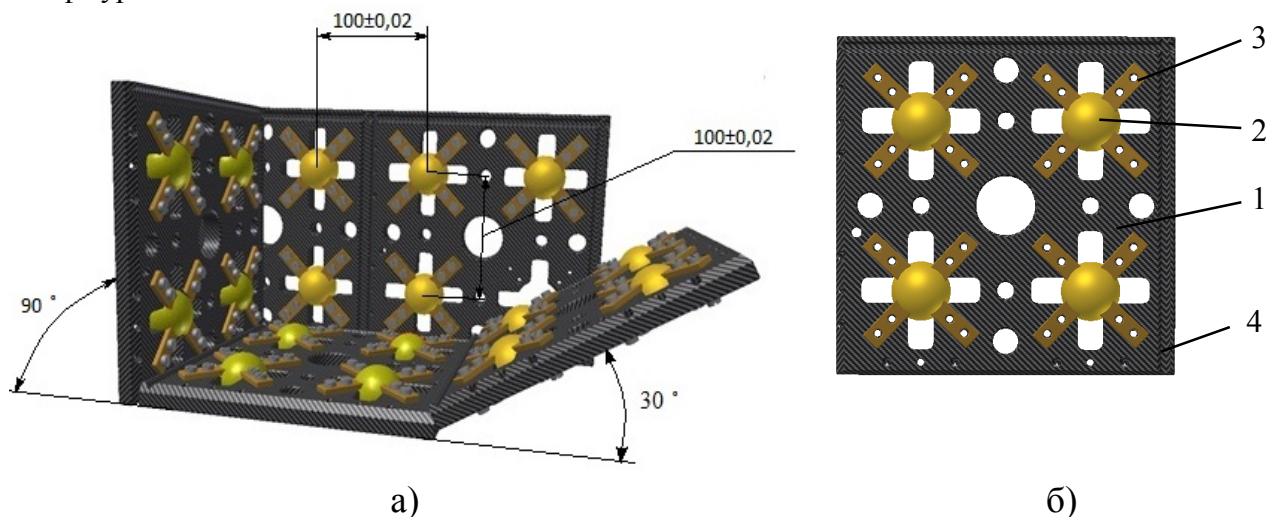


Рис. 4. Спеціальне оснащення з однотипних модулів для визначення точності виходу виконавчого органу верстата в позиції: а – розташування модулів під кутами  $90^\circ$ ,  $30^\circ$ ; б – конструкція окремого модуля.

Положення сфер контролюється призмами (рис. 5). Допуск перпендикулярності поверхні призми А відносно поверхні Б регламентується в межах до  $0,001$  мм. Відстань Н між боковими поверхнями призм – в межах до  $0,01$  мм та забезпечується за рахунок використання кінцевих плоскопаралельних мір. При контролі паралельності розташування центрів сфер необхідно умовою  $\epsilon: L > x_i$ .

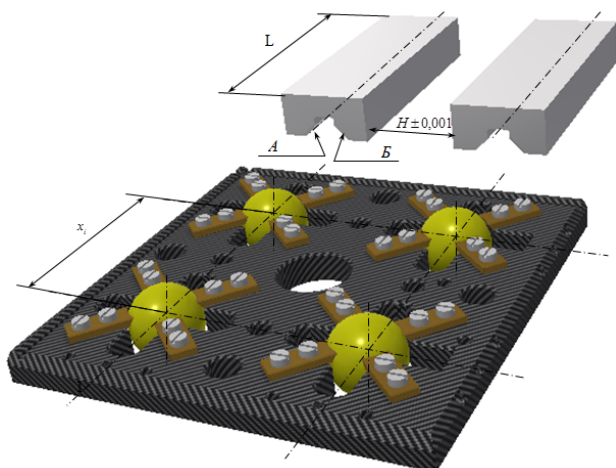


Рис. 5. Контроль взаємного розташування сфер спеціального оснащення за допомогою призм



Рис. 6. Встановлення спеціального оснащення для калібрування на столі верстата з МПС

Для здійснення операції калібрування, розроблене оснащення встановлюється на столі верстата (рис. 6). В шпинделі верстата встановлюється вимірювач з контактним щупом. Виміри фактичного положення робочого органу верстата проводяться при дотику щупа вимірювача до сфери. При проведенні вимірів контактним щупом, аналітично визначається координата центру першої (базової) сфери розробленого оснащення. Всі подальші виміри проводяться відносно центру прийнятої базової сфери.

Для визначення похибки виходу робочого органу верстата в позицію з використанням розробленого оснащення в середовищі LabView розроблено окрему підпрограму.

Координати центрів сфер, що визначаються за допомогою вимірювального щупа, можуть вводитись на основі експериментальних даних в поля блоку 1 або подаватись напряму від контактного щупа через блок АЦП. В результаті розрахунку, похибка позиціонування робочого органу верстата виводиться в блоці полів 3 у вигляді результату обчислень різниці відповідних координат  $x, y, z$  базової та вимірювальної сфер.

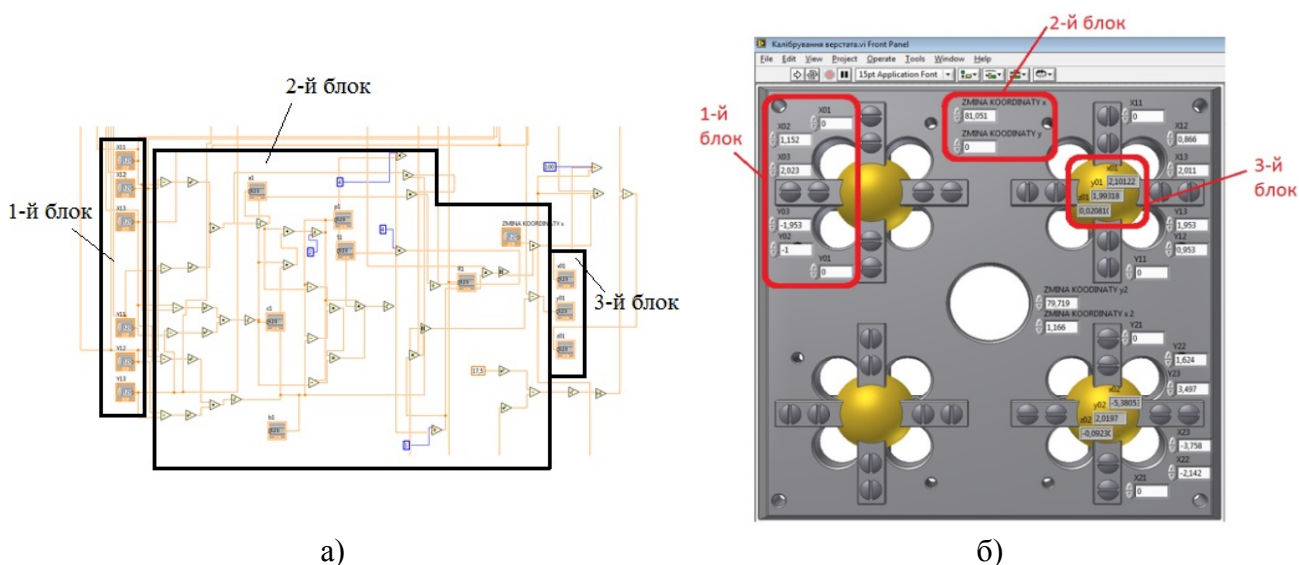


Рис. 7. Блок-діаграма (а) та зовнішній інтерфейс користувача (б) підпрограми для визначення похибки позиціонування верстата з МПС



При проведенні калібрування, дані про положення робочого органу, що відображаються в програмному забезпеченні системи ЧПК порівнюються з даними фактичного просторового положення сфер розробленого оснащення та визначається похибка виходу робочого органу в задану позицію.

Використання розробленого оснащення дає можливість ідентифікувати геометричні параметри верстата з МПС шляхом визначення похибки позиціонування робочого органу при відпрацюванні лінійних, плоско-паралельних та просторових переміщень та вводити необхідну корекцію систему ЧПК для підвищення точності обробки.

## **ХОЛОДНОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

Алиева Л.И., Шкира А.В., Гончарук К.В.

Донбасская государственная машиностроительная академия

Развитие ресурсосберегающих процессов холодной объемной штамповки выдавливанием во многом связано с поиском новых способов выдавливания, способствующих расширению технологических возможностей процессов пластического формообразования за счет повышения сложности конфигурации штампуемых деталей [1].

Новые способы поперечного и комбинированного поперечно-продольного выдавливания имеют ряд особенностей, обусловленных более сложной кинематикой течения металла и формой деталей. Основными отклонениями формы деталей с боковыми отростками и фланцами являются незаполнение угловых элементов, утяжины, грибовидность, овальность и клиновидность фланцев, несоосность полостей наружному контуру. Предложены приемы, направленные на упреждение возможных отклонений и дефектов формы, а также на снижение полных и удельных нагрузок на деформирующий инструмент, и, соответственно, на уменьшение упругих деформаций инструмента [2].

Дифференцированное распределение степени деформации по переходам с обеспечением финишной обработки с пониженной степенью позволило повысить размерную точность деталей до 7-8 квалитетов.

Предложено обеспечить дозирование объема исходных заготовок на операциях калибровки исходной заготовки, а возможные отклонения, связанные с колебаниями объема, сосредотачивать на отдельных размерах и поверхностях, которые целесообразно доработать путем последующей механообработки.

При поперечном (радиальном) выдавливании применение разъемных матриц делает необходимым нейтрализацию недостаточной жесткости дополнительных узлов для зажима полуматриц и возможных колебаний высотных размеров путем введения операций калибровки (чеканки) фланцев. Тонкие фланцы лишь дополнительные точки воздействия для выталкивания из матриц.

При выдавливании прецизионных тонкостенных деталей из легких сплавов используется преимущество подвижных матриц, заключающееся в достижении более высокой точности при деформации детали в одном и том же формообразующем инструменте. С этой точки зрения эффективно применение оправок-спутников при формировании деталей с рифлеными наружными и внутренними поверхностями [3–4].

Предложен новый способ, по которому сьем полый тонкостенной детали с пуансона осуществляется только после выталкивания из матрицы.

Холодным выдавливанием получены детали (типа стаканов и фланцев) арматурных соединений, радиоаппаратуры и двигателей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Головин В. А. Технология холодной штамповки выдавливанием / В. А. Головин, А. И. Митькин, А. Г. Резников. - М.: Машиностроение, 1970. – 152с
2. Алиев И. С. Поиск и классификация новых технологических способов выдавливания / И. С. Алиев // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: темат. Зб. наук., пр. – ДДМА. Краматорськ, 2003. – С. 207 – 212.
3. Головин В. А. Актуальные проблемы холодной и полугорячей объемной штамповки / В. А. Головин // Кузнечно-штамповочное производство. - 1985. - № 8. С. 34 – 35.
4. Алиев И.С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания / И.С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство,-1990. -№2.С. 7-10.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛЫХ КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Алиев И.С., Гнездилов П.В.

Донбасская государственная машиностроительная академия

В промышленности широко используются корпусные осесимметричные детали (штуцеры, корпуса зарядов, переходники, сопла и т.д.). Наиболее перспективным способом получения полых конических деталей является процесс комбинированного выдавливания. Данный метод является эффективным при получении деталей с высокой точностью размеров и качеством поверхности. Несмотря на существенные преимущества, применение этих процессов на производстве ограничено из-за высоких удельных сил деформации. Примеры освоения процессов комбинированного выдавливания весьма ограничены и требуют изучения деформационного и силового режима [1].

При анализе процесса выдавливания установлено, что управляющими параметрами процесса являются (рис.1а) углы наклона образующей матрицы и пуансона  $\alpha_m$  и  $\alpha_n$ , соответственно, положение исходной заготовки в матрице (Н) и условия контактного трения  $\mu$ . Целью данной работы является изучения влияния угла наклона пуансона на процесс выдавливания полых конической детали.

Моделирование процесса проводилось в программном комплексе DeForm 3D. Материал заготовки алюминиевый сплав АД1 с размерами  $D=49,4\text{мм}$ ,  $d=42\text{мм}$ ,  $h=21\text{мм}$  (см. рис.1а). В качестве базовых параметров приняты углы наклона образующей матрицы,  $\alpha_m=10^\circ$  и условия контактного трения  $\mu=0,08$ . В работе рассматривался пуансон с углами наклона  $\alpha_n=8^\circ, 10^\circ, 12^\circ$ .

На стадии распрессовки и стадии комбинированного выдавливания (рис.1б) наблюдается незначительное изменение усилия для различных углов наклона пуансона. При достижении заготовкой торца протупуансона происходит резкое увеличение сил деформирования за счет перехода к стадии обратного выдавливания. С увеличением угла наклона пуансона ( $\alpha_n$ ) значительно возрастает усилие, которое составило 293кН при пуансоне с  $\alpha_n=8^\circ$ , 389кН при  $\alpha_n=10^\circ$ . Для пуансона с  $\alpha_n=10$  сила деформирования составила 527кН за счет увеличения обжатия заготовки.

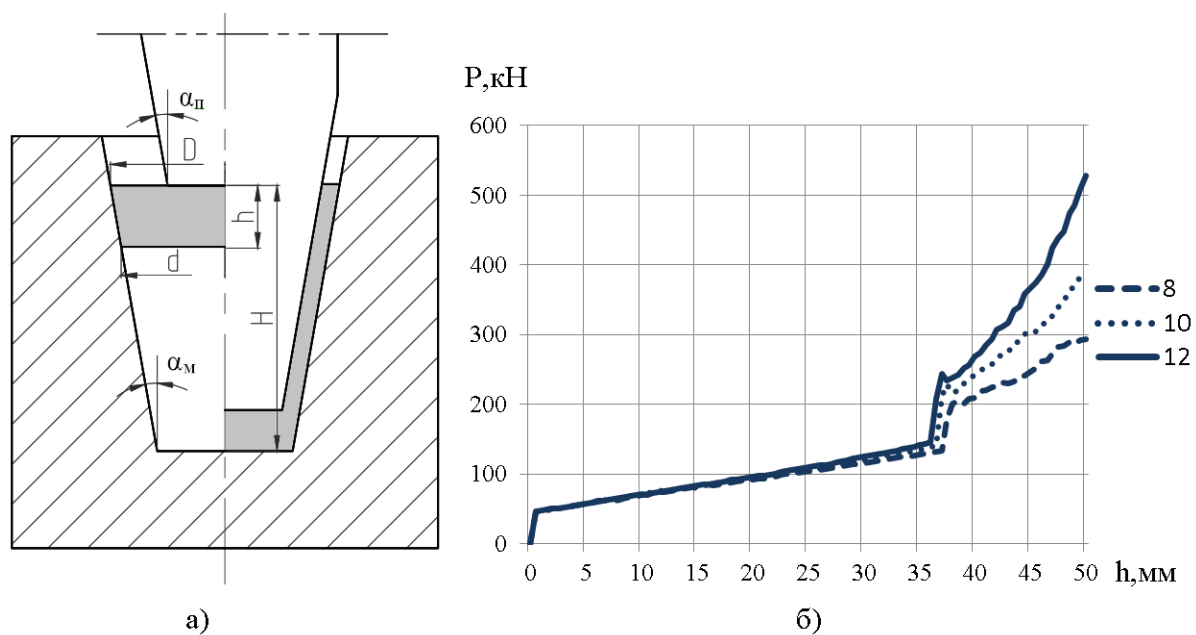


Рис. 1 Схема процесса комбинированного выдавливания (а) и характер изменения силовых параметров при углах наклона пуансона  $\alpha_n=8^\circ, 10^\circ, 12^\circ$

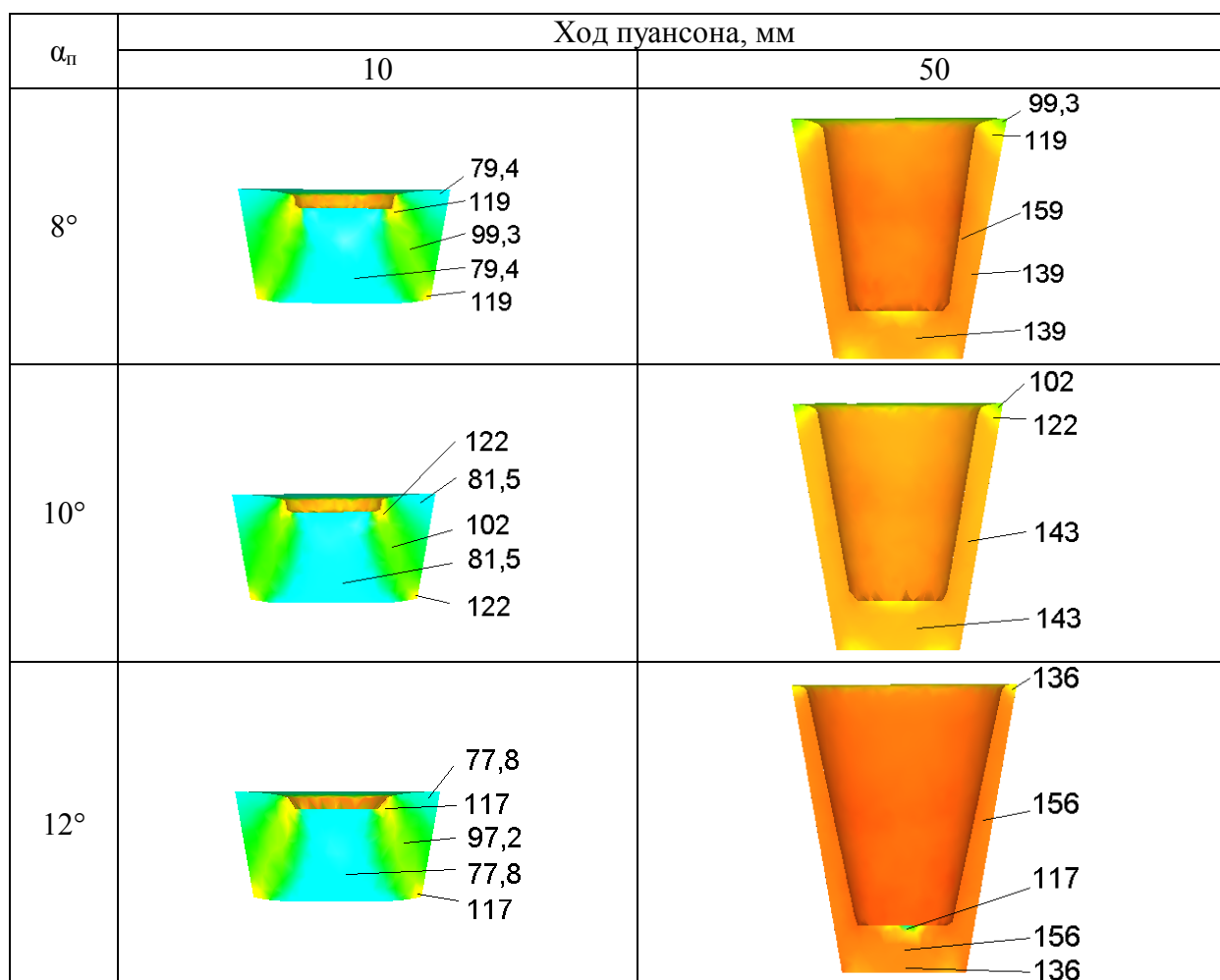


Рис. 2 Изменение напряжения сечения ( $\sigma$ , МПа) полой конической детали при увеличении угла наклона пуансона

Максимальные напряжения (рис.2) на начальных стадиях процесса комбинированного выдавливания наблюдаются в углах контакта заготовки с матрицей и пуансоном, распределяясь к дну и стакану формируемой детали. Конечная полая коническая деталь имеет равномерное распределение напряжения по всему сечению, обеспечивая хорошие механические свойства. Максимальные напряжения составили 159 МПа для схемы с углом наклона пуансона  $8^\circ$ . В верхней части полученной детали наблюдается утяжина из-за воздействий сил трения, однако стакан и дно имеют качественную поверхность.

### **ВЫВОДЫ**

Проведено КЭ-моделирование процесса выдавливания полой конической детали при помощи программного продукта DeForm 3D. Определено повышение энергоэффективных параметров процесса от увеличения угла наклона пуансона. Рассмотрено изменение напряжения сечения полой конической детали. На конечной стадии процесса происходит равномерное распределение напряжения по дну и стакану детали.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Алиев И.С. Интенсификация технологических процессов выдавливания полых деталей / И.С. Алиев, В.П. Еремин // Совершенствование процессов и машин обработки давлением : сб-к научн. Трудов. – К.: УМК ВО. – 1988. – С. 9-18.

## **ОЦІНКА ДИНАМІЧНОЇ ЯКОСТІ ОБЛАДНАННЯ З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ**

Ю.М. Кузнецов, Ю.М. Бардачов, Д.О. Дмитрієв .  
Національний технічний університет України «КПІ»  
Херсонський національний технічний університет

Успіх створення будь-якого нового технологічного обладнання ґрунтується на всебічній оцінці очікуваних технічних показників, зокрема, для верстатного обладнання основними характеристиками є динамічні властивості. Однак для такої оцінки необхідно враховувати динамічну складову сили різання, що змінює власне значення і напрям у часі, жорсткість технологічної системи в конкретній точці робочого простору, інерційні властивості та демпфування [1, 3]. Багатокоординатне металообробне обладнання з механізмами паралельної структури (МПС), побудоване із застосуванням замкнених шарнірно-стрижневих кінематичних ланцюгів як просторових ферм змінної форми має змінну жорсткість робочого органу (РО) [2, 4]. Тому постає проблема визначення динамічної якості компонувань верстатів з МПС в залежності від складності технологічних рухів і переходів та необхідних стратегій обробки, що обумовлені геометрією оброблюваних поверхонь узгоджених з конструкцією МПС і його розташуванням в компоновці верстату.

В даній роботі запропоновано підхід побудови динамічного відгуку за набором заданих складних технологічних умов обробки різанням і спрямованого проектування компоновок обладнання з МПС. Дана методика використовує в якості вхідних даних результати попередніх вимірювань статичних показників однієї компоновки-прототипа (макету обладнання) з подальшим теоретичним визначенням областей рішень і варіацією усіх динамічних змінних для створення інших нових компоновок обладнання із заданими вібраційними властивостями (рис. 1, а). Запрограмовано математичну модель динамічної системи [4] обладнання нових компоновок і створено програмний модуль «Tools App» з власним інтерфейсом [5]. Програма виконує функції по розрахунку величин складових зусилля за технологічними режимами обробки, величини переміщення робочого органу (рис. 1, б) та визначення динамічних характеристик за ортогональними осями, визначення

величини загального переміщення РО у просторі враховуючи крутильні коливання (рис. 1, в). Передбачено можливість знаходження часу стабілізації системи при дії змінного навантаження (рис. 1, г). Програма надає можливість дослідження динамічних похибок при обробці деталей складної форми, де з'являються періодичні ударні навантаження, тобто деталі з виступами, пазами, та полігональні. У програмі «Tools App» значення складових зусилля різання по координатних осях задається у якості аналітичних залежностей.

Основою підходу є аналіз динамічних образів компоновок обладнання з МПС по заданим комбінованим технологічним допоміжним і робочим переходам, що збуджують механічні коливання із керованою зміною швидкості, прискорення і сил та моментів, що навантажують РО, за якими складається база даних динамічних показників. За даними моделювання визначаються імовірні маси ланок РО, демпфуючі властивості окремих вузлів і конструкції в цілому. Надалі обирають необхідну компоновку верстату і розміри РО, при необхідності може бути виконано перевірку методом кінцевих елементів у сучасних "важких" САЕ системах або проведені експериментальні вимірювання аналізаторами спектра вібрацій.

За допомогою «ToolsApp» визначено вібропереміщення, віброшвидкість, віброприскорення, власні частоти і числові значення коефіцієнтів демпфування та динамічні особливості обладнання з МПС за умов роботи з циклічними вібраційними навантаженнями.

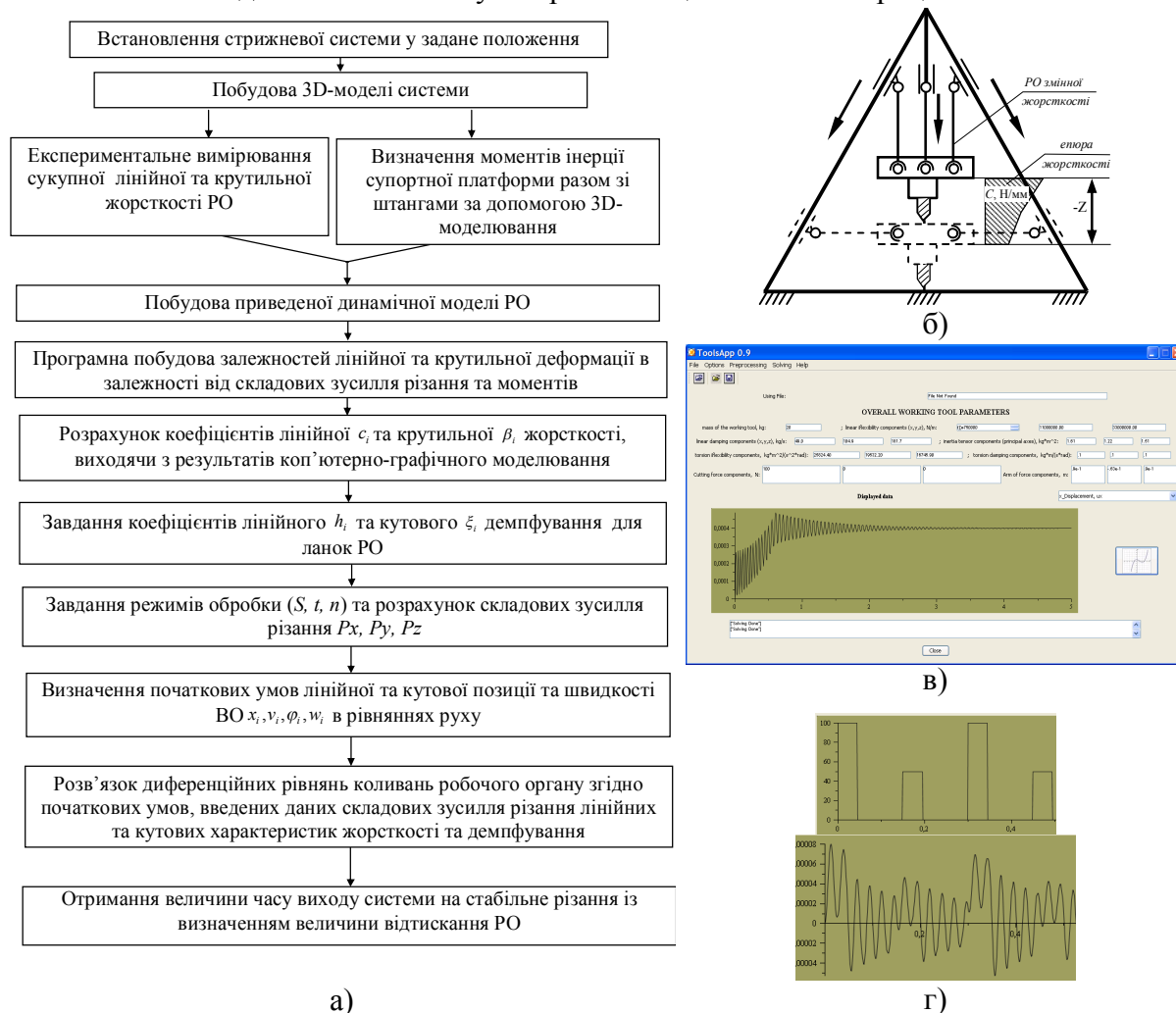


Рис.1 - Приклад динамічної оцінки РО змінної жорсткості: а) - послідовність визначення динамічних параметрів РО; б) – схема і циклограма переміщення РО; в) – результат моделювання (часова реалізація коливального процесу при русі РО по координаті Z); г) – коливання РО при імпульсному навантаженні РО

Описані процедури суттєво скорочують час проектування нового обладнання з МПС за рахунок інтерактивного моделювання динамічних властивостей на рівні способу обробки без завдання конструктивних особливостей верстату.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Внуков Ю.Н., Кучугуров М.В., Дядя С.И., Зинченко Р.Н., Гончар Е.А. Способ и устройство для исследования регенеративных автоколебаний при точении (<http://www.zntu.edu.ua/publikaciyi-kafedri-3>)
2. Кузнецов Ю.Н. Токарный суппорт – гексаглайд: жесткость и динамика. /Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Дмитриев, М.И. Подольский.// Труды международной научной конференции. Габрово, 2012, том 2, стр 69-74.
3. Струтинський В. Б. Динамічні процеси в металорізальних верстатах: монографія/ В. Б. Струтинський, В. М. Дрозденко// – Київ : Основа-Принт, 2010. – 440 с.
4. Русанов С.А., Кузнецов Ю.М., Подольский М.І., Дмитрієв Д.О. Методика визначення динамічних характеристик верстата з стрижневою супортною системою/ С.А. Русанов , Ю.М. Кузнецов, М.І. Подольский, Д.О. Дмитрієв // Вісник ХНТУ: Херсон. - № 3(50), 2014. – С.442-451.
5. Русанов С.А., Дмитрієв Д.О., Подольский М.І., Кузнецов Ю.М. Свідоцтво № 57913 від 29.12.2014 "Компютерна програма "ToolsApp"

### **МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ СИЛОВИХ ФАКТОРІВ НА ПОХИБКУ ФОРМИ КІЛЬЦЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РОЗТОЧУВАННІ АДАПТИВНИМ БАГАТОЛЕЗОВИМ ОСНАЩЕННЯМ.**

Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М.,  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Вступ.** Розмірна обробка кільцевих деталей на технологічних операціях точіння, шліфування і інших пов'язана з прогином оброблюваних поверхонь під дією сил різання і закріплення з подальшим формуванням пов'язаних з цим похибок обробки. Головною проблемою при цьому є недостатня жорсткість заготовки і в цілому технологічної системи. У таких випадках деформації деталі внаслідок закріплення у багатьох випадках співрозмірні з допуском на механічну обробку. Тому досягнення заданих параметрів точності форми обробленої поверхні кільцевих заготовок стає складним технологічним та виробничим завданням. Досягнення мінімізації похибки обробки можливе лише при правильно вибраних методах і засоби технологічної підготовки виробництва. Вони повинні сприяти мінімізації основних похибок, які можуть виникнути на різних стадіях реалізації технологічного процесу.

**Актуальність дослідження.** Багатолезове розточування кільцевих заготовок, на відміну від однолезової обробки, є одним із ефективних методів зменшення макро- і мікропохибок обробки та неприпустимих коливань, які виникають при різанні [1], [2]. Проте, точність форми при обробці кільцевих заготовок в значній мірі визначатиметься параметрами системи затиску для їх базування і закріплення. Нерівномірна жорсткість затискного пристрою, що має дискретне розташування затискних елементів по контуру затиску, спричиняє зміну складових радіальних відтискань, що негативно впливає на точність форми оброблюваної поверхні. Для зменшення впливу сили затиску та досягнення необхідного допуску круглості існують стандартні шляхи вирішення цієї проблеми: розподіл затискного зусилля за рахунок збільшення числа точок його прикладання; розподіл затискного зусилля за рахунок збільшення площі контакту; регулювання затискного зусилля. Але всі ці шляхи вимагають визначення оптимального числа затискних елементів і сили

затиску в кожному кутовому положенні затискних елементів для запобігання провртання деталі при забезпеченні деформації в межах допустимих значень [3, 4]. Виходячи із вище викладеного актуальним є розробка аналітичної моделі формування похибки форми для прогнозування кінцевого профілю кільцевих деталей при розточуванні багатолезовим оснащенням адаптивного типу.

**Постановка задачі.** Формування відхилення від форми кільцевих циліндричних деталей є наслідком таких ефектів: пружної деформації у зв'язку із дією сил затиску; деформації внаслідок дії сил різання; залишкових напружень, викликаних процесом обробки [5]. Одним із методів мінімізації пружних деформації та деформацій внаслідок дії сил різання при обробці внутрішніх поверхонь кільцевих деталей є застосування комплексного адаптивного технологічного оснащення, яке включає багатолезове інструментальне оснащення адаптивного типу та відповідні затискні пристрої з можливістю регулювання сили затиску (рис.1).

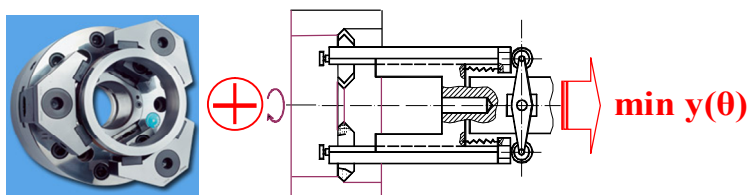


Рисунок 1 – Комплексне адаптивне технологічне оснащення для розточування кільцевих заготовок

Для визначення впливу пружних деформації та деформацій внаслідок дії сил різання при обробці внутрішніх поверхонь кільцевих деталей комплексним адаптивним технологічним оснащенням запропоновано теоретичну модель формування похибки форми кільцевих деталей. Основою моделі є теоретичні підходи до визначення деформації кільцевих заготовок при зовнішньому навантаженні силами затиску [6] (рис.2) та внутрішніми навантаженням, викликаними силами різання, що виникають при обробці багатолезовим самоналагоджувальним оснащенням (рис.3).

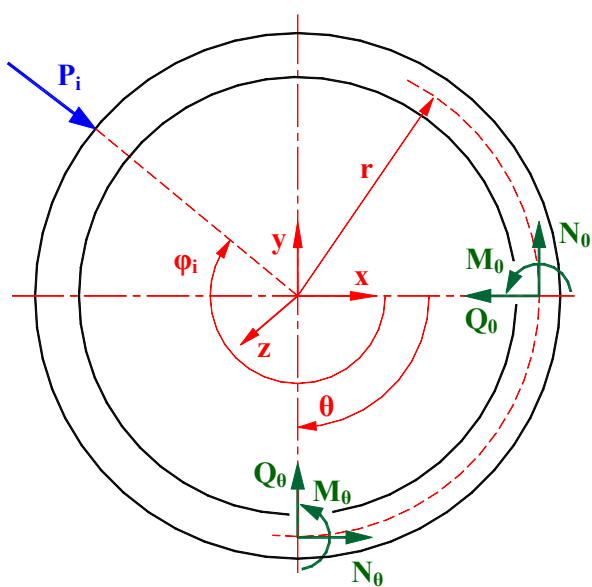


Рис. 2 – Зусилля на затискному елементі при затиску кільцевої заготовки

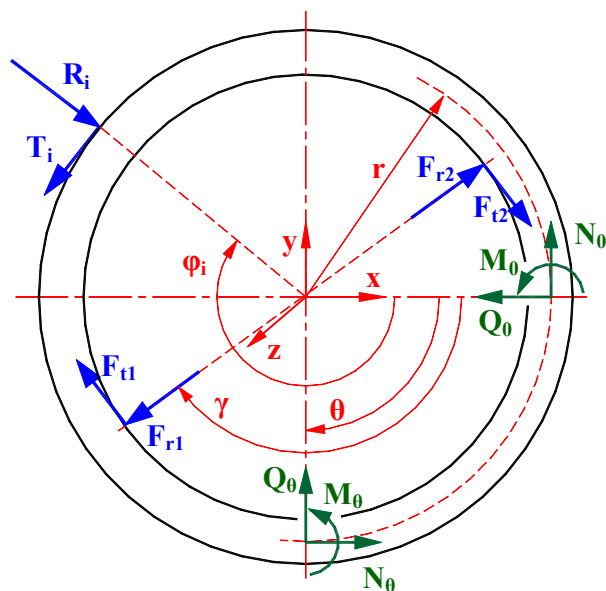


Рис. 3 – Сили різання і реакції на затискних елементах, викликані ними, при дволезовому розточуванні

На основі розгляду схеми дії силових факторів при затиску заготовки отримані залежності для визначення в площині перетину кільця  $\theta=0$  та будь-якому іншому перетині, що визначається кутом  $\theta$ , внутрішніх зусиль:

$$N_0 = \sum_{i=1}^n \frac{\Phi_i}{2\pi} P_i \sin \varphi_i; \quad Q_0 = \sum_{i=1}^n \frac{\Phi_i}{2\pi} P_i \cos \varphi_i; \quad M_0 = -rN_0 - \sum_{i=1}^n \frac{P_i r}{2\pi} P_i, \quad (1)$$

$$N_\theta = N_0 \cos \theta - Q_0 \sin \theta + \bar{N}_\theta; \quad Q_\theta = N_0 \sin \theta - Q_0 \cos \theta + \bar{Q}_\theta; \\ M_\theta = N_0 r (1 - \cos \theta) + Q_0 r \sin \theta + M_0 + \bar{M}_\theta \quad (2)$$

де  $P_i$  – сила затиску  $i$ -м кулачком;  $\varphi_i$  – кут прикладання сили затиску;  $r$  – середній радіус кільця,  $\bar{N}_\theta, \bar{Q}_\theta, \bar{M}_\theta$  – вектори зовнішніх навантажень, що визначаються силами затиску  $P_i$ , прикладеними в точці  $\varphi_i$ .

Рівняння рівноваги при дволезовому розточуванні кільцевої заготовки (рис.3) можуть бути виражені через складові сил різання  $F_{r1}, F_{r2}, F_{t1}, F_{t2}$  і сили реакції затискних елементів  $P_i$  та  $T_i$ :

$$\begin{cases} \sum F_x = \sum_{i=1}^n R_i \sin \varphi_i + \sum_{i=1}^n T_i \cos \varphi_i - F_{r1} \sin \gamma - F_{r2} \sin(\gamma + \pi) - F_{t1} \cos \gamma - F_{t2} \cos(\gamma + \pi) = 0 \\ \sum F_y = \sum_{i=1}^n R_i \cos \varphi_i + \sum_{i=1}^n T_i \sin \varphi_i - F_{r1} \cos \gamma - F_{r2} \cos(\gamma + \pi) + F_{t1} \sin \gamma + F_{t2} \sin(\gamma + \pi) = 0 \\ \sum M_z = -F_{t1} r_{\text{вн}} - F_{t2} r_{\text{вн}} + \sum_{i=1}^n T_i r_{3\text{н}} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Дана система є статично невизначеною, тому для її розв'язку складають додаткові рівняння з використанням теореми Кастельяно для відхилень кільця під дією зайвих реакцій (рис.2). Згідно теореми Кастельяно, відхилення кільця під дією зовнішнього навантаження може бути отримано диференціацією виразу для енергії деформації деформованого кільця  $U$  з врахуванням відповідного зовнішнього навантаження:

$$\frac{\partial U}{\partial P_j} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial T_j} = 0 \quad (4)$$

де  $P_j, T_j$  – зайва сила з індексом  $j = 4, \dots, n$ ;  $U$  – енергія деформації деформованого кільця від зовнішнього навантаження  $P_i, T_i$ .

У випадку тонкої зігнутої балки внутрішніми нормальними і поперечними силами можна знехтувати. Тоді енергія деформації деформованого кільця під дією внутрішнього згинального моменту визначиться залежністю:

$$U = \int_0^{2\pi} \frac{M_\theta^2 r}{EI} d\theta, \quad (5)$$

де  $I_z = \frac{wt^3}{12}$  – момент інерції навколо осі  $z$  для прямокутного перерізу з шириною  $w$  і товщиною  $t$ ;  $E$  – модуль пружності другого роду.

На рис. 4 приведені деякі позиції кулачків по відношенню до радіальних та тангенціальних складових сил різання. Як видно із рис. 4,б радіальні сили реакції на кулачках створюватися не будуть на відміну від однолезової обробки (рис.4,а) при умові забезпечення адаптивним дволезовим оснащенням рівності складових сил різання  $F_{r1}=F_{r2}$ . Це саме буде стосуватися і тангенціальних сил реакції на кулачках при умові забезпечення рівності складових сил різання  $F_{t1}=F_{t2}$ .



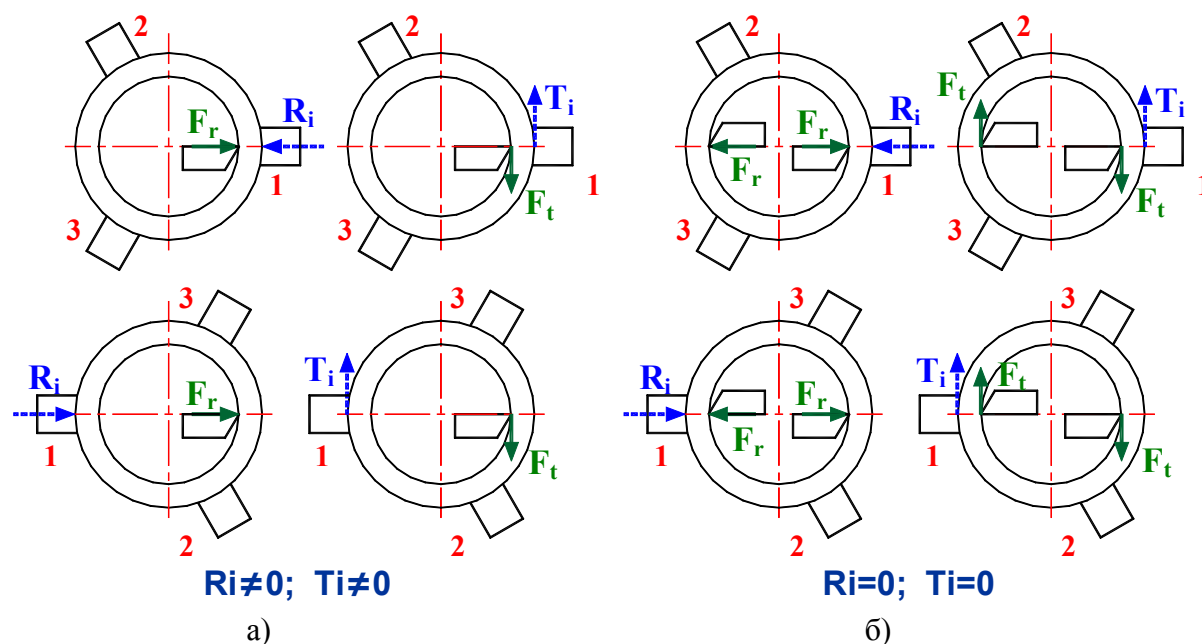


Рисунок 4 – Умови створення на кулачках додаткових радіальних  $R_i$  та тангенціальних  $T_i$  реакцій при розточуванні однолезовим (а) та дволезовим (б) оснащенням з врахуванням позиції кулачків

На рис. 4 приведені деякі позиції кулачків по відношенню до радіальних та тангенціальних складових сил різання. Як видно із рис. 4,б радіальні сили реакції на кулачках створюватися не будуть на відміну від однолезової обробки (рис.4,а) при умові забезпечення адаптивним дволезовим оснащенням рівності складових сил різання  $F_{r1}=F_{r2}$ . Це саме буде стосуватися і тангенціальних сил реакції на кулачках при умові забезпечення рівності складових сил різання  $F_{t1}=F_{t2}$ .

**Результати досліджень.** Результатами моделювання є кінцеві профілі кільцевих циліндричних деталей при певних умовах обробки різною кількістю лез багатолезового самоналагоджувального оснащення. По кінцевому профілю після обробки багатолезовим самоналагоджувальним оснащенням і прогнозуючій моделі сил реакції затискних елементів, можна визначити мінімальне число затискних елементів та діапазон прийнятних сил затиску, що гарантує необхідний допуск круглості кільцевих циліндричних деталей, забезпечуючи їх надійний затиск під час обробки.

Для прикладу у табл.1. приведені результати моделювання, отримані за теоретичною моделлю при затиску у трикулачковому патроні кільця із зовнішнім діаметром 71 мм, внутрішнім діаметром 58 мм і шириною 18 мм при силах затиску  $P_1=P_2=P_3=2300$  Н. Повна теоретична похибка обробки при затиску кільця у трикулачковому патроні буде складати 26,5 мкм.

Таблиця 1 – Відхилення профілю від теоретичного в різних точках кільця при сумарній силі затиску трикулачковим патроном  $P_{\Sigma}=6900$  Н

	Кутове положення, град.					
	0	30	60	90	120	150
$y_p(\theta)$ , мкм	-14	1	12,5	1	-14	1
	180	210	240	270	300	330
$y_p(\theta)$ , мкм	12,5	1	-14	1	12,5	1

**Висновки.** Запропоновано універсальну аналітичну модель формування похибки форми для прогнозування кільцевих циліндричних деталей при розточуванні самоналагоджувальним дволезовим інструментальним оснащенням. Модель дозволяє

враховувати багатоточкове прикладання зусилля затиску від затискного пристрою та вплив сил різання від одно- та дволезового інструментального оснащення. На основі розгляду умов створення на кулачках додаткових радіальних та тангенціальних реакцій від однолезового та самоналагоджувального дволезового інструментального оснащення з врахуванням позиції кулачків доведено, що при використанні дволезового самоналагоджувального інструментального оснащення додаткові реакції на кулачки від сил різання створюватися не будуть при умові забезпечення їх рівності.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія/ [Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н.]. – К.: - Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.
2. Зажимные механизмы и технологическая оснастка для высокоэффективной токарной обработки: Монография/ [Кузнецов Ю.Н., Драчев О.И., Луцив И.В., Шевченко А.В., Волошин В.Н.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 480 с.
3. Луців І.В. Комп'ютерне моделювання складових самоналагоджувального комплексного оснащення для токарної обробки/ Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М.// Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні. – 2012.– Випуск 746. – С.28 – 31.
4. Луців І.В. Комп'ютерний аналіз підсистем затиску та самоналагоджувального оснащення для багатолезової обробки адаптивного типу/ Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М.// Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2013. – №2(9) – С. 183-190.
5. Sathyanarayana S. Determination of Clamping Force Based on Minimization of Workpiece Elastic Deformation/ Sathyanarayana S., Melkote S.// Transaction of NAMRI/SME, Vol. 3, 2002, pp. 597-604.
6. Matin M. Analysis of the Cutting Process of a Cylindrical Workpiece Clamped by a Three Jaw Chuck/ Matin M., Rahman M.// Transactions of the ASME, Vol. 110. No. 110, 1988, pp. 326-332.

## **АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗАТИСКУ-РОЗТИСКУ ТІЛ ОБЕРТАННЯ В ЗАТИСКНОМУ МЕХАНІЗМІ З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ ПРИВОДОМ**

Кузнецов Ю.М.  
Національний технічний університет України «КПІ»  
Придальний Б.І.  
Луцький національний технічний університет

*Вступ.* Будь-який затискний механізм (ЗМ) містить самостійні системи, роль яких є різною для кожного конкретного стану ЗМ. До таких систем відноситься «привод-патрон» та «патрон-деталь». Систему «привод-патрон» зазвичай називають «привод затиску» (ПрЗ) і її можна означити як проміжний пристрій для перетворення і передачі енергії у вигляді силового потоку від джерела енергії до виконавчого пристрою з функціональною залежністю від них. У сучасних металорізальних верстатах застосовуються ЗМ з різними способами забезпечення та підтримки напруженого стану системи – замикання силового контуру: геометричного, силового, фрикційного з самогальмуванням та комбінованого [1, 2]. Розвиток верстатобудування характеризується широким застосуванням автоматизованих ЗМ з електричним, гідравлічним, пневматичним, механічними і комбінованим ПрЗ.

Усунення недоліків існуючих ПрЗ сприяє підвищенню продуктивності обробки на металорізальних верстатах. Основним недоліком ПрЗ з геометричним замиканням є те, що нестабільність розміру однієї з ланок системи, а саме – заготовки, породжує нестабільність

сумарної деформації всіх ланок при замиканні і, як наслідок, нестабільність сил затиску заготовки в межах допуску. Недоліками ПрЗ з силовим замиканням є зміна зусилля затиску при коливаннях тиску робочого середовища в мережі, небезпека викиду деталей у випадку неочікуваного зменшення тиску або розриву у мережі (для гідро- і пневмо привод), поломки пружини (у пружинних приводах) або відключення електромережі; витоки робочого середовища (масла та повітря), компенсація яких спричиняє підвищені витрати енергії, шум; залежність режиму роботи від в'язкості масла, що змінюється при його нагріванні (для гідропривода).

*Актуальність досліджень.* Останнім часом особливо гостро постає проблема зменшення витрат енергії, що використовується для випуску одиниці продукції. Стосовно процесу закріплення заготовки вона може бути розглянута в таких напрямках як: підвищення економічності виготовлення і довговічності вузлів ЗМ, підвищення їх ККД і зниження витрат енергії, підвищення зручності обслуговування, ремонту та надійності роботи ЗМ [1, 2, 3].

Одними з найбільш економічних і безпечних є ПрЗ у яких замикання силового контуру відбувається шляхом самогальмуванням, оскільки після досягнення необхідного зусилля затиску вони відключаються від джерела живлення і підтримують зусилля затиску навіть при аварійній втраті живлення верстата. Такі ПрЗ можуть містити у своєму складі одну або декілька самогальмуючих передач, що фіксують напружений стан механічної системи ЗМ після вимкнення приводного електродвигуна. До самогальмуючих механізмів відносяться ті [4], які можна привести в рух тільки з боку однієї з вихідних ланок механізму – ведучої ланки. Найбільшого поширення у складі ПрЗ набули самогальмуючі механізми у вигляді гвинтової передачі оскільки вони більш економічні у виготовленні та експлуатації внаслідок більш простої конструкції.

*Постановка задачі.* У ряді випадків, використання електричних систем у складі ПрЗ дає можливість спростити і підвищити ефективність передачі та перетворення енергії у ЗМ, і зокрема, підвести вхідне зусилля до електромеханічних ПрЗ (ЕМПрЗ) безконтактно – за рахунок електромагнітної взаємодії [5]. Використання ЕМПрЗ в складі ЗМ також дає змогу суттєво скоротити кількість кінематичних ланцюгів верстата для перетворення та передачі вхідного зусилля до ЕМПрЗ, що забезпечує більш ефективне використання енергії необхідної для процесу «затиску-розтиску», підвищує надійність роботи верстата та зменшує його металоємність. ЕМПрЗ містять меншу кількість рухомих елементів та пар тертя, а їх приводний двигун працює в короткі проміжки часу – під час затиску і розтиску, що підвищує енергетичні показники ЗМ. Характеристики їх роботи майже не залежать від температури оточуючого середовища. Все це сприяє збільшенню надійності, ефективності і довговічності роботи даних механізмів та полегшує процес балансування, що особливо важливо при розробці швидкохідних шпindelних вузлів. Також, особливості ЕМПрЗ надають їм істотних переваг з точки зору автоматизації. Використання засобів електроавтоматики дозволяє найбільш просто здійснити автоматичне керування ЕМПрЗ, а також більш зручно та ефективно здійснювати дистанційне керування як зі стаціонарного, так і з переносного пультів.

Структурна схема найбільш простого цангового ЗМ з самогальмуванням та ЕМПрЗ з короткозамкнутим ротором обертальної дії може бути представлена наступним набором структурних елементів (рис. 1): джерело енергії ДЕ – зазвичай цехову електромережу з напругою  $U$ ; комутуючий пристрій К, який керує роботою приводного двигуна Д, що складається з статора та ротора (найчастіше обертального руху на валу якого виникає момент  $M_d$ ); приводний самогальмуючий механізм ПрСМ, який також може бути виконаний у вигляді двох окремих структурних елементів (приводного механізму ПМ та самогальмуючої передачі СП), що змінює характеристики руху вихідної ланки приводного двигуна Д та фіксує напружений стан ЗМ після його вимкнення; затискний патрон ЗП, що безпосередньо здійснює фіксацію об'єкта затиску ОЗ з радіальним зусиллям  $Fr_2$ . В ЗМ такого типу можуть бути реалізовані декілька варіантів управління роботою двигуна Д, з

метою автоматичного регулювання параметрів роботи ЗМ, для яких характерними є використання різних зворотних зв'язків I, II та III (рис. 1).

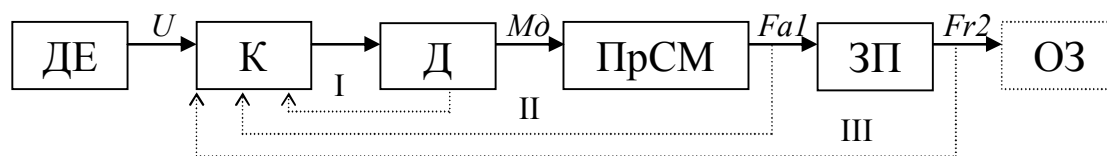


Рисунок 1 – Структурна схема цангового ЗМ з самогальмуванням та ЕМПр3

Отримання заданої величини радіального зусилля затиску  $Fr2$  в ЗМ з ЕМПр3 може здійснюватися на основі декількох принципів організації системи керування його роботою. Найбільш простим є принцип керування без штучного обмеження величини зусилля затиску – приводний двигун ЕМПр3 працює в стопорному режимі до зупинки ротора (режим «перекидання») з подальшим його відключенням. Таке перевантаження приводного двигуна є допустимим в наслідок короткочасного режиму його роботи. Існує також ряд принципів керування організованих на різних системах обмеження зусилля затиску де відключення приводного двигуна ЕМПр3, після досягнення необхідного зусилля затиску, відбувається за однією з наступних схем управління за: часом – відключенням двигуна з допомогою реле часу; за шляхом – відключенням з допомогою шляхового (кінцевого) вимикача; за швидкістю – відключенням з допомогою індуктивного реле контролю швидкості; за навантаженням – відключенням з допомогою реле максимального струму, оскільки струм двигуна залежить від навантаження і короткочасно може перевищувати номінальні значення. У всіх випадках потрібно враховувати час спрацювання керуючої апаратури (реле).

*Результати досліджень.* Намагання усунути недоліки традиційних ЕМПр3 привели авторів до створення нової конструкції ЕМПр3 [5] (рис. 2). У запропонованій конструкції ЕМПр3 ротор асинхронного електродвигуна розташовано на різьбовій поверхні шпинделя з можливістю їх взаємного руху. При цьому, статор ЕМПр3 жорстко зв'язаний з корпусом шпиндельного вузла. Підвід енергії здійснюється безконтактно – за рахунок впливу електромагнітного моменту статора. В початковий момент роботи ЗМ, ротор ЕМПр3 має кутову швидкість відносно статора, яка рівна швидкості обертання шпинделя. Рух ротора відносно шпинделя відбувається під дією електромагнітного моменту статора шляхом зміни кутової швидкості ротора відносно швидкості шпинделя. Це також призводить до осьового руху ротора по різьбовій поверхні із зусиллям  $Fa1$ , що є вихідним зусиллям ЕМПр3. За попередніми (прогнозними) оцінками отримання  $Fa1$  з необхідними для роботи ЗМ параметрами можна досягнути шляхом відносної зміни частоти обертання ротора та шпинделя на 20-30%. Це дозволяє зробити припущення про можливість значного зменшення тривалості та величини впливу перехідних процесів у двигуні ЕМПр3 при певних умовах його роботи. У зв'язку з цим, також припускається, що для більшості фаз роботи ЗМ для наближеного розрахунку параметрів конструкції та роботи приводного двигуна запропонованого ЕМПр3 з достатньою для практичного використання точністю є можливим застосування відомих закономірностей, що описують роботу асинхронного електродвигуна в усталеному режимі. Це значно спрощує розрахунки при розробці ЕМПр3 на основі запропонованої конструкції. Для виявлення оптимальних умов використання ЕМПр3 запропонованої конструкції та підтвердження його прогнозованих характеристик необхідне проведення ряду теоретичних та практичних досліджень.

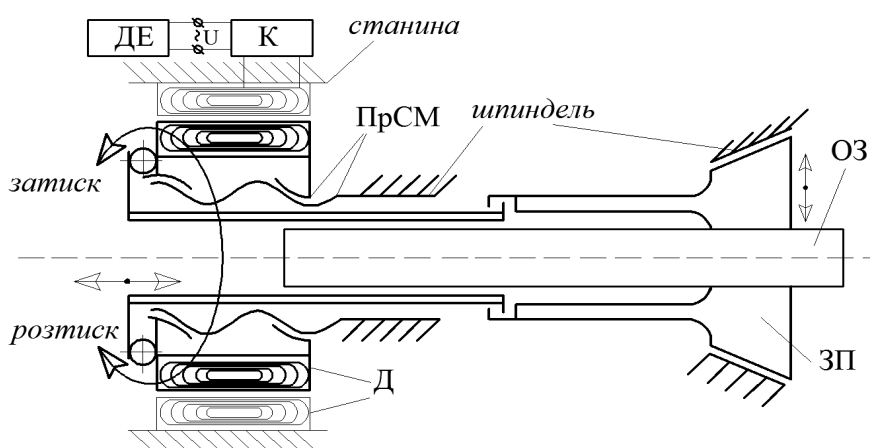


Рисунок 2 – Принципова схема ЕМПрЗ за патентом України № 95323 [5]

*Висновки.* У даній статті представлено попередні теоретичні дослідження окремих характеристик роботи ЗМ з самогальмуючими ЕМПрЗ, що створює передумови для їх розробки, покращення методів проектування, розширення сфери застосування та більш повного використання їх можливостей.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І. Проектування цільових механізмів маніпулювання верстатів нового покоління. Вид-во 2-ге, змін /Під заг. Редакцією проф. Ю.М.Кузнецова.-Луцьк: Вежа-Друк, 2014.-428с.
2. Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Неделчева П.М., Эль-Дахаби Ф. В. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием. Монография. В 2х частях. Ч.2 – Конструкции, расчеты и исследования зажимных механизмов. / Под ред. Ю.Н. Кузнецова. – К.: ООО "ЗМОК" – ООО "Гнозис", 2010. – 466с.
3. Свешников В.К., Столбов Л.С, Усов А.А. Гидроприводы металлорежущих станков и промышленных роботов (манипуляторов). Обзор. - М.: НИИмаш, 1983, 44 с. (Сер.С-1 Станкостроение).
4. Турпаев А.И. Самотормозящиеся механизмы. - М.: Машиностроение, 1976. - 208 с.
5. Пат. України на винахід 95323 Україна, МПК (2011.01) В23В15/00, В23В13/10 (2006.01)– №u200906409 Пристрій для затиску пруткового матеріалу /Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І., Редько Р. Г.; заявл. 19.06.2009; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14/2011

## СИНТЕЗ КОНСТРУКЦІЙ РЕГУЛЬОВАНИХ ГІДРАВЛІЧНИХ ОПОР ВИСОКОШВИДКІСНИХ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ

Сапон С.П., Федориненко Д.Ю., Цеков Б.В.

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів

**Вступ.** Підвищення ефективності механічної обробки є постійно актуальною науково-технічною проблемою. Точність та продуктивність - одні з ключових показників ефективності механічної обробки, які в основному забезпечуються формоутворюючими вузлами верстатів, зокрема шпиндельним вузлом (ШВ). Досягнення високої точності, швидкохідності, жорсткості, теплостійкості, мінімальних втрат на тертя, заданого ресурсу роботи ШВ в значній мірі залежить від шпиндельних опор [1].

**Актуальність досліджень.** В металорізальних верстатах для прецизійної та високошвидкісної обробки широко застосовуються ШВ з гідравлічними опорами. Гідравлічні шпиндельні опори дозволяють забезпечувати високу точність та якість обробки, вібростійкість, швидкохідність, високу стійкість різального інструменту та інші показники ефективності обробки, які не можуть забезпечити інші типи шпиндельних опор. Особливою відмінністю регульованих гідравлічних опор є можливість керування експлуатаційними та геометричними параметрами опор залежно від характеру технологічного навантаження, що дозволяє підвищити якість верстатів та розширити їх технологічні можливості.

Перспективним напрямком підвищення ефективності механічної обробки є використання у високошвидкісних шпиндельних вузлах комбінованих гідростатично-гідродинамічних опор, які в значній мірі позбавлені недоліків як гідростатичного, так і гідродинамічного способів мащення і мають можливість більш повного використання гідродинамічних ефектів при високих швидкостях обертання шпинделя.

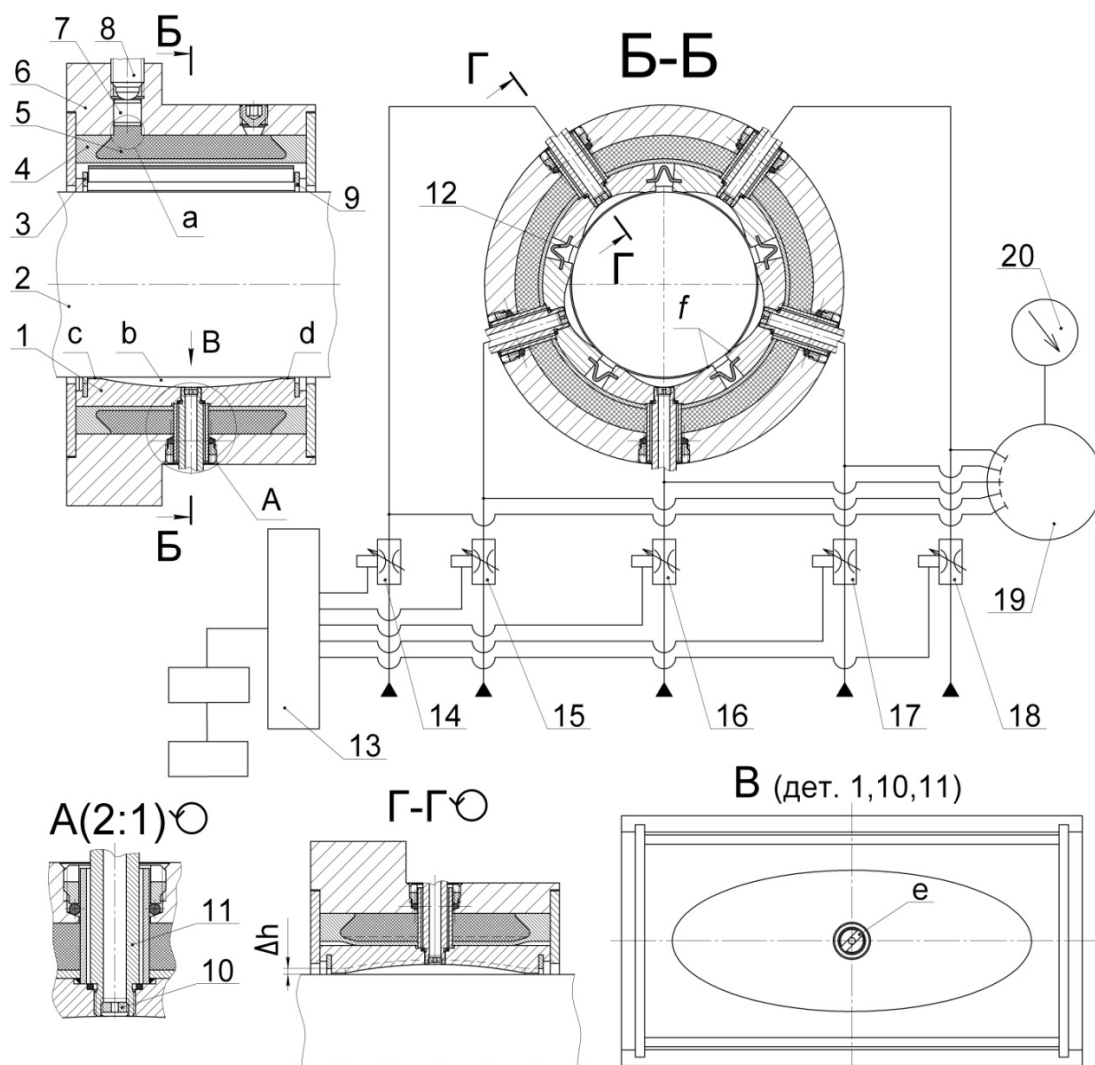
**Постановка задачі.** Існуючі конструкції регульованих радіальних гідравлічних опор обертових вузлів технологічного обладнання мають ряд типових недоліків: неможливість забезпечення високої швидкохідності [1, 2], низька ремонтоздатність та технологічна складність виготовлення конструктивних елементів опор [1, 3], складність забезпечення точності та рівномірності величини радіального зазору при регулюванні [1, 3], обмеженість вибору конструкційних матеріалів для виготовлення корпусних елементів опор [1, 3] та висока чутливість до коливань тиску в карманах підшипника [4]. Усунення названих недоліків запропоновано здійснити шляхом синтезу конструкцій радіальних гідравлічних опор регульованого типу методом морфологічного аналізу [5].

**Результати досліджень.** В основу методу морфологічного аналізу, методика виконання якого детально висвітлена в численних наукових та навчальних виданнях, покладено процес створення пошукового поля можливих варіантів конструкції у вигляді морфологічної матриці, яка вміщує будь-які можливі варіанти комбінацій конструктивних ознак. При пошуку найкращого рішення керувалися наступними критеріями вибору ознак: виконання втулки підшипника повинно забезпечити можливість регулювання зазору, для забезпечення високої жорсткості підшипника кількість карманів втулки повинна бути не менше п'яти, кармани з метою зменшення втрат потужності на в'язке тертя рекомендовано виконувати сферичної або еліпсоїдної форми, можливість заміни спрацьованих або вийшовших з ладу деталей опори, розширення номенклатури конструкційних матеріалів для виготовлення деталей опори, підвищення технологічності виготовлення опори. Для вибору найкращих варіантів конструкції гідравлічних опор з використанням методу розставлення пріоритетів [6] було проведено порівняльну оцінку комбінацій і виділено ті, які найкраще усувають вищезгадані недоліки прототипів. В результаті було синтезовано дві конструкції радіальних регульованих гідравлічних підшипників (рис. 1, 2).

Базовою деталлю регульованого сегментного гідростатодинамічного підшипника (рис. 1) є корпус 6, в отвір якого встановлено з натягом втулку 4 з пружного матеріалу, яка

має тонку внутрішню стінку з п'ятьма отворами під кутом  $72^{\circ}$  та виточку з кутовими заглибленнями для збільшення довжини тонкостінної частини.

Охоплююча поверхня регульованого сегментного гідростатодинамічного підшипника виконана збіркою зі з'єднаних пружинами спеціальної форми 12 п'яти сегментів 1 з несучими карманами на внутрішній поверхні, які мають еліпсоїдну форму з плавною зміною перерізу проточної частини. Підведення робочої рідини до карманів здійснюється через регульовані клапани витрат та дроселюючі пробки 10 з наскрізним центральним отвором меншого діаметру. Дроселюючі пробки 10 загвинчені в різеві отвори штуцерів 11 та за рахунок створення гідравлічного опору сприяють демпфуванню пульсацій тиску в потоці робочої рідини безпосередньо на вході в несучий карман сегмента, що забезпечує зниження коливання тиску рідини в карманах підшипника. Пружини спеціальної форми 12, які встановлені у пази на торцях сегментів паралельних осі підшипника, з'єднують сегменти і визначають їх взаємне положення в радіальному напрямку. Точність взаємного розташування сегментів 1 в осьовому напрямку забезпечується пружними розрізними кільцями 3 та 9, які встановлюються в радіальні канавки, виконані поряд з іншими двома торцями сегментів.



- 1 – сегмент, 2 – вал, 3, 9 – кільце пружне, 4 – втулка, 5 – гідро пластмаса, 6 – корпус,  
 7 – плунжер, 8 – гвинт, 10 – дроселююча пробка, 11 – штуцер, 12 – пружина,  
 13 – мікропроцесорний регулятор, 14-18 – регульовані клапани витрат,  
 19 – розподільчий золотник, 20 – манометр

Рисунок 1 – Регульований сегментний гідростатодинамічний підшипник

Виконання охоплюючої поверхні підшипника з 5-ти сегментів з несучими карманами на внутрішній поверхні дозволяє підвищити жорсткість підшипника. А еліпсоїдна форма карманів з плавною зміною перерізу проточної частини дозволяє зменшити втрати потужності, обумовлені стрибкоподібною зміною перерізу проточної частини сегмента, що забезпечить зменшення втрат потужності на в'язке тертя при збільшенні швидкостей обертання вала 2.

Регулювання величини радіального зазору в підшипнику виконують обертанням гвинта 8, який сферичним торцем тисне на плунжер 7, створюючи гідростатичний тиск в порожнині, заповненій гідропластмасою 5. Під дією гідростатичного тиску гідропластмаси відбувається рівномірне по всьому периметру деформування тонкої стінки втулки 4, внаслідок чого сегменти 1 переміщуються в радіальному напрямку зменшуючи (збільшуючи) зазор між опорною поверхнею вала 2 та перемичками *c*, *d* та *f* рухомих сегментів 1. Величина зміщення  $\Delta h$  сегмента при регулюванні радіального зазору (пунктиром на виді розрізу Г-Г показано початкове положення опорної поверхні сегмента) регулюється величиною гідростатичного тиску, який створюється гідропластмасою.

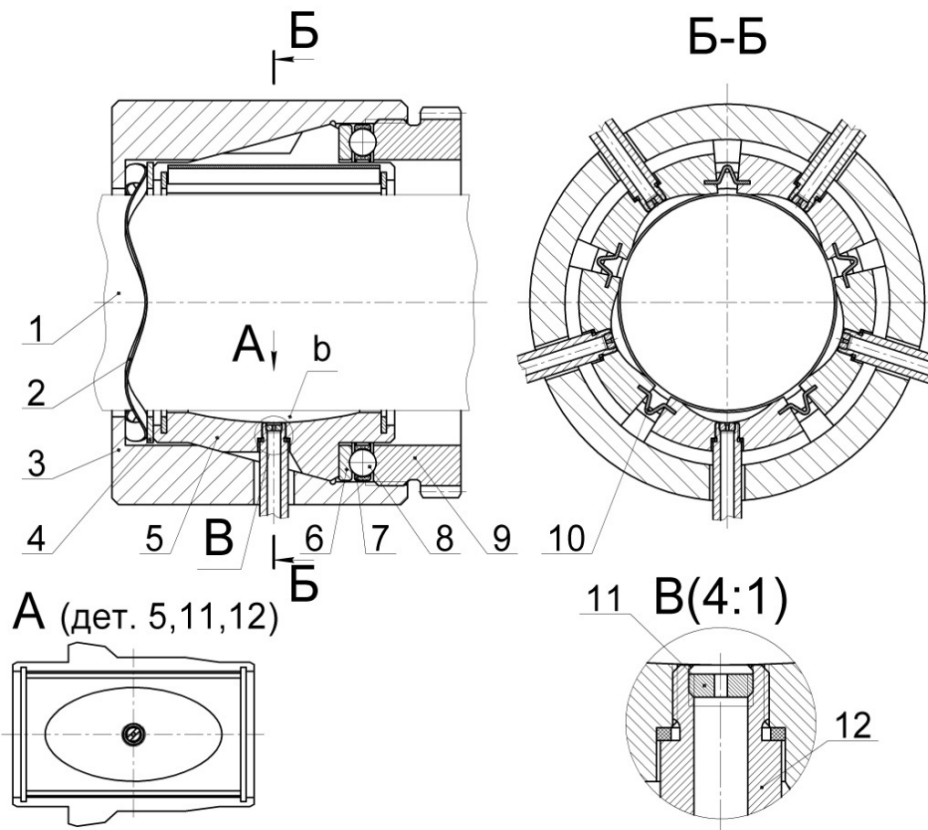
При роботі підшипника в гідростатичному режимі підведення робочої рідини до п'яти несучих карманів *b* сегментів 1 здійснюється через регульовані клапани витрат 14 - 18 з постійною пропускною здатністю. При перевищенні швидкості обертання вала певного граничного значення, що задається програмою, мікропроцесорний регулятор 13 дає команду на припинення подачі робочої рідини до карманів через клапани 14, 15, 17, 18 шляхом перекривання останніх. З метою охолодження, при роботі на високих швидкостях, робоча рідина продовжує надходити через клапан 16 до нижнього кармана підшипника. В результаті підшипник працює в гідродинамічному режимі мащення, а втрати потужності як на в'язке тертя, так і на прокачування робочої рідини зменшуються, що сприяє підвищенню швидкохідності підшипника. При зменшенні швидкості обертання вала нижче попередньо встановленого граничного значення регулятор 13 вмикає подачу робочої рідини до всіх карманів підшипника, відновлюючи гідростатичний режим мащення для забезпечення високих показників несучої здатності та радіальної жорсткості при роботі підшипника на низьких швидкостях обертання вала.

Регульований сегментний гідростатичний підшипник (рис. 2) має низку спільних конструктивних ознак з підшипником на (рис. 1), проте отвір в корпусі 3, в якому встановлено п'ять сегментів 5, має конічну форму. Сегменти 5 також з'єднані пружинами спеціальної форми 10, що визначають їх взаємне положення в радіальному напрямку, на внутрішній поверхні мають несучі кармани *b* еліпсоїдної форми з розташованим в центрі різевим отвором для загвинчування штуцера 12 з дроселюючою пробкою 11. Регулювання величини радіального зазору виконують обертанням натяжної гайки 9, яка загвинчується в отвір корпусу 3 та через упорний підшипник надає осьове переміщення сегментам 5, які, рухаючись конічними поясками по конічній поверхні отвору корпусу 3, переміщуються в радіальному напрямку, забезпечуючи регулювання зазору між опорними поверхнями вала 1 та сегментів 5. Між шайбою 4 та торцем отвору корпусу 3 встановлена хвильова пружина 2, яка призначена для створення натягу в осьовому напрямку при регулюванні зазору. Встановлений між торцями сегментів 5 та натяжною гайкою 9 упорний підшипник кочення, який складається з шайби 6 та сепаратора 7 з кульками 8, призначений для зменшення моменту сили тертя під час регулювання зазору. З метою підвищення точності та рівномірності величини радіального зазору при регулюванні запропоновано конструктивне виконання натяжної гайки 9 у вигляді зубчастого колеса, що дозволить застосувати прецизійну зубчасту передачу в приводі регулювання зазору в підшипнику.

Слід відмітити, що в обох запропонованих конструкціях регульованих гідравлічних підшипників виконання збірної охоплюючої поверхні підшипника дозволяє підвищити технологічність конструкції, ремонтоздатність опори, розширити номенклатуру конструкційних матеріалів для виготовлення деталей опори, спростити технологію та



розширити діапазон технологічних методів для формоутворення карманів у сегментах, позбутися консольного розташування виконавчої поверхні підшипника, що в свою чергу дозволить зменшити розміри опори. Застосування для з'єднання та визначення взаємного положення сегментів в радіальному напрямку пружин спеціальної форми, виготовлених з каліброваного прокату з мінімальною анізотропією фізико-механічних властивостей матеріалу, дозволить підвищити точність взаємного розташування опорних сегментів та рівномірність величини радіального зазору в опорі при його регулюванні



1 – вал, 2 – хвильова пружина, 3 – корпус, 4 – шайба, 5 – сегмент, 6 – шайба,  
7 – сепаратор, 8 – кулька, 9 – натяжна гайка, 10 – пружина, 10 – дроселююча пробка,  
11 – штуцер

Рисунок 2 – Регульований сегментний гідростатичний підшипник

**Висновки.** На основі застосування методу морфологічного аналізу здійснено синтез конструкцій радіальних гідравлічних опор регульованого типу з підвищеними характеристиками жорсткості, швидкохідності, технологічності, ремонтоздатності. Запропоновані схемні рішення конструкцій гідравлічних опор дозволяють підвищити точність та рівномірність величини радіального зазору при регулюванні, знизити амплітуду коливань тиску в карманах опори та розширити номенклатуру конструкційних матеріалів для виготовлення складових елементів опори.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Патент України на корисну модель 87488 UA, МПК F16C 32/06. Регульований радіальний гідростатичний підшипник / Федориненко Д.Ю., Сапон С.П., Бойко С.В.; заявник і патентовласник Чернігівський державний технологічний університет. – № u201310003; заявл. 12.08.2013; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3.

2. Патент України на корисну модель 92940 UA, МПК F16C 32/06. Регульований сегментний гідростатичний підшипник / Федориненко Д.Ю., Сапон С.П., Ярмолюк В.В., Бойко С.В.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. – № u201403769; заявл. 10.04.2014; опубл. 10.09.2014, Бюл. № 17.

3. Патент України на корисну модель 89288 UA, МПК F16C 32/06. Регульований радіальний гідростатодинамічний підшипник / Федориненко Д.Ю., Сапон С.П., Хабібуліна А.М.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. – № u201314341; заявл. 09.12.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7.

4. Шатохин, С. Н. Адаптивные бесконтактные опоры скольжения с плавающими регуляторами нагнетания смазки (гидростатические, аэростатические) для шпиндельных узлов и направляющих металлорежущих станков / С. Н. Шатохин, Я. Ю. Пикалов, В. Г. Демин // «Технология машиностроения», 2006. – № 9. – С. 29–33.

5. Кузнецов Ю. М. Теорія розв'язання творчих задач / Ю.М. Кузнецов.– К.: ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗИС», 2003. – 294с.

6. Блумберг В. А. Какое решение лучше? : Метод расстановки приоритетов/ Блумберг В. А. .Глуценко В.Ф. – Л. : Лениздат , 1982. – 160 с.

## **СХЕМЫ КОВКИ КРУПНЫХ ПОКОВОК С ИНТЕНСИВНЫМИ ПЛАСТИЧЕСКИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ**

Марков О. Е.

Донбасская государственная машиностроительная академия

В тяжелом машиностроении основное внимание уделяется качеству получаемых поковок. Основной операцией для формирования крупных поковок является кузнечная протяжка, которая интенсивно измельчает литую структуру и способствует заковыванию осевых дефектов. Протяжкой без осадки сложно накопить высокий уровень пластических деформаций в теле поковки и получить из кузнечных слитков требуемые размеры поковки. Не применять осадку с целью снижения затрат на ковку с сохранением качества поковок и обеспечить возможность получения заданных размеров вала возможно за счёт применения новых схем ковки с интенсивными пластическими деформациями.

Повысить уровень пластических деформаций в поковке и равномерность их распределения возможно за счёт ковки с профилированием слитка выпуклыми бойками (рис. 1). Протяжка выпуклыми бойками уменьшает удлинение, что позволяет увеличить число проходов за счёт незначительного уменьшения площади поперечного сечения при протяжке и накопить высокий уровень деформаций в теле поковки.

Ковка выпуклыми бойками исключает образование застойных зон под деформирующим инструментом, как в случае применения плоских бойков. Применение выпуклых бойков способствует проработке поверхностных и центральных слоёв заготовки. Чем больше угол клина бойка, тем выше уровень деформаций в центре и больше площадь профдеформированной части заготовки.

После формирования четырёхлучевой заготовки выпуклыми бойками (рис. 1, а, б) недеформированными зонами остаются углы (рёбра заготовки), а в случае ковки плоскими – зоны, контактирующие с инструментом. Заготовка с вогнутой боковой поверхностью в поперечном сечении обеспечивает подпор центральной зоны при последующей обкатке четырёхлучевой заготовки плоскими бойками (рис. 1, в), но при этом может произойти образование поверхностных зажимов.

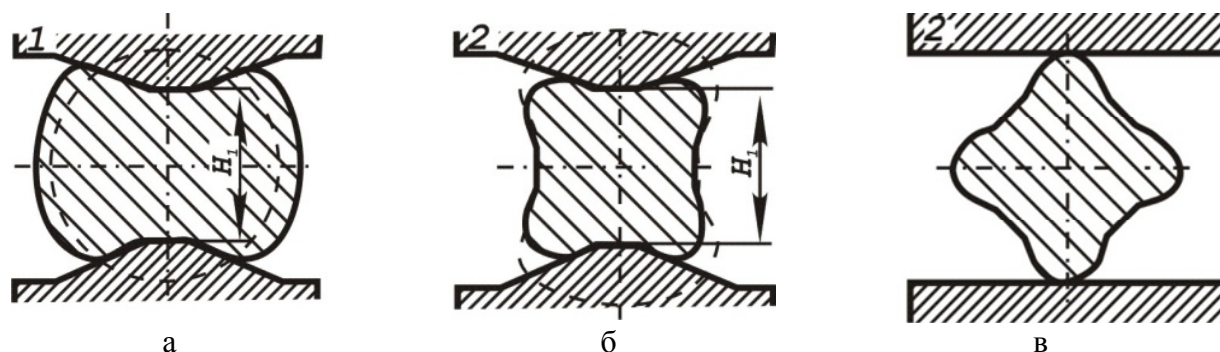


Рис. 1 – Последовательность получения четырехлучевой заготовки (а, б) и схема обкатки четырехлучевой заготовки на круглое сечение плоскими бойками (в)

Для выбора эффективной схемыковки провели количественное сравнение распределения деформаций по сечению поковки для схем деформирования, которые не приводят к образованию поверхностных зажимов.

#### Вывод

В результате исследований установлена эффективная геометрия инструмента и технологические режимыковки, позволившие накопить высокий уровень пластических деформаций в поковке, которые послужили рекомендациями для проектирования инструмента и разработки новых технологических процессовковки крупных поволоков ответственного назначения без осадки: угол клина бойков –  $160^{\circ}\dots 170^{\circ}$ , обжатие – 25 %, бойки для обкатки – плоские, способ укладки заготовки в плоских бойках – «на ребро».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Марков О. Е. Ресурсосберегающие технологические процессыковки крупных валов и плит : монография / О. Е. Марков, И. С. Алиев. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 324 с. – ISBN 978–966–379–583–6.

### ПРОБЛЕМА ОБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН ПРИ ПРОТЯЖКЕ

Жбанков Я. Г., Таган Л. В.

Донбасская государственная машиностроительная академия

Проблема повышения качества крупногабаритной продукции ответственного назначения в тяжелом машиностроении является актуальной задачей для развития отрасли. Основной операцией изготовления этих деталей являетсяковка с применением операции протяжки.

При ковке с использованием операции протяжки появляется проблема образования поверхностных трещин, которые существенно снижают качество поволоков, а также возникает необходимость остановки процесса деформирования для выплавки трещин. Удаление трещин приводит к увеличению времени производства поковки, энергозатрат на нагревы и к снижению качества получаемой поковки. Таким образом, проблема исключения трещинообразования в процессековки является актуальной.

Причинами образования поверхностных трещин являются низкое качество поверхности исходной заготовки, нерациональные режимы нагрева слитка и егоковки. В процессековки поволоков по существующим режимам наибольшие значения деформаций сосредоточены на поверхности заготовки, кроме того, в процессековки поверхность заготовки имеет более низкую температуру, что обуславливает и более низкую пластичность металла.

Процес ковки протяжкою состоит из ряда последовательных обжатий и подач. Между обжатиями одного и того же объема заготовки от прохода к проходу проходит время, за которое металл восстанавливает свою пластичность. Если наложить путь деформирования на кривую пластичности, то на втором и последующих проходах при протяжке он пересечёт кривую пластичности, что свидетельствует об исчерпании ресурса пластичности, однако на практике этого не происходит. Это может быть объяснено известным эффектом восстановления пластичности в паузах между переходами деформирования.

Проведено моделирование процесса протяжки плоскими бойками круглой заготовки за четыре прохода без кантовок. Протяжка производилась с постоянными подачами и обжатиями.

Анализ полученных данных позволил установить, что в случае протяжки с постоянными подачами на поверхности заготовки возникают зоны больших деформаций, которые соответствуют зоне внедрения кромки бойка в заготовку и при последующей протяжке, несмотря на удлинение заготовки, величина деформаций в этих зонах возрастает и вероятность разрушения металла также увеличивается.

Для уменьшения концентрации деформаций на поверхности заготовки необходимо протяжку осуществлять проходами со смещением бойка на каждом проходе на половину подачи.

Поэтому за счет пауз при горячем деформировании можно повысить предельную технологическую пластичность металла. Учитывая, что большинство процессов ковки реализуется с паузами, прогнозировать появление разрушений в процессах ковки возможно [1].

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Жбанков Я.Г. Прогнозирование трещинообразования в процессе протяжки заготовок плоскими бойками / Я. Г. Жбанков, О. Е. Марков, А. А. Швец, Л. В. Таган // КШП. ОМД. – Москва, 2013. – № 10. – С. 7–13. – ISSN 0234-8241.

### **КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТІ БАГАТОКООРДИНАТНИХ ВЕРСТАТІВ ІЗ ПАРАЛЕЛЬНИМИ КІНЕМАТИЧНИМИ СТРУКТУРАМИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРІВ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ**

Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Визначення точності багатокординатних верстатів з паралельними кінематичними структурами являє собою актуальну наукову проблему. Їх вирішення є основою більш широкого застосування верстатів даного типу.

Багатокординатні верстати з паралельними кінематичними структурами є прогресивним технологічним обладнанням. На таких верстатах здійснюється ефективна обробка деталей середньої точності із складними криволінійними поверхнями. Контроль точності верстата при обробці криволінійних поверхонь утруднено по причині відсутності у технологічній системі верстата прямолінійних та обертових рухів.

Запропоновано ввести абсолютну систему координат, пов'язану не із простими технологічними рухами верстата, а із спеціальною заготовкою, базові поверхні якої визначають абсолютну систему координат. Для підвищення точності визначення координатних площин та вісей координат проводяться попередні виміри базових поверхонь заготовки.

Визначення точності верстата з паралельними кінематичними структурами здійснено по результатам вимірів геометричного розташування оброблених на верстаті поверхонь відносно введеної абсолютної системи координат. Оброблено ряд ділянок плоских поверхонь, номінальне положення яких перпендикулярне базовій площині і паралельне

відповідно вісям координат  $x$  і  $y$ . Також оброблені плоскі поверхні, які утворюють кути  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  та  $60^\circ$  відносно вісей  $x$  і  $y$ . Оброблено циліндричні поверхні заготовки, концентричні базовій циліндричній поверхні та плоска поверхня паралельна базовій.

В результаті вимірів непаралельності та неперпендикулярності, одержаних після обробки плоских поверхонь заготовки встановлюються відхилення абсолютної системи координат верстата з паралельними кінематичними структурами від абсолютної системи координат заготовки. Так визначаються поперечно-кутові відхилення вісей двох систем координат. Плоско-паралельне зміщення вісей встановлюється по вимірах розташування пар оброблених плоских ділянок деталі відносно введених вісей координат заготовки.

Для визначення інтегральних параметрів точності проведено виміри відхилень від круглості та від циліндричності. Оброблено циліндричні поверхні заготовки, концентричні базовій циліндричній поверхні. Проведено виміри відхилення від площинності ряду плоских поверхонь, зокрема плоских поверхонь, паралельних базовій.

Контроль точності багатокоординатних верстатів здійснено за допомогою знайдених матриць Якобі просторового механізму, що утворює кінематичну схему верстата з паралельними кінематичними структурами. При визначенні матриць Якобі врахована їх сингулярність при переміщеннях інструменту по площинах, паралельних площинам системи координат. Варіації компонент матриць Якобі вибрані в якості критерія якості оброблених поверхонь.

## **АКТУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ РОЗРОБКИ ВЕРСТАТНИХ КОМПЛЕКСІВ ІЗ ПІДВИЩЕНОЮ НАДІЙНІСТЮ**

Н.Р.Веселовська

Вінницький національний аграрний університет

Вступ. В Україні діє програма забезпечення надійності (ПЗН), яка підтримана стандартним підґрунтям. Для нормативного забезпечення методів, заходів та засобів вимірювання, спрямованих на досягнення необхідного рівня надійності, використовується система стандартів «Надійність у техніці». Ця система відповідно до міжнародного стандарту ІСО 8402-86, ГОСТ 27.001–81 «Система стандартів. Надійність в техніці. Основные положения» та ГОСТ 27.002–83 «Надійність в техніці. Термины и определения» забезпечує ефективність організаційно-технічних, конструкторсько-технологічних і експлуатаційних заходів, спрямованих на досягнення необхідного рівня надійності технічних засобів (ТЗ). Відповідно до ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення», під надійністю технологічних систем розуміють їхню властивість зберігати в часі працездатний стан. Аналізує і досліджує ці питання наука, що називається теорією надійності (theory of reliability). Основною її задачею є вивчення закономірностей виникнення відмов ТЗ. Ця наука базується на теорії ймовірності і математичної статистики, тому всі розрахунки надійності носять ймовірнісний та статистичний характер.

Надійність – властивість виробів зберігати в період експлуатації здатність виконувати задані функції. Постійно зростаючі вимоги до якості оброблюваних деталей, зростання швидкостей робочих рухів і вартість технологічного обладнання викликає підвищені вимоги щодо його надійності. Недостатня надійність призводить до великих матеріальних втрат. З цієї причини навіть в технологічно розвинених країнах щорічно втрачається близько 10% національного доходу. В нашій країні збитки ще вищі. На сьогодні за весь термін експлуатації металорізючого верстата витрати на ремонт та технічне обслуговування перевищує його вартість у 8 разів. Надійність технологічних систем набуває ще більшого значення в ХХІ ст. як один з основних показників якості. За численними прогнозами визначальною умовою технічного прогресу в новому столітті стане саме якість та надійність. За стандартом ISO–8402,

якість це сукупність характеристик об'єкта, пов'язаних з його здатністю задовольняти встановлені або передбачувані потреби. Надійність – основна характеристика якості.

Актуальність досліджень і постановка задачі. У сучасній металообробній промисловості домінує дрібносерійне та серійне виробництво. Прогресивні технології в цьому випадку ґрунтуються на застосуванні автоматизованого обладнання – верстатів з ЧПУ, ГПМ та ГПС. Актуальність задач розробки верстатних комплексів з автоматичним діагностуванням із підвищеною надійністю призвели економічно розвинені країни до участі в реалізації єдиного проекту SIMON (Sensor Fused Intelligent Monitoring System for Machining), який є складовою програмою створення технологій XXI ст. Країни, що приймали участь в проекті та досягли розвинутого індустріального та постіндустріального технологічного устрою, можуть забезпечити необхідні пропорції зайнятості працездатного населення в цих країнах за рахунок використання сучасних технологій автоматизованого виробництва. Лише 10% працездатного населення постіндустріальних країн зайнято у промисловості, при цьому 85% працює у сфері послуг та 5% у сільському господарстві. За таких обмежень досягти високих показників росту виробництва та якості можливо лише за рахунок значного (багаторазового) підвищення продуктивності у порівнянні з продуктивністю на універсальних верстатах. На верстатах з ЧПК продуктивність підвищується в 5 разів, в ГАП – в 7,5 рази, в автоматизованих цехах та ділянках – в 10 разів та більше. Такі складні системи потребують визначення своєї надійності та постійного діагностування свого стану. Структурне зрушення в напрямку серійного виробництва високотехнологічної продукції, який спостерігався наприкінці минулого сторіччя в розвинених країнах, відбудеться в межах процесу глобалізації й в нашій країні. Це призведе до широкого застосування гнучких автоматизованих систем підвищеної надійності, оснащених діагностичним обладнанням. Характерною особливістю сучасного розвитку техніки є широке впровадження елементів та пристроїв автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки у виробничі та технологічні процеси для їх автоматизації. В умовах сучасної економіки автоматизація є одним з основних напрямів розвитку науково-технічного прогресу. І, звичайно, покращення ефективності та якості роботи проектних технічних засобів неможливе без оцінювання надійності їх функціонування. Таким чином, вище викладене є першою причиною необхідності нормування показників надійності технічних засобів при проектуванні технічних засобів (ТЗ) різного призначення. Другою причиною, яка потребує оцінювання надійності, є підвищення складності ТЗ, апаратури їх обслуговування, умов їх експлуатації і відповідальності задач, які на них покладають. Недостатня надійність ТЗ призводить до збільшення долі експлуатаційних витрат порівняно з загальними витратами на проектування, виробництво і використання цих засобів. При цьому вартість експлуатації ТЗ може в багато разів перевищити вартість їх розробки і виготовлення. Крім того, відмови ТЗ призводять до різного роду наслідків: втрати важливої інформації, простої спряжених з ТЗ інших приладів і систем, до аварій тощо. Таким чином, третьою причиною підвищення ролі надійності в сучасних умовах є економічний фактор.

Якість процесів – це сукупність властивостей, що визначають їх придатність для експлуатації. Надійність є найважливішим техніко-економічним показником якості будь-якого ТЗ, що визначає здатність безвідмовно працювати з незмінними технічними характеристиками протягом заданого проміжку часу при певних умовах експлуатації. Проблема забезпечення надійності пов'язана зі всіма етапами створення виробів і усім періодом їх практичного використання. Надійність засобу закладається в процесі його конструювання і розрахунку та забезпечується в процесі його виготовлення шляхом правильного вибору технології виготовлення, контролю якості початкових матеріалів, контролю режимів і умов виготовлення. Надійність зберігається шляхом правильного зберігання і підтримується правильною експлуатацією ТЗ, профілактичним контролем і ремонтом. На сам кінець, надійність ТЗ визначається надійністю комплексувальних елементів.

Висновки. Знання основних питань нормування показників надійності є нині необхідною умовою для успішної роботи в галузі автоматизації технологічних процесів і особливо це відноситься до майбутніх спеціалістів, які будуть займатися розробкою засобів вимірювальної

техніки та комп'ютеризованих систем управління і автоматики. Тому запропонована робота є актуальною на сучасному етапі.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978.-592с.
2. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., "Энергия", 1977.- 536 с.
3. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: "Советское радио", 1975.- 472с.
4. Северцев Н.А. Надежность сложных систем в эксплуатации и обработке.- М.:Высшая школа, 1989.-427с.

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ МЕХАНООБРАБОТКИ НА ТЯЖЕЛЫХ СТАНКАХ ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНОЙ ГРУППЫ**

Мироненко Е.В., Миранцов С.Л., Аносов В.Л.  
Донбасская государственная машиностроительная академия

Введение. Современные экономические условия, в которых работают машиностроительные и станкостроительные предприятия, требуют в настоящее время не только непрерывного роста производительности механической обработки, но и сокращения потребления энергетических ресурсов.

Актуальность исследований. В этой связи актуальной научно-технической задачей является разработка и дальнейшее внедрение энергоэффективных процессов механической обработки на станках и высокотехнологических комплексах.

Вопросы потребления энергетических ресурсов, диверсификации использования источников энергии, сокращения потребляемой мощности отдельными процессами и энергосбережения в машиностроительной отрасли в настоящее время рассматриваются и анализируются многими авторами. Однако применительно к тяжелому машиностроению вопросы разработки и внедрения энергоэффективных процессов рассмотрены не в полной мере.

Постановка задачи. Среди параметров процесса резания и технологических систем тяжелых и уникальных станков основными параметрами, определяющими потребляемую процессом мощность являются: скорость резания ( $V$ , м/мин), подача ( $S$ , мм/об), глубина резания ( $t$ , мм), размеры твердосплавных пластин ( $h$ ,  $l$ , мм), а также такие свойства динамические технологической системы, жесткость и виброустойчивость.

Применительно к процессам фрезерования на тяжелых и уникальных станках фрезерно-расточной группы одним из путей повышения энергоэффективности процессов является использование инструментальных систем, которые используют технологию деления части срезаемого слоя.

Для исследований закономерностей протекания процессов фрезерования с делением срезаемого слоя, а также определения рациональной схемы деления с точки зрения снижения мощности фрезерования и улучшения динамических параметров процесса, предложена структурная и математическая модель технологической системы тяжелых и уникальных станков фрезерно-расточной группы, которая включает в себя процесс резания, эквивалентную упругую систему, сопутствующие резанию процессы и учитывающая переменную нагрузку на инструмент.

Структурная динамическая модель технологической системы фрезерного станка представлена на рисунке 1.

Отличительной особенностью предложенной структурной модели от ранее рассматриваемых [1,2,3], является наличие подсистемы сборного инструмента  $W_{ин}(s)$ , как отдельной упругой подсистемы, включенной параллельно эквивалентной упругой системе станка  $W_{см}(s)$ .

Для построения передаточных функций, которые описывают процессы, протекающие в технологической системе, в частности, процесс резания, процессы движения отдельных элементов системы, предложенная расчетная схема эквивалентной упругой системы тяжелого фрезерного станка, представленная на рисунке 2а.

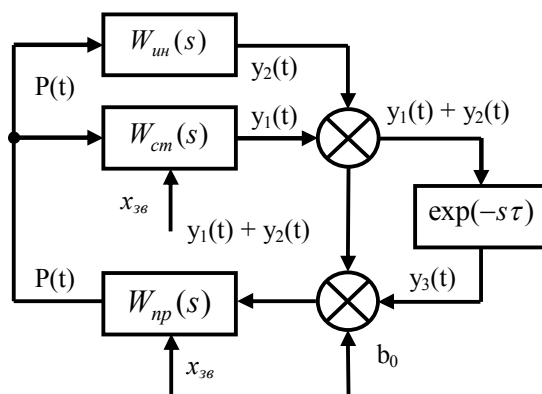


Рисунок 1 – Структурная модель технологической системы фрезерного станка, включающая в себя инструмент

Предложенная расчетная схема технологической системы основана на анализе компоновок вертикально-фрезерных станков мод. 6560Ф1, 6560МФ3, 65А90Ф1, 6М612Ф4, которые используются в условия ПАО «ЭМСС», ПАО «НКМЗ» для обработки крупногабаритных деталей. Процесс резания рассматривается применительно к случаю чернового фрезерования торцевыми фрезами.

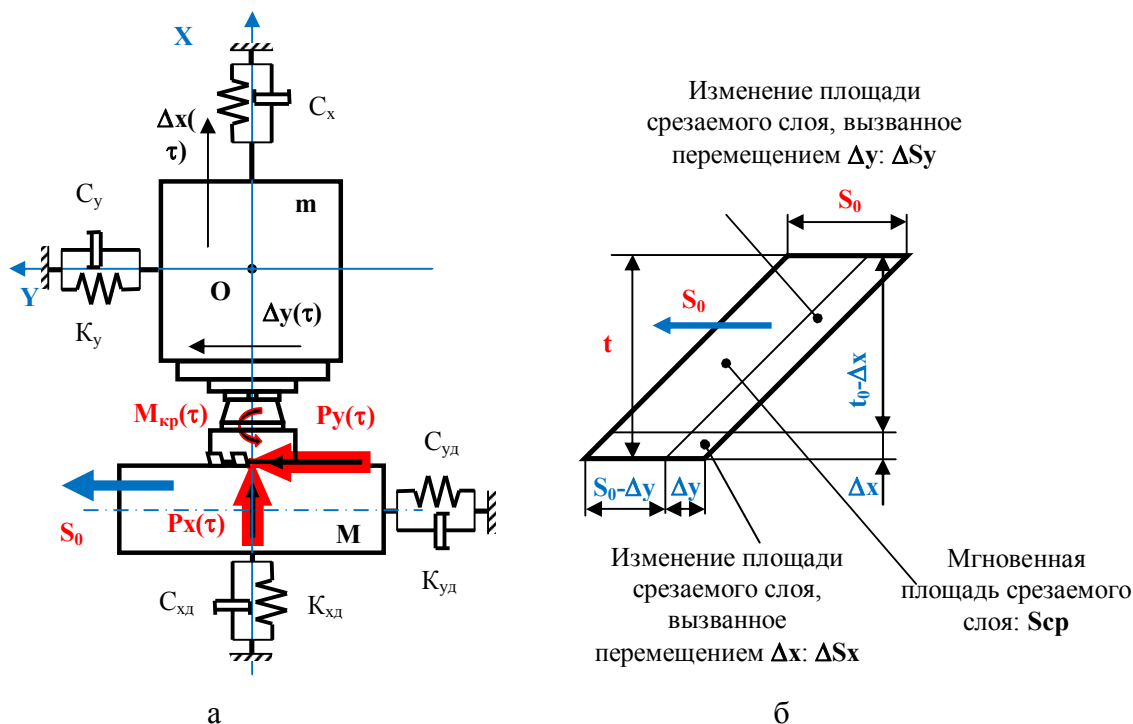


Рисунок 2 – Расчетная схема эквивалентной упругой системы тяжелого фрезерного станка: а – расчетная схема технологической системы тяжёлого фрезерного станка; б – схема площади среза при фрезеровании торцевой фрезой



Процесс резания рассматривается как система уравнений, которые определяют зависимость составляющих силы резания  $P_x(\tau)$ ,  $P_y(\tau)$  от времени  $\tau$ , площади срезаемого слоя (рисунок 2б), а также случайных и систематических факторов, возникающих при обработке [2,4,5]:

$$P_y(\tau) = \frac{K_{px}}{\sin\varphi} K_p(\tau) [S_0 + \Delta D_y \cdot \sin(\omega\tau + q_0) - y(\tau) - y(\tau - T)] [t_0 - x(\tau) - x(\tau - T)];$$

$$P_x(\tau) = \frac{K_{py}}{\sin\varphi} K_p(\tau) [t_0 + \Delta D_x \cdot \sin(\omega\tau + q_0) - x(\tau) - x(\tau - T)] [S_0 - y(\tau) - y(\tau - T)];$$
(1)

где  $\Delta D_x$ ,  $\Delta D_y$  – соответственно, биение инструмента в направлении рассматриваемых осей координат, мм;

$y(\tau)$ ,  $x(\tau)$  – соответственно, упругие перемещения элементов рассматриваемой технологической системы в направлении осей координат, мм;

$K_p(\tau)$ ,  $K_{px}$ ,  $K_{py}$  – коэффициент, определяющий изменение составляющих силы резания из-за случайных погрешностей, возникающих при обработке, удельные значения составляющих силы  $P_x(\tau)$  и  $P_y(\tau)$ ;

$t_0$ ,  $S_0$ ,  $\varphi$  – начальная глубина резания, подача инструмента и главный угол в плане инструмента;

$\omega$ ,  $q_0$ ,  $T$  – частота вращения, начальная фаза вращения инструмента, время одного оборота инструмента;

Для проведения вычислительных экспериментов на основе имитационного моделирования процессов фрезерования, разработана структурная визуальная модель, реализованная в программной среде Simulink (рисунок 3).

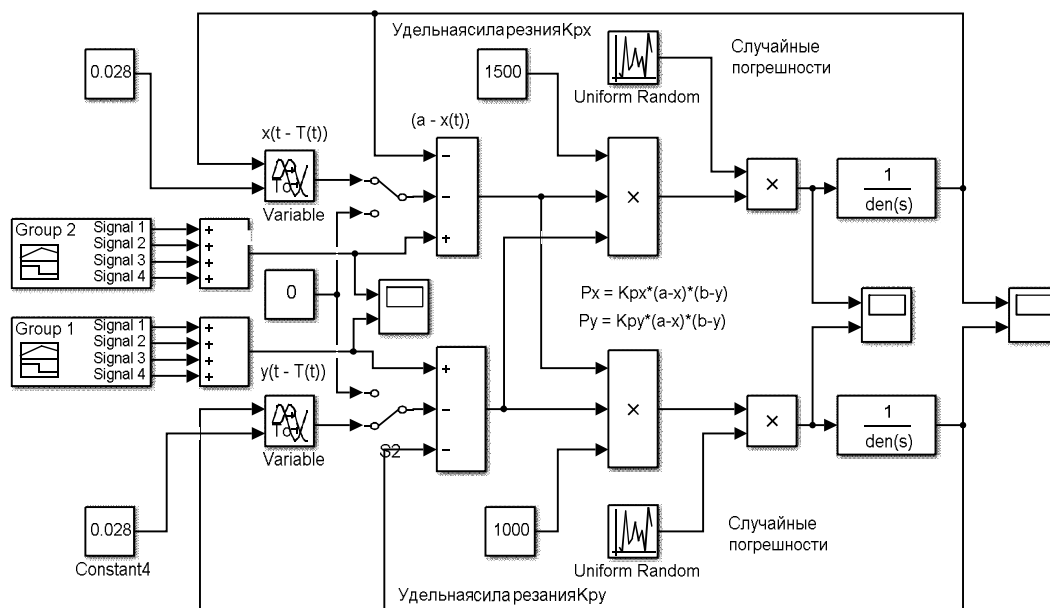


Рисунок 3 – Визуальная структурна модель процесса фрезерования на тяжелых фрезерных станках, реализованная в пакете Simulink MatLAB

Результаты исследований. Проведенные исследования процесса фрезерования позволили определить рациональные схемы деления срезаемого слоя для случая торцевого фрезерования крупногабаритных деталей, на основе которых предложены рекомендации для усовершенствования конструкций торцевых фрез.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Орликов М.Л. Динамика станков. – Киев: Выща школа, 1989. –273с.

2. Стругинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 612 с.
3. Стругинський В.Б., Мельничук П.П. Математичне моделювання металорізальних верстатів. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 544 с.
4. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. – Л.:Машиностроение., Ленингр. отд-ние, 1986. - 186 с.:ил.
5. Мироненко Е.В. Построение модели технологической системы тяжелого карусельного станка / Е.В. Мироненко, С.Л. Миранцов, Д.Г. Ковалев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків, 2014. – №42. – С.172-181.

## СПЕКТР ЧАСТОТ ТРЕНАЖЕРА-ГЕКСАПОДА ПРИ МАНЕВРЕ

Москвичев Н.Н., Яглинский В.П., Обайди А.С., Козерацкий Г.В.  
Одесский национальный политехнический университет

**Введение.** Совершенство современного тренажера мобильных машин (ММ) во многом определяется степенью достоверности динамической имитации (имитации силового воздействия) движения. Наибольшее распространение тренажерные технологии получили там, где ошибки при обучении на реальных объектах приводят к чрезвычайным последствиям, а их устранение – к большим финансовым затратам: в авиации и космосе, в военном деле, в медицине, при ликвидации последствий стихийных бедствий, в атомной энергетике, высокотехнологичном производстве [1].

**Актуальность проблемы.** Управление боевыми мобильными транспортными объектами весьма сложная и опасная операция, требующая принятия быстрых решений по удержанию курса и мгновенных реакций по изменению движения воздействием на органы управления. Поэтому задача имитации процесса управления приводными устройствами, осуществляющие движение кабины тренажера, является актуальной проблемой, требующей удовлетворения высокой точности отработки входного сигнала, быстрогодействия и плавности движения.

**Исследование.** Решение проблемы всесторонней подготовки экипажей мобильной боевой техники к действию в чрезвычайных ситуациях, создание и совершенствование систем имитации движения БМП при заносах на поворотах, тангаже и крене, выполнении различных условий маневрирования. При этом возникает необходимость увеличения рабочего пространства для проведения соответствующего маневра при наличии колебаний корпуса. Известные тренажеры экипажей боевых машин пехоты (БМП) на основе трехстепенных динамических платформ воспроизводят ограниченные угловые положения аппарата и моделируют движения машины в стесненных пространственных условиях В настоящее время все большее распространение в качестве тренажеров получают шестистепенные динамические платформы на основе гексапода, например, тренажер БПД8 и авиа- и автосимуляторы (рис. 1, 2) [1, 2].

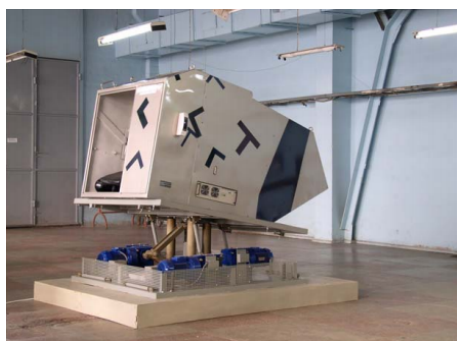


Рисунок 1 – Шестистепенная платформа БПД8 [2]



Рисунок 2 – Авиа- и автосимуляторы [2]

При движении промышленной платформы (ПП) тренажера изменяется ее пространственная конфигурация и возникают колебания при переменной жесткости. Знание спектра главных частот тренажера даст возможность решить задачи функционирования при резонансных режимах, при действии критических перегрузок, в условиях неустойчивости ориентации и позиционирования полюса ПП, а также при непредвиденных ситуациях. Исследованию конструкций гексаподов посвящены работы Ю.Н. Кузнецова, Д.А. Дмитриева, М.И. Черногола, А.М. Кириченко, А.Ш. Колисора, А.Ф. Крайнева, В.А. Глазунова, *J.P. Merlet* и др. [1, 2, 3]. Известны исследования деформаций звеньев станка-гексапода методом конечных элементов и экспериментальные измерения соответствующей им характеристик жесткости для одной конкретной пространственной конфигурации [2]. Не проведенными являются исследования спектра главных частот гексапода при выполнении заданного маневра.

Координаты центров шарниров  $A_i$  неподвижной основы в своем базисе  $OX_0Y_0Z_0$  и центров шарниров  $B_i$  платформы гексапода в подвижном базисе  $SX_SY_SZ_S$ , связанном с платформой, при движении платформы не изменяются (рис. 3, 4) [4]:  ${}^0A_i = (x_{Ai} \ y_{Ai} \ z_{Ai})$ ,  ${}^S B_i = (B_{xi} \ B_{yi} \ B_{zi})$ ,  $i = 1 \dots 6$ , или

$$\begin{pmatrix} {}^0A_1 \\ {}^0A_2 \\ {}^0A_3 \\ {}^0A_4 \\ {}^0A_5 \\ {}^0A_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_A \cos(0,5\gamma_1) & -R_A \sin(0,5\gamma_1) & 0 \\ R_A \cos(\gamma_1 + 0,5\gamma_2) & -R_A \sin(\gamma_1 + 0,5\gamma_2) & 0 \\ R_A \cos(0,5\gamma_2) & -R_A \sin(0,5\gamma_2) & 0 \\ R_A \cos(0,5\gamma_2) & R_A \sin(0,5\gamma_2) & 0 \\ R_A \cos(\gamma_1 + 0,5\gamma_2) & R_A \sin(\gamma_1 + 0,5\gamma_2) & 0 \\ -R_A \cos(0,5\gamma_1) & R_A \sin(0,5\gamma_1) & 0 \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} {}^S B_{1,2} \\ {}^S B_{3,4} \\ {}^S B_{5,6} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_B \cos 60^\circ & -R_B \sin 60^\circ & -h_0 \\ R_B & 0 & -h_0 \\ -R_B \cos 60^\circ & R_B \sin 60^\circ & -h_0 \end{pmatrix}^T;$$

$$\operatorname{tg}(\gamma_2/2) = A_1 A_2 \cdot \cos(\pi/6) / (A_1 A_6 + 0,5 \cdot A_1 A_2), \quad \gamma_1 = 2\pi/3 - \gamma_2, \quad A_1 A_2 = R_A \sin \gamma_2 \}, \quad (1)$$

где  $R_A$  и  $R_B$  – радиусы центров шарниров  $A_i$  и  $B_i$  соответственно.

Для пространственной конфигурации ПП с учетом матриц преобразования координат (при повороте осей – углы  $\psi$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ , и поступательном перемещении с центром  $S$  –  $x_S$ ,  $y_S$ ,  $z_S$ ) получено координаты центров шарниров  $B_i$  в неподвижной системе  $OX_0Y_0Z_0$  в виде [4]:

$$\begin{pmatrix} x_{Bi} \\ y_{Bi} \\ z_{Bi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{xi}(c_\psi c_\varphi - s_\psi s_\theta s_\varphi) + B_{yi}(-s_\psi c_\theta) + B_{zi}(c_\psi s_\varphi + s_\psi s_\theta c_\varphi) + x_S \\ B_{xi}(s_\psi c_\varphi + c_\psi s_\theta s_\varphi) + B_{yi}c_\psi c_\theta + B_{zi}(s_\psi s_\varphi - c_\psi s_\theta c_\varphi) + y_S \\ B_{xi}(-c_\theta s_\varphi) + B_{yi}s_\theta + B_{zi}c_\theta c_\varphi + z_S \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$i = 1 \dots 6; \quad c_\psi = \cos \psi, \quad s_\psi = \sin \psi, \quad c_\theta = \cos \theta, \quad s_\theta = \sin \theta, \quad c_\varphi = \cos \varphi, \quad s_\varphi = \sin \varphi.$$

Длины штанг гексапода для пространственной конфигурации ПП:

$$L_i = A_i B_i = \sqrt{(x_{Bi} - x_{Ai})^2 + (y_{Bi} - y_{Ai})^2 + (z_{Bi} - z_{Ai})^2}, \quad i = 1 \dots 6 \quad (3).$$

Матрица коэффициентов жесткости тренажера-гексапода имеет вид [5]:

$$C = J^T \cdot C_D \cdot J; \quad C_D = \operatorname{diag}(c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6), \quad (4)$$

где  $J$  – матрица Якоби на основе (3);  $C_D$  – диагональная матрица коэффициентов продольной жесткости  $c_i$  штанг гексапода ( $c_i = c_0$ )

Матрица коэффициентов инерции тренажера представлена в виде диагональной матрицы [4]:

$$A = \operatorname{diag}(m, m, m, m_x, m_y, m_z),$$

где  $m$  – масса платформы тренажера;  $m_x, m_y, m_z$  – приведенные массы.

$$m_x = J_x / R_B^2; \quad m_y = J_y / R_B^2; \quad m_z = J_z / h_B^2,$$

где  $J_x, J_y, J_z$  – осевые моменты инерции платформы;  $h_B$  – вертикальный габаритный размер платформы.

Пространственная конфигурация тренажера  $C_i = (x_{Si}, y_{Si}, z_{Si}, \psi_i, \theta_i, \varphi_i)$  определяется значениями координат центра  $S$  платформы и тремя углами Эйлера-Крылова (см. рис. 3).

С учетом выше наведенных выражений построены спектры главных частот платформы тренажера (рис. 5) при осуществлении маневра типа тангаж из начальной конфигурации  $C_i = (0; -1,5; 3,0; 0; -20^\circ; 0)$  к конечной  $C_i = (0; 0; 2,0; 0; 0; 0)$ . Число конфигураций платформы принято:  $n_k = 100$ . Массоинерционные, упругие и конструктивные параметры тренажера приняты:  $m = 650$  кг;  $R_A = 2,7$  м;  $R_B = 2,456$  м;  $m_x = 300$  кг;  $m_y = 400$  кг;  $m_z = 400$  кг;  $c_0 = 1,0 \cdot 10^8$  Н/м;  $A_1 A_2 = 4,25$  м;  $A_1 A_6 = 0,76$  м;  $\gamma_1 = 16,17^\circ$ ;  $\gamma_2 = 103,8^\circ$ .

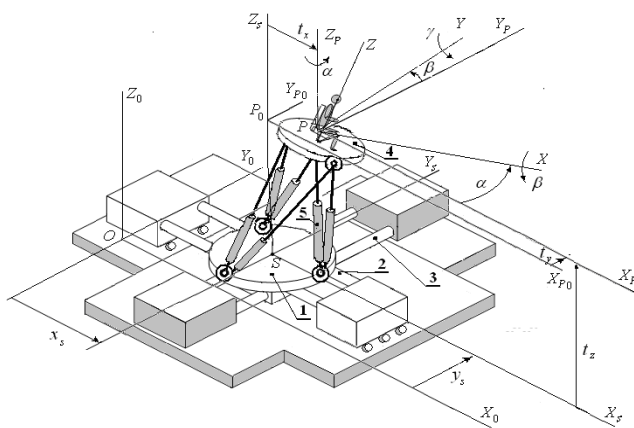


Рисунок 3 – Расчетная схема кинематики тренажера ММ: 1 – базис гексапода; 2, 3 – направляющие базиса; 4 – платформа для экипажа; 5 штанги гексапода

R

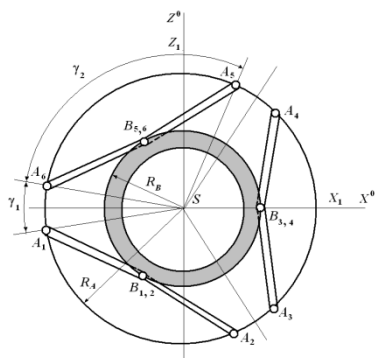


Рисунок 4 – Схема расположения шарниров платформы тренажера-гексапода

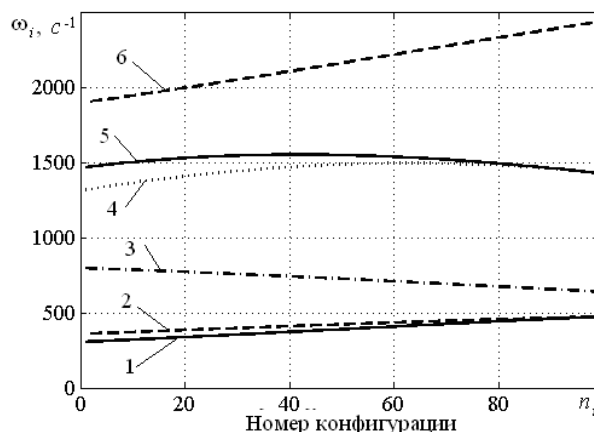


Рисунок 5 – Главные частоты тренажера при тангаже  $20^\circ$ : цифры на кривых указывают номер частоты

**Выводы.** 1. Для тренажерных систем ММ на основе гексапода представлены аналитические модели определения спектра главных частот при выполнении маневра типа тангаж. 2. При уменьшении угла тангажа и снижении платформы первая, вторая и шестая главные частоты возрастают, третья – уменьшается. 3. Определение спектра главных частот платформы тренажера дает возможность управлять колебательными параметрами тренажерной системы при выполнении заданного маневра.

## ЛИТЕРАТУРА

2. Кузнецов, Ю.М., Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. — 456 с.
3. Яглинский, В.П. Кинематика оборудования на основе механизмов параллельной структуры: Монография / В.П. Яглинский, В.В. Ержуков, А.Г. Ивахненко, А.В. Киричек, В.В. Куц, А.В. Морозова, Л.А. Рыбак, Д.Л. Соловьев, М.А. Федоренко, А.В. Чичварин // Прогрессивное машиностроительное оборудование. Коллективная монография — Орел, Изд. дом "Спектр", 2011. — 455 с.
4. Merlet, J.P. Parallel Robots [Текст] // J.P. Merlet. – The Netherlands, Dordrecht: Springer, 2006. – 417 p.
5. Ягліньський, В.П. Головні частоти платформи верстата-гексапода / В.П. Ягліньський, А.С. Обайді, М.В. Фелько, В.Т. Беліков // Вібрації в техніці та технологіях. — 2014, № 3(75). – С. 111–120.

## ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ВУГЛЕЦЕВОЇ ПЛАЗМИ ЗА АТМОСФЕРНИХ УМОВ ДЛЯ УТВОРЕННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНИХ МЕТАЛО-ВУГЛЕЦЕВИХ СТРУКТУР

Копилов В. І., Семенов М. І.  
Національний технічний університет України "КПІ"

Відновлювальна здатність вуглецю обмежується швидкістю його окиснення і є недостатньою для аморфного або графітизованого вуглецю, при введенні його в кислі покриття електродів для зварювання. При цьому відмічається, що зв'язаний, цементитний вуглець є більш активним[1]. З огляду на це іони вуглецю також викликають інтерес як з точки зору розкислення та карбідоутворення, так і з точки зору науглецювання з утворенням високодисперсних вуглецевих структур. Отримання достатньої кількості активних частинок вуглецю можливе завдяки реалізації дугового розряду з вуглецевим електродом.

Метою роботи було визначення відновлювальної здатності вуглецевої плазми, отриманої за атмосферних умов, для утворення високодисперсних вуглецевих структур.

Як відомо, в процесах зварювання графітовим електродом на прямій полярності зварювальний шов обезвуглецьовується (висока частка теплового впливу дугового процесу), а на зворотній полярності - науглецьовується до 0,8% . Дуга від графітового електрода при зворотній полярності є нестійкою. Для підвищення стійкості дуги необхідно підвищувати напругу, а на змінному струмі для стабілізації дуги застосовується осцилятор. Але підвищення напруги не може бути безмежним, тому що при високій напрузі значно збільшується і тепловий потік, який руйнує графітовий електрод та знижує якість шару. Навуглецювання дугою графітового електрода на зворотній полярності є неефективним через нестабільність дуги.

Дуга між двома вуглецевими електродами є достатньо стійкою як на постійному так і на змінному струмі. Однак, анод активно сублимує, а на катоді осідає шарувата сажа. При змінному ж струмі дуга відхиляється аксіальними електромагнітними полями електродів та утворює струмінь плазми. Таким чином, дуговий розряд додатково іонізує пари та сажу вуглецю, що надходять внаслідок сублимації електродів.

Проведені дослідження використання дуги між двома графітовими електродами все ж показують виникнення труднощів у позиціонуванні торців електродів по мірі їх використання.

Відомий графітовий електрод, що складається з двох поздовжніх частин розділених ізолюючим наповнювачем із криоліту з добавками оксиду заліза та алюмінію. При цьому дуга між торцями частин електродів оплавляє ізолятор, розплав якого слугує додатковим

стабілізатором процесу сублімації електродів, та як наслідок до їх самопозиціонування. Додатки оксиду заліза та алюмінію забезпечують металургійний процес відновлення заліза алюмінієм та утворюють металічну краплю. При вимкненні дуги крапля застигає та слугує перемичкою для повторного запалювання [2].

Для визначення відновлювальної здатності добавка на основі ільменітового рудного концентрату наносилася на поверхню деталі та оплавлувалася вуглецевою плазмою отриманою на торцях паралельно розміщених вуглецевих електродів.

Із отриманих поверхневих шарів вирізалася стружка та проводився її спектрохімічний аналіз. Отримані результати показують про перехід титану та алюмінію до металу сталевій підкладки.

Висновок: виявлено, що відновлювальної здатності плазми достатньо для відновлення титану, який міститься в рудному концентраті із досягненням 1% Ti у металі поверхневого шару.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Калін М.А. Підвищення якості металу шва при зварюванні електродами з кислим покриттям шляхом застосування чавунного порошку : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.03.06 "Зварювання та споріднені технології" / Калін М.А. - Маріуполь, 2003.
2. Графітовий (вугільний) електрод. Патент РФ № 2453410 від 20.06.2012.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Копылов В.И., Антоненко Д.А.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Соединение типа основа-газотермическое покрытие имеет ряд характерных областей, отвечающих за его поведение в тех или иных условиях эксплуатации (нагрузки). В общем случае рассматриваются 3 области – приповерхностные слои основы, межфазная зона основа-покрытие, и непосредственно само покрытие. Следовательно, для полного описания системы рассматривается влияние приповерхностных слоев основы на прочность системы, межфазная прочность основа-покрытие, когезионная прочность покрытия.

В литературе рассмотрено множество методов оценки прочностных свойств газотермических покрытий [1]. Преимущественно эти методы описывают поведение различных областей системы при возникновении в них определенного типа трещин, т.е. оперируют показателями трещино-стойкости системы. Однако, в некоторых случаях имеет место несоответствие показателей прочности покрытий, полученных при исследовании разными методами.

В работе рассмотрена характеристика двух методов исследований различных с точки зрения воздействия на систему основа-покрытие, а именно – исследование свойств покрытий при трехточечном изгибе и при индентировании пирамидой Викерса.

Целью работы является сопоставление показателей трещино-стойкости системы основа-покрытие при косвенном (трехточечный изгиб) и непосредственном (индентирование) воздействии на ее характерные области.

В качестве исходных материалов для нанесения покрытий использовались порошки с керамическими составляющими двух типов: смесь порошков NiCr-ZrO<sub>2</sub> (1:1 по объему), смесь NiAl-SiO<sub>2</sub> (SiO<sub>2</sub> в виде ультрадисперсного порошка в количестве 3 % об.). Покрытия наносились плазменным способом. Образцы для испытаний на трехточечный изгиб изготавливались в виде пластинок размерами 100x10x2 мм. Образцы для индентирования

имели размеры 20x20x5 мм с подготовленной под металлографический шлиф поверхностью поперечного сечения.

Испытания на изгиб проводились на установке Kogel с записью диаграммы изгиба; индентирование проводилось на микротвердомере пирамидой Викерса.

При рассмотрении случая трехточечного изгиба, на кривых нагрузка-прогиб по характерным пикам фиксировалось начало распространения трещин.

Для определения коэффициента трещино-стойкости зон системы основа-покрытие использовались полученные в эксперименте данные по критическим напряжениям при растрескивании, а также полученные ранее модули упругости исследуемых покрытий. Модули упругости покрытий были получены при рассмотрении внутреннего трения материалов с покрытиями на обратном крутильном маятнике [2].

При рассмотрении многофазного покрытия в условиях изгиба сложность состоит в учете всех параметров, ответственных за разрушение, и характеризующих отдельные фазы покрытия. Для этого рассмотрены и дополнены существующие подходы к рассмотрению трещиностойкости материалов с покрытиями и выведена зависимость (1) для 2-х компонентного покрытия.

В общем виде коэффициент интенсивности напряжений для многофазного композиционного покрытия, выраженный через интенсивность высвобожденной энергии  $G_{cuc}$ , запишется в виде:

$$K_{1C}^{cuc} = \sqrt{\frac{K_1^2 E_{cuc} (1 - \nu_1^2) f_1}{E_1 (1 - \nu_{cuc}^2)}} + \frac{1}{2} \frac{K_2^2 f_2 (1 - \nu_2^2)}{K_1 E_2} \cdot \sqrt{\frac{E_{cuc} E_1}{f_1 (1 - \nu_{cuc}^2) (1 - \nu_1^2)}} \quad (1)$$

где  $K$ ,  $E$ ,  $\nu$ ,  $f$  - коэффициент интенсивности напряжений, модуль упругости, коэффициент Пуассона, объемные доли соответствующей компоненты покрытия; индексы «1,2» относятся к соответствующим фазам.

При выводе выражения (1) для определения модуля упругости, коэффициента Пуассона системы и интенсивности высвобожденной энергии  $G_{cuc}$  использовано правило смесей, в виде суммы произведений соответствующих параметров на их объемные доли.

Расчетные параметры для исследуемых покрытий составили: для NiCr-ZrO<sub>2</sub> – 2,76 МПа·м<sup>1/2</sup>, для NiAl-SiO<sub>2</sub> – 3,25 МПа·м<sup>1/2</sup>.

В условиях непосредственного индентирования в зону соединения основа-покрытие и/или в покрытие рассматривалась система трещин Палмквиста, предполагающая распространение трещин от углов отпечатка индентора. Данная система характерна для хрупких материалов при невысоких нагрузках, и, в частности, для рассмотренного случая газотермических покрытий, содержащих керамические составляющие. Как и в случае трехточечного изгиба, в данном случае рассматривается коэффициент трещиностойкости покрытия (межфазной зоны). В литературе известно множество уравнений, описывающих данный параметр при индентировании [3]. В работе использовалась формула (2) вида

$$K_{1C} = 0.0089 \cdot \left( \frac{E}{H_V} \right)^{2/5} \cdot \frac{P}{al^{1/2}} \quad (2)$$

где  $E$  – модуль упругости покрытия,  $H_V$  – твердость покрытия по Викерсу,  $P$  – нагрузка на индентор,  $a$  – полудлина диагонали отпечатка,  $l$  – длина трещины.

Значения трещиностойкости границы соединения составили: для системы NiCr-ZrO<sub>2</sub> – 1,2 МПа/м<sup>2</sup>, а для NiAl-SiO<sub>2</sub> – 1,6 МПа/м<sup>2</sup>.

Полученные данные для рассмотренных методов сопоставимы с известными в литературе [3, 4]. Различия в значениях связаны в первую очередь с зоной воздействия на образец, а также с выбранной методикой расчета. Описанные методы дают возможность как качественного, так и количественного анализа композиций типа основа-покрытие.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Долгов М. А. Опір деформації і руйнуванню матеріалів з функціональними покриттями. – Тернопіль: Крок, 2010. – 231 с.
2. Копылов В.И., Антоненко Д.А. Физико-механические характеристики и внутреннее трение материалов с многофазными газотермическими покрытиями // Проблемитехніки. – Одеса. – 2014. – № 2. – С. 72-89
3. D. Chicot, G. Duarte, A. Tricoteaux, B. Jorgowski, A. Leriche, J. Lesage Vickers Indentation Fracture (VIF) modeling to analyze multi-cracking toughness softtania, alumina and zirconia plasma sprayed coatings // Mat. Sci. Eng. A. – 2009. – No. 527. – P. 65-76
4. K. K. Schweitzer, M. H. Ziehl, Ch. Schwaminger Improved methods for testing bond and intrinsic strength and fatigue of thermally sprayed metallic and ceramic coatings // Surf. Coat. Tech. – 1991. – No. 48. – P. 103-111

## ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ КОРИСНИХ ВІБРАЦІЙ

Симонюк В.П., Панасюк В.І.  
Луцький національний технічний університет

Приладобудівна та багато інших галузей промисловості, потребують вдосконалення методів фінішної обробки деталей, підвищення їх якості і покращення товарного вигляду. Матеріали, що використовуються при обробці, виконують основну роль у процесі обробки, забезпечуючи знімання металу, шліфування, полірування, зняття окислів з оброблюваної поверхні та інше. В залежності від характеру операцій можна застосовувати або абразивні матеріали, або неабразивні, чи сполучення тих і інших. Також можлива суха або із використанням рідинних сумішей обробка.

Режими вібрування суттєво впливають на продуктивність процесу. Продуктивність технологічного процесу, як відомо, характеризується кількістю оброблених деталей за одиницю часу. Дослідження показують, що зміни поверхневих шарів деталі при обробці будуть проходити тим інтенсивніше, чим вища величина максимальних пришвидшень, які отримують абразивні частинки. При малих величинах пришвидшення, відносного переміщення стінок робочої камери, частинок робочого середовища та оброблюваних деталей не буде, а відповідно, не буде відбуватись процес обробки.

Вібраційна обробка деталей в абразивному середовищі відбувається з використанням певного обладнання. Віброустановка, як правило, містить джерело рушійної сили і контейнер для завантаження робочої суміші, яка включає оброблювані деталі, наповнювач, а також, при необхідності, рідинні розчини. У якості шліфуючих і поліруючих матеріалів для робочого середовища використовуються штучні абразивні матеріали, природні абразивні матеріали і неабразивні матеріали. Застосовують також абразивні матеріали у вигляді частинок різних розмірів і форм, шліфзерен і шліфпорошків. На операціях тонкої обробки застосовують різного роду пасти.

Вібраційна машина повинна містити пристрої, які забезпечують необхідний характер вібрацій. Основним вузлом вібраційної установки, який забезпечує виконання головного руху вібрування, є вібратор.

Здійснення вібраційних навантажень об'єктам обробки можливе різними способами. Широко відомі вібромашини з механічним, електричним, пневматичним, гідравлічним приводами та їх поєднаннями. На практиці в конструкціях вібраційних установок дуже часто застосовуються механічні вібратори відцентрового типу, дебалансні віброзбуджувачі, які прості за конструкцією, надійні та дозволяють легко змінювати збуджуючу силу.



При певних режимах обробки, в робочому середовищі утворюються застійні області де обробка деталей відбувається гірше, в порівнянні з рештою об'єму робочої камери. При віброабразивній обробці деталі нагромаджуються в центрі руху, тобто в зоні найменшої кінетичної енергії. Беручи це до уваги, можна зробити висновок, що обробку деталей вібраційними методами найбільш доцільно проводити на регульованих вібраційних верстатах.

Однією з актуальних задач розвитку вібраційної обробки є вдосконалення вже існуючих і створення нових вібраційних установок, які б дозволяли автоматизувати процес вібраційної обробки. Дану задачу найкраще можна вирішити використавши в якості приводу електромагніти.

Проведений багатьма науковцями аналіз існуючих конструкцій віброустановок, з точки зору їх оптимальної продуктивності, надійності в роботі і якості оброблених деталей, вказує на недостатність вивчення даного питання та неповноту дослідження процесів вібраційної обробки.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Искович-Лотоцкий Р.Д. Матвеев И.Б. Машины вибрационного и виброударного действия. – К., 1982. -241с.
2. Бурштейн И.Е., Балицкий В.В. Объемная вибрационная обработка. М., 1987. - 54с.

## **ФОРМООБРАЗУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Бергер Е.Э.

Херсонский национальный технический университет

### **Формообразующие механизмы**

Комплексная механизация и автоматизация процессов обработки деталей со сложными криволинейными профилями требуют разработки и внедрения соответствующих методов и устройств, обеспечивающих требуемое относительное перемещение заготовки и инструмента. При этом наиболее прогрессивными являются бескопирные, кинематические методы, при которых инструмент и заготовка связаны определенными кинематическими цепями, то есть формообразующими механизмами.

В основе этих механизмов лежат направляющие механизмы, рабочий орган которых совершает сложное движение по заданной криволинейной траектории. Однако при обработке деталей такое сложное движение режущего инструмента вызывает конструктивные трудности, снижает надежность и точность обработки. Следовательно, механическая обработка требует создания устройств, у которых по аналогии с большинством металлообрабатывающих станков заготовка (деталь) подвижна, а режущий инструмент совершает лишь вращательное или поступательное движение относительно неподвижной оси или оси, совершающей простейшие движения – прямолинейное или круговое.

В настоящее время разработано два метода синтеза таких устройств – метод инверсии и метод вращающейся стойки.

#### **1. Метод инверсии**

В основе метода лежит кинематическое обращение движения или, как его называют в ТММ, инверсия. Он состоит в том, что исходный механизм, обеспечивающий перемещение точки подвижного звена (шатуна) по некоторой кривой подвергается следующему преобразованию:

- неподвижное звено раскрепляется, при этом бывшая неподвижная плоскость становится подвижной и совершает сложное движение;

- чтобы не изменялась степень свободы механизма, необходимо ранее подвижное звено закрепить и сделать неподвижным.

Таким образом получают устройство для обработки криволинейных профилей, обеспечивающее подачу заготовки на инструмент, ось которого неподвижна.

## **2. Метод вращающейся стойки**

В металлообрабатывающих станках, во многих автоматах карусельного типа применяется такое относительно перемещение изделия и инструмента – изделие вращается, а инструмент перемещается прямолинейно.

Для синтеза формообразующих устройств с указанным относительным перемещением заготовки и инструмента необходимо стойку раскрепить и соединить ее с основанием шарнирно с возможностью ее вращения вокруг некоторого центра. В частном случае этим центром может быть принят один из шарниров стойки. При этом у исходного механизма появляется одна дополнительная степень подвижности. Чтобы устранить эту лишнюю подвижность, нужно к исходному механизму присоединить группу, имеющую степень свободы, равную минус 1.

Такой группой может служить:

- крестообразный ползун (одно звено с двумя поступательными парами) ;
- ползун с шарниром (одно звено с одной вращательной и одной поступательной парой) ;
- кривошип (одно звено с двумя вращательными парами) .

Особого внимания в синтезе машин карусельного типа заслуживает способ преобразования, при котором звено, связанное с вращающейся плоскостью, является ведущим и обобщение координаты исходного и полученного механизма оказываются одинаковыми.

Таким образом в общем случае преобразованный механизм можно получить и без введения дополнительных звеньев. Для этого достаточно в исходном механизме звено, связанное со стойки шарниром, закрепить и вращать стойку вокруг второго шарнира.

## **Заключение**

На основе анализа методов синтеза бескопирных формообразующих устройств возможна дальнейшая разработка конструкции и проектирование механизмов для обработки сложнопрофильных деталей и манипуляторов промышленных роботов, а также исследования и конструкторские разработки по внедрению этих устройств в производственную практику с целью механизации и автоматизации технологических процессов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Добровольский В.В. Теория механизмов для образования плоских кривых. М. АН СССР, 1953. -146 с.
2. Артоблевский И.И. Теория механизмов для воспроизведения плоских кривых. М. АН СССР, 1959. – 260 с.
3. Материалы патентной литературы, Бергер Э.Г., Бергер Е.Э. и др. авт. св. №630096, №648452, №1100150, №1100151.

## **АКТУАЛЬНІСТЬ ВІБРООБРОБКИ**

Симонюк В.П., Будь Л.В.

Луцький національний технічний університет

Стрімкий розвиток приладобудівної та багатьох інших галузей промисловості, зростання вимог до якості продукції обумовлюють необхідність вдосконалення методів фінішної обробки деталей, підвищення їх міцності і покращення товарного вигляду. На сьогодні при виготовленні деталей приладів точної механіки все ще залишається ручна праця на очистці, поліруванні, шліфуванні деталей.

Все це зумовило значне поширення вібраційної обробки деталей приладів. Вібраційна обробка має широкі технологічні можливості, вирізняється простотою конструкції і обслуговування.

При дослідженні протікання процесу віброобробки в залежності від часу було встановлено, що зняття стружки металу проходить досить рівномірно на протязі всього періоду обробки. Зі збільшенням часу обробки деталі, шорсткість поверхні оброблюваної деталі зменшується.

При дослідженні протікання процесу віброобробки в залежності від часу було встановлено, що зняття стружки металу проходить досить рівномірно на протязі всього періоду обробки.

Найбільш ефективним приводом машини є використання багатокомпонентного приводу. Це відбувається при заміні одного електромагніта декількома, наприклад чотирма. За рахунок будь-якого почергового включення електромагнітів, навіть всіх одночасно, є можливість створення певних законів руху робочої суміші. В той же час, змінивши почерговість включення цих же електромагнітів, або змінивши їх амплітуду чи частоту коливань, можна, не припиняючи обробки деталей, внести зміни в ті процеси, які відбуваються в робочому контейнері. Це дає змогу протидіяти створенню застійних зон збільшити продуктивність обробки деталей, значно підвищити якість їх обробки.

На основі викладеного вище у віброоброблювальній машині привід повинен забезпечувати плавне регулювання амплітуди та частоти коливань для вибору найоптимальнішого режиму віброобробки;

Робочий орган має бути з'ємним, це дасть змогу встановлювати вібробункери різних розмірів і конфігурації, що дозволить вибирати оптимальні співвідношення робочого об'єму завантажувальної суміші, а також покращувати циркуляцію (переміщення) суміші деталей і абразиву.

Сучасні вироби, що випускаються промисловістю, потребують високої точності обробки поверхонь. Обробка деталей абразивною сумішшю у вібраційних установках є одним з методів, що дозволяє отримувати поверхні виробів з високим класом точності.

Проаналізувавши вищевказане, можна зробити висновок, що застосування електромагнітних приводів є досить перспективним, а отже, необхідні подальші дослідження в цьому напрямку.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Ланець О.С. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом (Теоретичні основи та практика): моногр. / О.С. Ланець. - Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2008. - 324 с.
2. Бабичев А.П. Физико-технологические основы методов обработки: учебное пособие для вузов / А.П. Бабичев. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2006.-410 с.

## **ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАПЛАВКИ ПОД ФЛЮСОМ С ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ЭЛЕКТРОДА**

Симутенков И.В.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Обеспечение надежности судовых машин и механизмов - важная научно-техническая задача, решение которой связано как с увеличением износостойкости сопрягаемых поверхностей, так и с оперативным ремонтом, сокращением периода простоя судна во время ремонта. При изготовлении новых и ремонте изношенных деталей судовых механизмов широко используют автоматическую электродуговую наплавку под флюсом (АНФ), которая позволяет в широких пределах регулировать толщину и свойства наносимого слоя. Однако наряду с известными преимуществами АНФ перед другими способами восстановления рабочей поверхности деталей этот способ не лишен недостатков, к числу которых относятся значительное тепловложение. Избыток тепла приводит к увеличению ширины ЗТВ, повышенному перемешиванию основного металла с наплавленным, увеличению деформаций, снижению механических свойств наплавленного слоя [1]. Задача минимизации отрицательных последствий повышенного тепловложения при АНФ является **актуальной**.

Один из путей решения данной задачи при использовании серийного сварочного оборудования - оснащение его дополнительным, недорогим, устройством, активизирующим процесс наплавки посредством возбуждения в электродной проволоке высокочастотных изгибных колебаний, приводящих к разрушению жидкометаллического слоя на торце электрода, и периодическому управляемому отделению капель электродного металла. Ранее проведенные исследования показали [2, 3], что при этом обеспечивается управление переносом электродного металла, регулирование тепловложения в основной металл, управление кристаллизацией металла шва, размерами и формой наплавленного валика.

**Цель данной работы** - усовершенствование технологии АНФ при ремонте деталей судовых машин и механизмов, изготовленных из конструкционных сталей, на основе управляемого переноса металла под действием механических высокочастотных колебаний электродной проволоки (ВКЭ).

В качестве показателей усовершенствования технологии наплавки были приняты: стабильность дугового процесса, производительность АНФ, размеры наплавленного валика и доля участия основного металла в наплавленном слое.

Отработку и опытно-промышленную проверку технологии проводили в производственных условиях на ПАО «Херсонский судостроительный завод» и ОАО «Черноморская яхтенная верфь».

Восстановительную наплавку опытных гребных валов осуществляли на специализированной установке, смонтированной на базе газорезательной машины RM 461E с плавным регулированием скорости вращения вала и зависимым перемещением электрода вдоль образующей вала. Установка оборудована наплавочной головкой на базе подающего механизма полуавтомата ПДГ 508М с дополнительным устройством для высокочастотных колебаний электродной проволоки, установленным на станине наплавочной установки.

Высокочастотные колебания торца электродной проволоки возникают в результате импульсного воздействия на электрод с помощью ударника специального механического генератора (рис. 1) [4, 5]. Параметры высокочастотных колебаний задаются частотой вращения шайбы с набором роликов и плечом  $l_k$  (рис. 2) приложения силы импульсного воздействия.

Задаваемыми параметрами режима наплавки с ВКЭ, кроме традиционных, являются: амплитуда колебаний торца электрода -  $A_k$ , мм, частота колебаний -  $f_k$ , Гц, направление импульсных перемещений электрода - вдоль или поперек направления наплавки.

Для обеспечения высокого качества наплавки использовали сварочные материалы в соответствии с требованиями РД 212.0080-87, подготовку поверхности под наплавку и контроль качества проводили также согласно РД 212.0080-87.

Восстановление изношенных цилиндрических поверхностей деталей выполняли однозаходной наплавкой проволоками Св-08, Св-08А диаметром  $d_s = 2,0$  мм под керамическим флюсом АНК – 18 на режимах, приведенных в табл. 1.

Таблица - Режимы наплавки цилиндрических деталей с ВКЭ

Диаметр детали, мм	Скорость подачи проволоки, м\ч,	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Шаг наплавки, мм/об	Смещение электрода от «зенита» а, мм	Вылет электрода $l_B$ , мм
120-200	92	220-240	26-28	5,0-6,0	8-12	15
200-250	120	260-280	28-30	5,0-6,0	10-14	15-20
250-350	152	300-320	30-32	6,0	12-16	20-25
>350	194	340-360	32-34	6,0-7,0	14-18	20-25

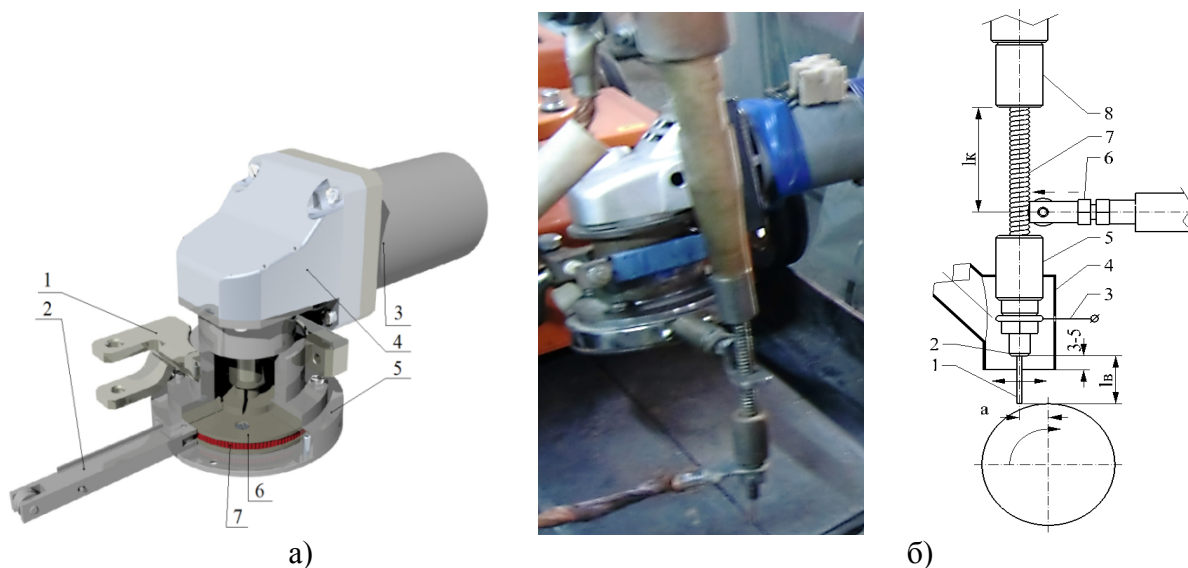


Рис. 1. Конструкция механического генератора: 1 – скоба; 2 –ударник; 3 – электродвигатель; 4 – редуктор; 5 – корпус; 6 – шайба; 7 – задающие ролики

Рис. 2. Установка генератора на сварочной головке и ударника генератора при наплавке: 1 –электрод; 2 – токоподвод; 3 – кабель; 4 – флюсоподвод; 5, 6 – ударник; 7 – боуден; 8 - обоймы боудена

Примечание:  $A_k = 10...15$  мм;  $f_k = 10...100$  Гц, направление импульсных перемещений электрода - поперек направления наплавки [6].

При этом твердость металла в верхней части валика, наплавленного на низкоуглеродистую основу, составила 300 НВ, однако при наплавке без колебаний она была достигнута только во втором слое, а при наплавке с ВКЭ – уже в первом.

Также установлено, что при наплавке с колебаниями электрода, несмотря на некоторое увеличение амплитуды колебаний тока и напряжения, стабильность дугового процесса остается высокой. Характерные периодические изменения тока и напряжения, наблюдаемые на осциллограммах, подтверждают наличие управляемого процесса удаления жидкометаллического слоя с торца электрода. Колебания напряжения дуги с частотой  $f = 15...20$  Гц, при естественном капельном переносе металла, переходят в колебания со

спектром частот без ярко выраженных пиков, что свидетельствует о снижении влияния измельченных высокочастотными колебаниями капель на напряжение и силу тока в дуге [7].

Высокочастотные колебания электрода позволяют активно управлять технологическими характеристиками процесса наплавки и геометрией наплавленного слоя. Так, увеличение частоты управляющего воздействия до 320 Гц приводит к возрастанию коэффициента наплавки с 15,0 г/А·ч до 22,6 г/А·ч [7]. При наплавке с частотой колебаний электрода  $f_k = 680$  Гц (при  $l_b = 45$  мм) глубина проплавления и доля участия основного металла в наплавленном уменьшаются соответственно в 1,6 и в 2,8 раза.

Разработанная технология наплавки с ВКЭ рекомендуется к внедрению на судостроительных и судоремонтных предприятиях.

### **ВЫВОДЫ**

1. Высокочастотные колебания электрода с частотой до 680 Гц при однодуговой автоматической наплавке под флюсом обеспечивают при высокой стабильности дугового процесса повышение производительности плавления электрода на 46%, снижение доли участия основного металла в наплавленном в 2,8 раза.
2. Для практического использования усовершенствованной технологии наплавки с высокочастотными колебаниями электрода разработана и внедрена в производство на ПАО "ХСЗ" технологическая инструкция № 727-10-40-1 "Восстановление судовых гребных валов перлитными и хромоникелевыми сталями автоматической наплавкой под флюсом с высокочастотными колебаниями электрода".

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Лашенко, Г. И. Энергетические характеристики процессов дуговой сварки плавящимся электродом / Г. И. Лашенко // Автоматическая сварка. – 1998. - № 9. - С. 18-23.
2. Лебедев, В. А. Аспекты выбора оборудования для электродуговой и автоматической сварки с импульсной подачей электродной проволоки / В. А. Лебедев // Сварочное производство. – 2008. – № 5.–С. 45 – 49.
3. Драган С. В. Управление технологическими характеристиками дугового процесса при наплавке под флюсом током малой плотности/ С. В. Драган, И. В. Симутенков, К. К. Трунин, И. Г. Лубковский / Вісник ДГМА. – 2011. - № 1 – С. 71 - 76.
4. Патент України (МПК 2013.01). Спосіб зварювання та пристрій для його здійснення / Симутенков І.В., Драган С.В., Галь А.Ф.; заявитель и патентообладатель Национальный университет кораблестроения. - № 103640; заявл. 21.06.2011; опубл. 11.11.2013. Бюл. № 21.
5. Патент України (МПК 2014.01). Пристрій для подавання електродного дроту / Симутенков І.В., Драган С.В., Галь А.Ф.; заявитель и патентообладатель Национальный университет кораблестроения. - № 104894; заявл. 21.12. 2011; опубл. 25.03.2014. Бюл. № 6.
6. Голобородько, Ж. Г. Автоматическая наплавка под флюсом конструкционных сталей с поперечными высокочастотными перемещениями электрода. / Ж. Г. Голобородько, С. В. Драган, И. В. Симутенков // Автоматическая сварка, 2013. – № 6.– С. 35 – 38.
7. Лебедев В. А. Технологические характеристики автоматической наплавки под флюсом с высокочастотными колебаниями торца электрода / В. А. Лебедев, С. В. Драган, Ж. Г. Голобородько, И. В. Симутенков, Ю. А. Ярос / Автоматическая сварка. – 2014. – №8, С. 35-38.

## КУБІЧНІ ДОДЕКАБОРИДИ – ПЕРСПЕКТИВНІ ТУГОПЛАВКІ СПОЛУКИ ДЛЯ ТЕХНІКИ

Одінцов В.В.

Херсонський державний університет

Корінь О.В.

Херсонський державний аграрний університет

**Вступ.** Розвиток суспільства, його просування вперед залежить від забезпечення сучасних інноваційних технологій у промисловому комплексі та машинобудуванні новими матеріалами, що мають комплекс властивостей в широкому інтервалі температур та в специфічних умовах – агресивних середовищах, розплавлених металах, радіоактивності тощо. Такими матеріалами можуть бути додекаборидні фази цирконію, ітрію, рідкісноземельних металів та урану. Встановлено, що кубічні структури типу  $UB_{12}$  (додекабориди), утворюють лише 10 елементів: Y, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Zr, U [1].

**Актуальність дослідження.** Знання фізико-хімічних властивостей цього класу з'єднань є актуальним, адже ці фази включають на 12 атомів бору (напівпровідника) лише 1 атом металу (провідника), і важко передбачити – які ж властивості будуть виявляти ці сполуки. Володіння знаннями про фізичні характеристики вказаних матеріалів є дуже актуальним як для вчених - теоретиків, так і для дослідників, що працюють у сфері промисловості, технологій, машинобудуванні.

Додекаборидні фази  $YB_{12}$ ,  $TbB_{12}$ ,  $DyB_{12}$ ,  $HoB_{12}$ ,  $ErB_{12}$ ,  $TmB_{12}$ ,  $YbB_{12}$ ,  $LuB_{12}$  були отримані нами методом боротермічного відновлення окислів металів у вакуумі при наявності у вихідній шихті надлишкового бору у кількості 6 ваг.% для  $YB_{12}$  та 4 ваг.% для інших додекаборидів [2].

Як показали дослідження, кубічні додекабориди – тугоплавкі сполуки, дуже стійкі до дії кислот, їх сумішей та лугів. Встановлено, що додекабориди, з хімічної точки зору, найбільш стійкі сполуки, ніж нижчі бориди відповідних металів: з наростанням структурного мотиву атомів бору стійкість фаз збільшується [3]. Великий вміст бору і наявність рідкісноземельних елементів при високій теплопровідності  $MeB_{12}$  передбачає використання цих сполук у ядерній енергетиці.

Вивчення комплексу фізичних властивостей (наведені в таблиці 1) дає можливість віднести додекабориди до металоподібних тугоплавких сполук, що дуже необхідні для сучасної техніки та практики [4, 5].

Таблиця 1 – Основні фізичні характеристики додекаборидів рідкісноземельних металів

Фаза	$YB_{12}$	$TbB_{12}$	$DyB_{12}$	$HoB_{12}$	$ErB_{12}$	$TmB_{12}$	$YbB_{12}$	$LuB_{12}$	$ZrB_{12}$	B
Мол. вага $M \cdot 10^{-3}$ кг/моль	218,732	288,656	292,232	294,732	296,982	298,732	302,732	304,732	220,952	10,811
Густина, $\gamma \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>	3,444	4,540	4,611	4,655	4,706	4,756	4,820	4,868	3,611	2,340
Температура плавлення, °К	2950	2400	2550	2750	2600	2750	-	2650	2750	2075
Характер. температура, °К	1052	900	850	872	872	868	845	848	976	1200
Коефіцієнт термічного розширення $\cdot 10^{-6} K^{-1}$	3,2	3,6	4,6	3,6	3,7	3,8	3,7	3,4	3,5	8,3
Швидкість звуку, м/с	10400	6000	5740	5880	5900	5820	5700	5900	6520	15600 експер.- 16200
Коефіцієнт Пуассона	0,31	0,36	0,37	0,34	0,30	0,33	0,35	0,36	0,39	0,39

табл 1

Модуль зсуву, ГПа	$3 \nu_m$	195	160	150	160	160	160	156	170	154	320[7]
	$3 E_{розр.}$	180	141	151	166	143	157	154	141	156	-
Модуль Юнга розрах. ГПа	Розрах. нами	270	200	200	210	220	210	200	220	190	-
	[6]	180	220	210	200	200	200	200	190	-	-
Модуль Юнга експ. ГПа	$E_{стат}$	250	-	190	190	195	197	198	210	200	-
	$E_{дин}$	240	-	198	178	165	210	230	230	182	390[7]
Резонансна частота $f$ , Гц		1544	-	1300	1960	1500	1300	1500	1324	3000	3540
Мікротвердість $H_{100}$ , кг/мм <sup>2</sup>		3200	2600	2400	2700	2800	3000	-	2900	3000	3400
Концентрація електронів $\times 10^{28} \text{ м}^{-3}$		1,28	1,50	1,35	1,13	1,39	1,33	0,78	1,30	2,40	-
Питомий опір, $\rho \times 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$		17,0	12,0	14,4	14,7	16,1	17,0	190,5	13,6	22,0	$10^{12}$
Терм. коэф. опору, $\text{K}^{-1}$		+2,7	+2,1	+1,8	+1,7	+2,1	+1,6	-	+2,3	+1,4	-
Коеф. термо-ерс $\times 10^6 \text{ В/К}$		-3,8	-4,5	-2,2	-2,7	-0,1	-0,5	-3,8	-3,6	-0,9	-
Коеф. Холла, $R \times 10^{10} \text{ м}^3/\text{Кл}$		-4,9	-4,2	-4,6	-5,5	-4,5	-4,7	-8,4	-4,8	-2,6	$+7,5 \cdot 10^7$
Робота виходу 1900 К, еВ		4,53	4,41	4,50	4,45	4,43	4,42	4,35	4,20	4,30	4,50
Теплопровідність 293 К, Вт/м·К		40	-	29	32	38	40	-	-	21	1,26

**Висновки.** Навіть поверхневий огляд фізичних властивостей вказує на можливість використання додекаборидів рідкісноземельних металів як абразивних матеріалів, матеріалів для покриттів деталей машин та механізмів для захисту від агресивних середовищ; матеріалів атомної, ядерної, ракетобудівної галузей; наповнювачів для композитів; як вихідних матеріалів для об'ємних резисторів тощо.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. La Placa S., Binder I., Post B. Dodecaborides Earth Metals // J.Inorg. Nucl. Chem., 1961, v.18. - P.113-116.
2. Падерно Ю.Б., Одинцов В.В. Получение додекаборидов металлов боротермическим восстановлением окислов металлов. В кн. Металлотермические процессы в химии и металлургии. – 1971. – С.39-43.
3. Юхименко Е.Е., Котляр Е.Е., Одинцов В.В. Химическая устойчивость додекаборидов со структурой типа  $UB_{12}$  // Порошковая металлургия, т.107, №11, 1971. – С.52-55.
4. Одинцов В.В. Додекабориди рідкісноземельних металів. – К., 1992. – 56 с.
5. Одинцов В.В., Корень Е.В. Изучение прочностных характеристик тугоплавких додекаборидов редкоземельных металлов со структурой типа  $UB_{12}$ . Сб. научных трудов SWorld. Вып. 2., т. 3. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – 108с. - С.55 – 61.
6. Мойсеенко Л.Л. Электрофизические свойства додекаборидных фаз редкоземельных металлов. Автореферат канд. дис. – К., 1981.
7. Францевич И.Н. Упругие постоянные металлов. В сб. «Вопросы порошковой металлургии и прочности металлов». Вып.3. Изд-во АН УССР, 1958.



## РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОБІЛЬНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИН

Подольський М.І.

Херсонський національний технічний університет

Лілевман І.Й., Лілевман О. Й.

Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого

**Вступ.** Забезпечення випробувань на рівні сучасних вимог до їх якості і в той же час економічна необхідність скорочення терміну їх проведення неможливі без удосконалення методів досліджень та відповідних засобів вимірювальної техніки. [3,5,6]. У цій справі актуальним є вирішення технічних та методичних задач, щодо визначення вагових характеристик машин під час різноманітних видів випробувань та наукових досліджень, які проводяться поза територіями науково-дослідних організацій та випробувальних центрів.

**Постановка задачі.** Задача полягає в тому, що користування стандартизованими в даний час переносними ваговимірювальними приладами в полі, на територіях машино-тракторних станів, тваринницьких та птахівницьких ферм та в інших умовах, коли відсутні стаціонарні ваги для великогабаритних важких вантажів, пов'язане з необхідністю проведення підготовчих трудомістких робіт, потребує використання під час зважування вантажопідійомних машин і механізмів або обмежене, у багатьох випадках, великою площею контакту рушіїв з опорною поверхнею [2,4,7].

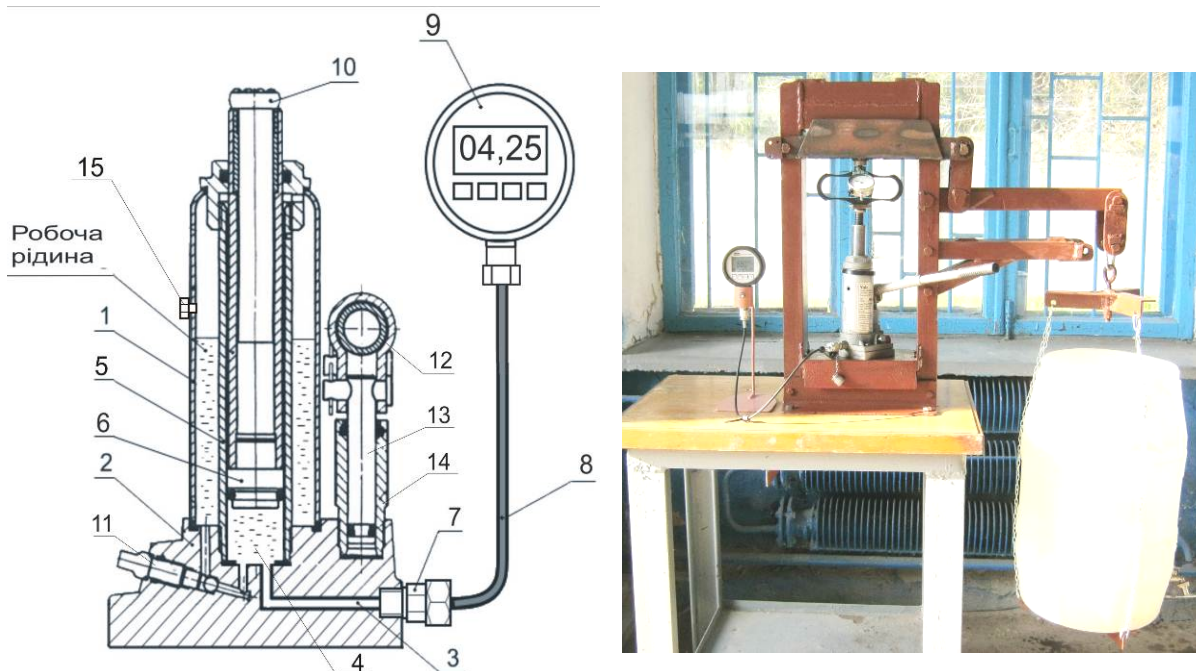
**Актуальність теми.** Актуальною є розробка конструкції, виготовлення, метрологічна атестація, апробація і впровадження у практику випробувань переносних ваговимірювальних приладів, які б під час випробувань поза територіями науково-дослідних організацій та випробувальних центрів виключали необхідність переміщувати машини та застосовувати вантажопідійомне обладнання.

**Основна частина.** Розроблена конструкція та виготовлені експериментальні моделі приладів ваговимірювальних гідравлічних ПВГ-5, ПВГ-10, (рис. 1,а) та установки для дослідження залежності тиску робочої рідини в цих приладах від величини діючих на них навантажень та для калібрування приладів (рис.1,б).

Основою конструкції приладів ваговимірювальних гідравлічних ПВГ-5Е і ПВГ-10Е (рис. 1,а) є ручні гідравлічні домкрати 1 вантажопідійомністю відповідно 5 тс і 10 тс. У платформі 2 домкратів виконується канал 3 між її зовнішньою поверхнею та поверхнею, яка утворює днище поршневої порожнини 4 в корпусі 5 під силовим поршнем 6. До каналу 3 з зовнішньої сторони платформи 2 домкрата за допомогою муфти 7 з клапаном попередження витоку гідравлічної рідини та гідравлічного рукава високого тиску 8 необхідної довжини на різьбових з'єднаннях з ущільнюючими прокладками приєднується, електронний цифровий манометр 9 Servis Junior фірми Parker виробництва Німеччини.

Принцип дії приладів полягає в тому, що під час підйому ними машини вагове навантаження через вантажоприймальну площадку 10 та силовий поршень 6 передається на гідравлічну рідину в поршневій порожнині 4 і створює в ній відповідний тиск. Величина тиску гідравлічної рідини вимірюється електронно-цифровим манометром 9

Переведення значень тиску гідравлічної рідини в еквівалентні ним значення вагового навантаження виконується за результатами калібрування приладів (рис.1,б)

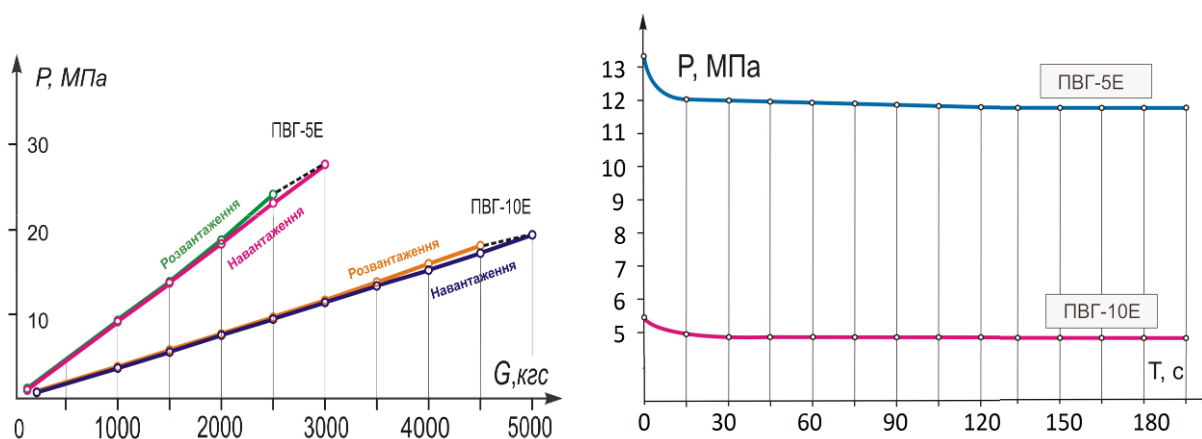


а) б)

Рис.1.Схема приладів ваго вимірювальних гідравлічних ПВГ-5Е і ПВГ-10Е

Проведені дослідження щодо:

- стабільності показань приладів ПВГ в умовах різних температур зовнішнього середовища. За результатами дослідження встановлено, що в межах регламентованої точності вимірювань під час проведення випробувань та в передбаченому температурному діапазоні експлуатації приладів ПВГ вплив температури повітря на його показання не виявлений. Тобто не має потреби у коригуванні показань приладів ПВГ залежно від температури навколишнього середовища;



Графік залежності тиску робочої рідини (P), в поршневій порожнині приладів від величини діючих на прилади навантажень (G)

а)

Динаміка тиску робочої рідини у поршневій порожнині приладів під дією сталою в часі вагового навантаження

б)

Рис.2. Аналіз характеристик приладів

- залежності тиску робочої рідини в приладах ПВГ від діючих на них навантажень (рис.2,а). За результатами дослідження в поршневій порожнині приладів ПВГ відбувається

зростання тиску робочої рідини від діючих на прилади зростаючих навантажень і навпаки падіння тиску робочої рідини зі зменшенням навантажень. Співвідношення між діючими на прилад навантаженнями і еквівалентними тисками робочої рідини в приладі має нелінійний характер (явище гістерезису, обумовлене силами тертя в складових частинах домкрату).

- часу стабілізації тиску робочої рідини в приладах ПВГ (рис. 2,б.) під дією сталого вагового навантаження. За результатами дослідження від моменту початку дії на прилади сталого вагового навантаження протягом 1,5-2,0 хвилин відбувається зменшення тиску в них робочої рідини з різним уповільненням, а потім настає необмежена в часі стабілізація тиску і можливість зняття показань.

а)



ПВГ-10Е під час зважування фронтального навантажувача PN 936

б)



Тягомір гідравлічний з електронно-цифровим манометром в роботі

Рис.3. Апробація приладів

- сконструйовано та виготовлено зразок гідравлічного тягоміру (з датчиком та реєстратором динаміки тиску робочої рідини). Попередня апробація останнього конструкційного варіанту тягоміра (рис.3,б) показала, що він забезпечує реєстрацію динаміки тиску робочої рідини в приладі в цифровому вигляді та при наявності відповідних комп'ютерних програм можна отримати цю динаміку у табличній та графічній формах (рис.4).

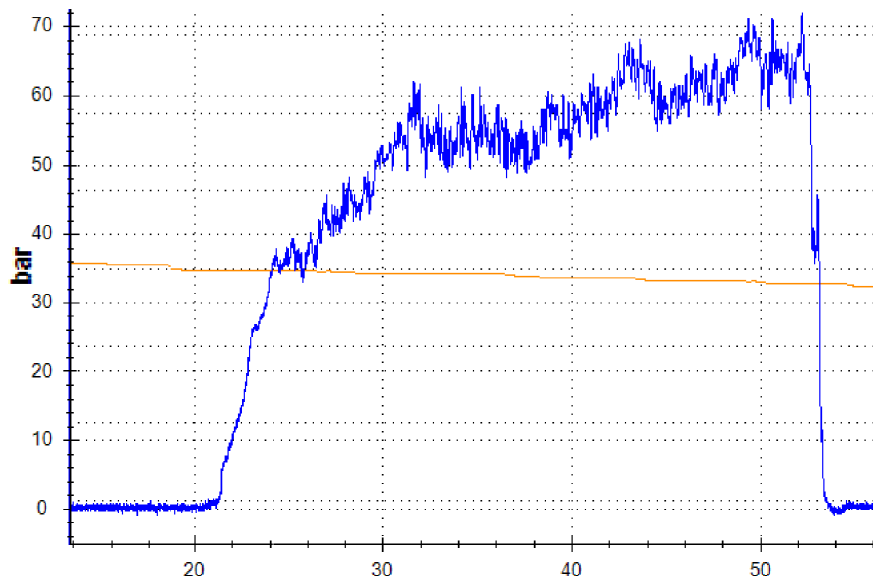


Рис.4. Графічна форма запису динаміки тиску робочої рідини, яка еквівалентна динаміці тягового зусилля та отримана за допомогою гідравлічного тягоміра

Прогнозована ціна самого коштовного приладу ПВГ-10Е у випадку його реалізації на даний час складає 5,55 тис. грн, а ціна переносних автомобільних ваг ВА-15С-1 та електронних кранових ваг ОCS-A у 2,0 – 2,5 рази більша і складає 11,0 – 14,0 тис. грн.

### **Висновки**

1. Розроблена конструкція та виготовлені моделі ваговимірювальних приладів
2. Визначені технічні характеристики та розроблена експлуатаційні документи приладів аговимірювальних гідравлічних - ПВГ, які містять інструкції з експлуатації та паспорти приладів.
3. Розроблена та зареєстрована методика проведення вимірювань впроваджено ПВГ в практику досліджень і випробувань сільгосптехніки в польових умовах. Апробація проведена на 18 машинах і за її результатами розбіжність між масою кожної з машин, визначеною за допомогою приладів ПВГ-5Е та масою, визначеною за допомогою ваг серійного виробництва РП15Ш13 не перевищує допустиму похибку вимірювань маси ( $\pm 2\%$ ).
4. Проведені пошукові роботи в напрямку використання приладів ПВГ в якості силівимірювальних засобів та застосування гідравлічних механізмів для вимірювання тягових зусиль з реєстрацією їх динаміки.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Измерение массы, объема и плотности : учебное пособие / С. И. Гаузнер [и др.]. - М : Издательство стандартов, 1972. – 623 с.
2. М 014. 100. 00 РЭ Весы автомобильные переносные. Руководство по эксплуатации. НПО «МЕТА», 2008. – 41 с.
3. ГОСТ 26025-83 Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы измерения конструктивных параметров - Введ. 1984-01-01- М: Изд-во стандартов, 1984.- 5-с.
4. ГОСТ 27922-88 Машины землеройные. Методы измерения масс машин в целом, рабочего оборудования и составных частей – Введ. 1988-11-29. - М: Изд-во стандартов, 1988.- 10-с.
5. ДСТУ ГОСТ 7075-2003 Тракторы сільськогосподарські. Методи випробування – Введ. 2003-05-13. - К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 14-с.
6. ГОСТ 23734-98 Тракторы промышленные. Методы испытаний – Введ. 2002-09-01. - К.: Госстандарт Украины, 1995. – 16-с.
7. ГОСТ 27388-87 Эксплуатационные документы сельскохозяйственной техники. – Введ. 1987-09-87- М: Изд-во стандартов, 1987.- 31-с

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ВОЗМОЖНОЙ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ РАЗДАЧЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ КОНИЧЕСКИМ ПУАНСОНОМ С УЧЕТОМ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Пузырь Р.Г., Дикая Л.Э.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

Вступление. Операцию раздачи цилиндрической заготовки коническими пуансонами при производстве ободьев колес транспортных средств из листовой стальной заготовки применяют как предварительную перед технологическим процессом радиально-ротационного профилирования.

Угол конуса обычно составляет 25-35°, используемая смазка – машинное масло. Как показывают исследования [1, 2] наибольшую степень деформации полуфабрикат получает на первом переходе профилирования, что приводит к недопустимому утонению в угловых зонах, соединяющих центральный ручей с боковыми полками. Для уменьшения интенсивности деформирования на последующих переходах профилирования с целью обеспечения минимальной разнотолщинности обода следует увеличивать степень деформации при раздаче заготовки. Но увеличение степени деформирования при раздаче заготовки обычно сопровождается увеличением усилий, недопустимым утонением краевой части заготовки и потерей устойчивости с образованием кольцевой складки [3].

Актуальность исследований. Исследование напряженно-деформированного состояния заготовки при раздаче коническими пуансонами с учетом геометрических свойств цилиндрических заготовок, условий приводящих к потере устойчивости заготовки и определение опасной зоны возможного возникновения кольцевой складки является актуальной задачей с точки зрения интенсификации процесса и увеличения степени деформации.

Постановка задачи. Обзор литературных источников, патентной информации показал, что процессу раздачи, изучению напряженно-деформированного состояния, условий потери устойчивости заготовки от различных показателей деформирования посвящено большое количество работ [1, 2, 3, 4], что свидетельствует о достаточной изученности вопроса. Критическая степень деформации при раздаче регламентируется двумя видами потери устойчивости – возникновением складки на некотором расстоянии от зоны передачи усилия и появлением шейки в одном или сразу в нескольких участках кромки деформируемой части заготовки с дальнейшим возникновением трещины.

Максимальное меридиональное напряжение без учета утонения и упрочнения материала, действующее в стенках недеформированной части заготовки [3] равно:

$$\sigma_{\rho max} = -\sigma_s \left[ \left( 1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg}\alpha} \right) \left( \frac{R_u}{r_3} - 1 \right) + \sqrt{\frac{2s}{R_u}} \sin\alpha \right] (3 - 2 \cos\alpha), \quad (1)$$

где:  $\mu$  – коэффициент трения;

$R_u$  – радиус свободного изгиба;

$r_3$  – радиус заготовки;

$s$  – толщина стенки заготовки.

Из зависимости (1) следует, что с увеличением угла конуса пуансона, толщины заготовки и коэффициента раздачи сжимающие осевые напряжения увеличиваются.

Зависимость (1) определяет распределение меридиональных напряжений в стенке цилиндрической заготовки на выходе из очага деформации и в стенках недеформированной части заготовки. Т.е. сжимающие напряжения по длине недеформированной части заготовки всюду равны и способны вызвать потерю устойчивости в любой ее части. Но, на самом деле, складкообразование происходит вблизи зоны передачи усилия, что подтверждают

исследования [1, 2, 3]. Это может объясняться воздействием не только меридиональных напряжений, но и другого силового фактора – изгибающего момента, который при деформировании цилиндрических заготовок носит колебательный затухающий характер.

Результаты исследований. Дифференциальное уравнения равновесия элемента заготовки при осесимметричной деформации было получено А.А. Ильюшиным [5]:

$$\frac{d^4 \bar{w}}{d\bar{x}^4} + 4\bar{w} = \bar{p} + \lambda \delta t + \lambda \frac{d^2 \delta m}{d\bar{x}^2}, \quad (2)$$

где:  $\bar{w} = \frac{w}{ae_s}$ ;

$w$  – радиальное перемещение элемента оболочки;

$a$  – радиус заготовки;

$e_s$  – деформация пропорциональная пределу текучести;

$\bar{p}$  – контактное давление;

$\lambda$  – показатель упрочнения материала;

$\delta t$  – вариация безразмерного усилия;

$\delta m$  – вариация безразмерного момента в меридиональном направлении;

$$\bar{x} = \frac{x\sqrt{3}}{\sqrt{2ah}};$$

$h$  – толщина заготовки.

Приближенным решением данного уравнения [5] можно назвать такое, при котором вариации сил и моментов тождественно равны нулю  $\delta t=0$ ,  $\delta m=0$  и отсутствует поверхностная нагрузка, так как участок свободного изгиба не соприкасается с инструментом, тогда получаем следующее решение:

$$w' = e^{-\beta x} (A_1 \sin \beta x + A_2 \cos \beta x), \quad (3)$$

где:  $A_1$  и  $A_2$  – постоянные, определяемые из граничных условий при  $\beta = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2ah}}$ .

Полное выражение для прогиба с учетом краевого эффекта для оболочек [6] будет иметь вид:

$$w = \frac{r\sigma_s}{E} \left( 1 - \frac{3x^2}{2r^2} \right) + e^{-\beta x} (A_1 \sin \beta x + A_2 \cos \beta x) \quad (4)$$

Производя несложные преобразования и определив постоянные из граничного условия  $x=l+a$ ,  $w=0$ ,  $\frac{dw}{dx}=0$ , а также, учитывая упрочнение материала в процессе деформирования в виде линейной аппроксимации кривой упрочнения второго рода

$\sigma_s = \sigma_{T0} + \Pi \left( 1 - \frac{\rho}{R_3} \right)$ , окончательно получим:

$$w = \frac{r \left( \sigma_{T0} + \Pi \left( 1 - \frac{\rho}{R_3} \right) \right)}{E} \left( 1 - \frac{3x^2}{2r^2} \right) + e^{\beta(l+a-x)} \left( \sigma_{T0} + \Pi \left( 1 - \frac{\rho}{R_3} \right) \right) \left( - \left( \frac{3(l+a)}{\beta E r} + \frac{r}{E} \left( 1 - \frac{3(l+a)^2}{2r^2} \right) \right) \sin \beta(l+a-x) - \left( \frac{r}{E} \left( 1 - \frac{3(l+a)^2}{r^2} \right) \cos \beta(l+a-x) \right) \right) \quad (5)$$

Выводы. Теоретическим анализом процесса раздачи цилиндрической заготовки при принятых допущениях установлена граница начала потери устойчивости с образованием окружной складки. Образование складки происходит на некотором расстоянии от зоны свободного изгиба заготовки, которое зависит от размеров заготовки  $\beta$ , характерных для теории оболочек, предела текучести, упругости материала, степени упрочнения и коэффициента раздачи. Полученные данные можно использовать для интенсификации операции раздачи, путем установки жестких элементов подпора в определенных местах возможной потери устойчивости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шофман Л.А. Элементы теории холодной штамповки / Л.А. Шофман – М.: Оборонгиз, 1952. – 335 с.
2. Аверкиев Ю.А. Технология холодной штамповки / Ю.А. Аверкиев, А.Ю. Аверкиев – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с
3. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
4. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
5. Ильющин А.А. Пластичность. Уругоэластические деформации. Ч. 1 /А.А. Ильющин. – М.: ОГИЗ, 1948. – 377 с.
6. Пузырь Р.Г. Влияние геометрических параметров цилиндрической заготовки на напряженно-деформированное состояние при раздаче коническими пуансонами /Р.Г. Пузырь, О.В. Троцко, В.Ю. Черкащенко // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. – № 4 (33). – С. 114-121.

### ЕФЕКТИВНЕ ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ ТОРЦЕМ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТА

Рудик А.В., Рудик В.А.

Чернігівський національний технологічний університет

**Вступ та актуальність досліджень.** Інтенсифікація процесу обробки шліфуванням поверхонь обертання при покращенні продуктивності, якості та енергозбереженні є проблемою актуальною для сучасного вітчизняного шліфування. Дана проблема може бути вирішеною при використанні торцевого шліфування заправленим конічним чашковим кругом на верстатах з ЧПК. Це дає можливість з метою підвищення ефективності процесу шліфування керувати геометрією контакту за рахунок зміни відстані між осями обертання деталі та інструмента.

Підвищення продуктивності шліфування пояснюється збільшенням розмірів контакту у напрямках як обертання деталі, так і осьової подачі, які визначаються змінними Ейлеревими радіусами кривизни поверхні круга, та більш раціональним підведенням припуску. Покращення якості забезпечується розподіленням функцій вздовж профілю інструменту з виділенням чорнової та захищених чистової та фінішної ділянок у околі базової точки.

Крім того, за рахунок наближення радіусів кривизни у напрямку осьової подачі можливо або забезпечити її збільшення, або кількість проходів, що впливає на якість обробки. За рахунок кінематики процесу отримують шорсткість у вигляді сітки, покращується динаміка процесу за рахунок зменшення незбалансованої маси інструменту, що здійснює коливання, збільшенням демпфування через зростання розмірів контакту, а самі коливання спрямовані під кутом до поверхні, яку оброблюють. Енергозбереження може бути

поясненим зменшенням втрат холостого ходу та можливим спрощенням приводу для меншого за розмірами інструмента.

Проблемою шліфування криволінійних поверхонь займалися Кальченко В.І., Родин П.Р. та ряд інших авторів. В наукових роботах, присвячених подібній тематиці, вказувалося, що керування орієнтацією інструмента здатне значно підвищити продуктивність та якість обробки; інструментом простої геометричної форми можна виготовляти при простих відносних рухах складні поверхні. Однак на ефективність значною мірою впливають його форма та кінематика формоутворення. Ці питання у сучасній літературі мають лише часткове рішення. Авторами даної статті було запропоновано новий спосіб захищений патентом України [1].

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є створення та дослідження нового вискоелективного способу шліфування поверхонь обертання торцем абразивного інструмента. Дослідження мети досягалося математичним моделюванням обробки, створенням програм розрахунку та порівнянням результатів, що отримані різними розрахунковими методиками.

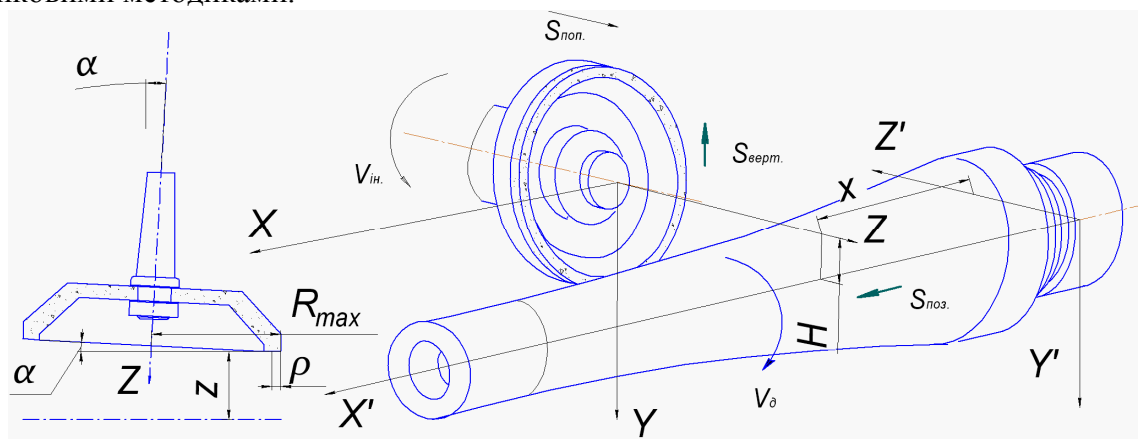


Рисунок – Наладка верстату на обробку фасонної поверхні за рахунок зміни відстані  $H$  між осями

**Результати досліджень.** Складена модель обробки запровадним конічним торцем на заточувальному верстаті з ЧПК мод.В3208Ф3 (рис.1), де необхідно забезпечити наступні відносні рухи: обертання деталі та інструмента, поздовжньої та поперечної подачі.

Для точного формоутворення ділянки поверхні деталі необхідно у точці контакту витримати рівність нахилу дотичних, відповідність діаметральних розмірів та накласти умови на радіуси кривизни деталі у осьовій площині та інструмента. Для обробки впаoloї ділянки профілю деталі в напрямку осьової подачі такими умовами є менші значення радіусу кривизни інструменту, що наближається до необхідного значення.

Ці вимоги можна забезпечити раціональним вибором діаметральних розмірів інструмента, зміною значень кута  $\alpha$ , що характеризує конус запровадненого його торця, відносних поздовжньої та поперечної подачі.

З використанням матриць перетворення систем координат побудовані математичні 3D моделі поверхні круга, обробки та формоутворення на верстаті деталі з врахуванням значень поздовжньої та поперечної подачі. Вперше у явному функціональному вигляді отримано рівняння для знаходження швидкості підведення припуску по ділянках контакту у напрямку нормалі до поверхні інструмента [2,3]. Аналіз даного рівняння для вказаного способу обробки доводить раціональний характер зміни навантажень вздовж контакту порівняно з відомими та перспективними методами.

Графічне знаходження та аналіз рівняння характеристики, отриманого з попередньої моделі, довело можливість її лінеаризації, де коефіцієнти знаходять з використанням принципу Лежандра. Доведено, що їх значення залежить від кута правки  $\alpha$ , при цьому змінюється можливий характер графіку.



Таким чином, з достатньою для практики точністю можна спрощено визначити як характеристику, так і її похідні по криволінійних координатах заправленої на конус торцевої поверхні інструмента.

Далі через коефіцієнти квадратичної форми визначають косинус кута між характеристикою та твірною конічної поверхні та його Ейлереву кривизну у площині контакту, нахил характеристики до осі деталі та, відповідно, кривизну отриманої ділянки профілю.

Далі інтегруванням значень зміни міжосьової відстані можна для заданих значень кута правки та міжосьової відстані визначити характер можливої зміни профілю обробленої поверхні, який можна коригувати додаванням поперечної подачі.

**Висновки.** Матеріали теоретичних досліджень, розрахунків та їх порівняння доводять можливість значного збільшення ефективності обробки шліфуванням поверхонь обертання заправленим на конус торцем круга. Отримана система рівнянь дозволяє визначати товщину зрізів з метою навантаження інструмента до граничного рівня, що визначається різальною здатністю.

## ЛІТЕРАТУРА

1 Пат.№92147 Україна МПК (2014) B24B 5/04 Спосіб шліфування впалих поверхонь обертання конічною поверхнею торця абразивного інструмента Авт. Рудик А.В., Рудик В.А. Заявка на патент України №u201310754 B24B 5/04, пріоритет від 06.09.2013 власники патенту Рудик А.В., Рудик В.А..

2 Рудик А.В., Венжега В.І. Продуктивність високоефективного поздовжнього та глибинного шліфування поверхонь обертання периферією та торцем орієнтованим абразивним інструментом //Вісник Чернігівського національного технологічного університету: Збірник – Чернігів: ЧНТУ, 2014.– Вип.№72.– С.76-80.

3 Рудик А.В., Рудик В. А. Шліфування впалих поверхонь обертання конічною поверхнею абразивного інструмента // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Збірник – Чернігів: ЧДТУ, 2013.– Вип.№ 1 (63).– С.54-59.

## СНИЖЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ ПРИ НАЛИЧИИ ПОГРЕШНОСТИ ГЕОМЕТРИИ ФОРМЫ

Куприянов А.В.

Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

### 1. Вступление

Цилиндрические соединения с натягом широко применяются в машиностроении. Основная функция соединения с натягом – обеспечивать жесткое неподвижное положение одной детали относительно другой. Соединение может работать на осевой сдвиг, проворачивание или испытывать комбинированную нагрузку.

Прочность соединения зависит от многих факторов: натяга, материала контактирующих поверхностей, их шероховатости и погрешности геометрии формы, состояния поверхностного слоя, способа сборки, смазки, промежуточных сред и т. д. Необходимо учитывать каждый фактор, чтобы дать прогноз относительно прочности соединения с натягом.

### 2. Актуальность исследования

Исследованием прочности, в зависимости от различных факторов, занимались Андреев Г.Я. [1], Арпентьев Б. М. [2], Святуха А. А. [3] а также Sen S. [4]. Исследования проводились с планированием экспериментов, получены графические зависимости прочности. Некоторые факторы, влияющие на прочность соединения с натягом, исследованы

достаточно детально. Известно, что наибольшее влияние на прочность такого соединения оказывает величина натяга.

Влияние погрешности геометрии формы исследовано недостаточно. Это можно объяснить тем, что специальное проведение таких исследований требует механической обработки деталей с прецизионной точностью.

### **3. Постановка задачи**

Задачей исследования является теоретическое определение величины влияния погрешности геометрии формы на прочность соединения с натягом в зависимости от величины геометрической точности соединения, и сравнение ее с экспериментальными данными.

### **4. Основной материал исследования**

#### **4.1. Исследуемое соединение**

Для цилиндрических соединений нормируются совокупность отклонений всей поверхности (допуск цилиндричности), отдельных ее сечений, либо отдельных геометрических элементов, независимо от формы реальной поверхности. В данной работе с целью исследования влияния формы реальной поверхности на прочность соединения рассматривались применявшиеся ранее частные виды отклонений формы. К ним относятся отклонения профиля поперечного сечения: конусообразность, бочкообразность, седлообразность и отклонение от круглости: овальность.

Для сравнительных расчетов была выбрана посадка  $\text{Ø}60 \text{ H}8/\text{u}8$ , как одна из достаточно грубых из применяемых для соединений с натягом. Для 8-го качества нормальная (А) относительная геометрическая точность соответствует 7-й степени точности. Для  $\text{Ø}60$  допуск погрешности геометрии формы 16 мм на сторону, 32 мм на диаметр. С целью усилить влияние погрешностей геометрии формы принимался минимальный натяг в соединении – 0,04 мм. Материал исследуемых деталей сталь 45.

Экспериментальные образцы показаны на рис. 1, погрешность геометрии формы графически увеличена для наглядности. Втулки были приняты цилиндрическими (рис. 1 а), а погрешность геометрии формы моделировалась на валах. Соединения с цилиндрическим валом (рис. 1 б) сравнивались с имеющими конусообразность, седлообразность, бочкообразность и овальность (рис. 1 в – 1 е). На прочность соединения оказывает влияние только геометрия посадочной поверхности, тем не менее для валов предусматривались хвостовики, которые при проведении экспериментальной проверки теоретических результатов упростят выпрессовывание.

#### **4.2. Теоретическое определение прочности**

Моделирование прочности цилиндрического соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы для исходных данных рис. 1 было проведено средствами пакета инженерного анализа Ansys. В Ansys реализованы возможности для геометрического моделирования, поэтому был проведен расчет для вала с хвостовиком, что позволило приблизить решение к реальной задаче. Форма седлообразности и бочкообразности моделировалась дугой окружности, овальность в осевом сечении моделировалась овалом.

При расчете прочности свободному краю хвостовика вала задавалось смещение 1 мм, а противоположный край втулки закреплялся в осевом направлении. После расчета выводилась сила, которая вызывала такое смещение.

Результаты моделирования прочности цилиндрического соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы приведены в таблице 1, для наглядности относительная прочность также изображена на гистограммы рис. 4.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что полученная численными методами прочность цилиндрического соединения с натягом при наличии максимально допустимой погрешности геометрии формы меняется существенно. Наличие конусообразности и овальности уменьшает прочность до 20%, седлообразность уменьшает прочность соединения на 36%, и только бочкообразность не приводит к существенному

снижению. Таким существенное снижением прочности нельзя пренебрегать на практике, особенно для седлообразности.

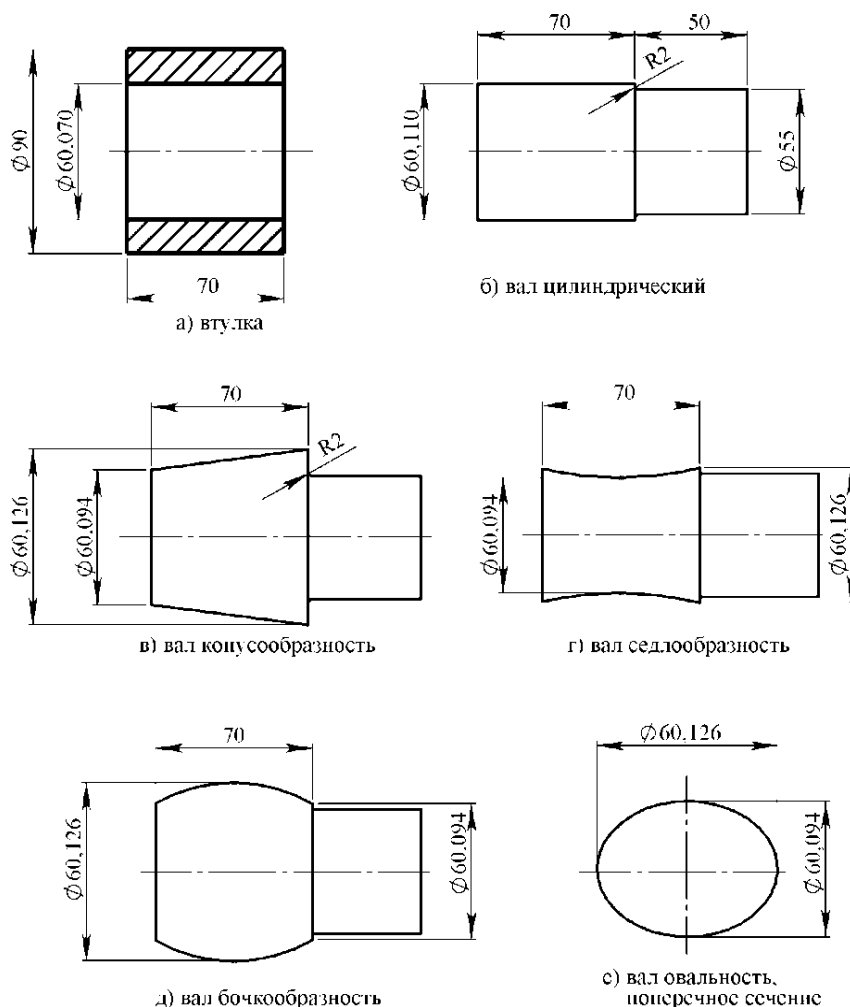


Рисунок 1 - Отклонения формы цилиндрических поверхностей, которые исследовались

#### 4.3. Экспериментальное определение прочности

Достаточно грубая из применяемых для соединений с натягом посадка, была выбрана по причине ограничений по точности имеющегося обрабатывающего оборудования. Дело в том, что изготовление погрешности формы на экспериментальных образцах необходимо было выполнять в пределах поля допуска посадки, при повышении точности затруднительно специально получить требуемую погрешность геометрии формы. Для искусственного получения погрешности геометрии формы на поверхности экспериментальных валиков использовались токарные станки с программным управлением. Посадочные поверхности втулок шлифовались.

В процессе эксперимента были изготовлены, измерены, скомплектованы, собраны тепловой сборкой, а затем распрессованы 15 соединений, по три каждого вида: без погрешности геометрии, с конусообразностью, седлообразностью, бочкообразностью и овальностью. Полученная в результате экспериментов прочность экспериментальных соединений приведена в таблице 1, а также в относительных цифрах на гистограммы рис. 2.

В результате экспериментов получили, что наибольшее снижение прочности, до 0,59, показали соединения с седлообразностью. Конусообразность показала прочность 0,87.

Бочкообразность и овальность показали приблизительно равную, прочность, 0,8 и 0,79 соответственно.

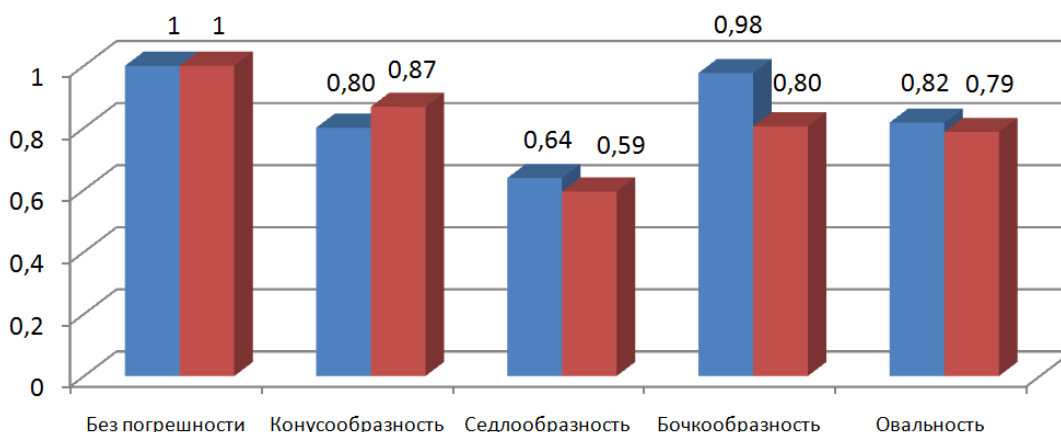
#### 4.4. Сравнение прочности по результатам моделирования в Ansys и результатов натуральных экспериментов

В таблице 1 обобщены данные о влиянии погрешности геометрии формы на осевую прочность соединений с натягом, рассчитанные при моделирования методом конечных элементов в Ansys и полученные в результате экспериментов. На рис 4 приведены графические результаты относительной прочности, прочность соединения без погрешности геометрии принята за единицу.

Полученные теоретически и экспериментально результаты хорошо сходятся, в пределах 10%. Исключением является бочкообразность, при которой экспериментальные результаты оказались на 25% ниже теоретических. Это можно объяснить тем, что натяги экспериментальных соединений с бочкообразностью случайно оказались ниже (0,0372 мм и 0,0303 мм) среднего натяга 0,04 мм. А, как известно, величина натяга оказывает наибольшее влияние на прочность соединения.

**Таблица 1 - Прочность при распрессовке чистовых экспериментальных образцов, сравнение результатов моделирования в Ansys и натуральных экспериментов**

Наличие и вид погрешности	Коэффициент трения	Прочность МКЭ Ansys, кН	Относительная прочность МКЭ Ansys	Эксперимент, кН	Относительная прочность эксперимент	Отношение Ansys/эксперимент
Без погрешности	0,350	172	1	166,5	1	1,03
Конусообразность	0,280	137,7	0,80	144,5	0,87	0,95
Седлообразность	0,257	109,8	0,64	99	0,59	1,11
Бочкообразность	0,303	168	0,98	134	0,80	1,25
Овальность	0,288	140,5	0,82	131	0,79	1,07



**Рисунок 2 - Сравнительные результаты относительной теоретической и экспериментальной прочности на осевой сдвиг соединений с погрешностью геометрии**

Полученные теоретические результаты подтверждены экспериментальными данными, поэтому предложенный подход для моделирования прочности цилиндрического соединения с натягом возможно использовать и для соединений других размеров и конфигурации.

Уменьшение прочности определено для нормальной (А) геометрической точности, при которой точность формы может составлять 60% поля допуска. Поэтому целесообразно ввести нормирование погрешности геометрии формы при изготовлении деталей для ответственных соединений с натягом. Для таких соединений целесообразно устанавливать особо высокую геометрическую точность, при которой погрешность формы не должна превышать 25% поля допуска. Соответственно снижение прочности будет меньше в два раза.

#### **Выводы**

1. Проведенные эксперименты показали, что погрешность геометрии оказывает существенное влияние на прочность цилиндрического соединения с натягом.
2. Наибольшее снижение прочности, до 40%, оказывает седлообразность. Конусообразность и овальность снижает прочность на 20%, бочкообразность не приводит к существенному снижению.
3. Полученные моделированием методом конечных элементов в Ansys результаты хорошо (в пределах 10%) согласуются с экспериментальными данными. Исключением является уменьшенная на 25%, по сравнению с моделированием, прочность экспериментальных соединений с бочкообразностью, что объясняется меньшими натягами экспериментальных соединений.
4. Целесообразно ввести нормирование погрешности геометрии формы при изготовлении деталей для ответственных соединений с натягом. Для таких соединений целесообразно устанавливать особо высокую геометрическую точность, при которой погрешность формы не должна превышать 25% поля допуска.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Андреев Г.Я. Тепловая сборка колесных пар. – Х: Издательство Харьковского ун-та, 1965. – 227 с.
2. Зенкин, А. С. Сборка неподвижных соединений термическими методами [Текст] / А. С. Зенкин, Б. М. Арпентьев. - М.:Машиностроение, 1987. – 128 с.
3. Кравцов, М. К. Промежуточные среды в соединениях с натягом [Текст] / М. К. Кравцов, А. А. Святуха, В. В. Чернов. – Х.: Штрих, 2001. - 200 с.
4. Sen, S. Stress analysis of interference fitted shaft–hub system under transient heat transfer conditions [Text] / S. Sen, B. Aksakal // Materials & Design. – 2004. – Vo. 25, Issue 5. - P. 63–68.

## **ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ГАММА-РАСПРЕДЕЛЕНИИ ОТКЛОНЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ОТ МИНИМАЛЬНОГО**

Андрейцев А.Ю., Клецкая Т.С., Семененко Т.С.

Государственный экономико-технологический университет транспорта

При изучении реальных процессов, происходящих в различных сферах жизнедеятельности, большое внимание уделяется построению и исследованию математических моделей с целью последующего прогнозирования и оптимизации. Одним из таких процессов является процесс перевозки грузов железнодорожным транспортом.

От времени транспортировки груза зависят эффективность использования транспортных средств и сохранность перевозимых грузов. Прогнозирование времени доставки сырья необходимо для обеспечения бесперебойной работы многих предприятий. При нарушении сроков доставки железная дорога несет убытки, связанные с хранением грузов (преждевременная доставка), штрафами за просроченную доставку, и тому подобное.

Математические модели транспортных потоков являются стохастическими и базируются на статистическом материале. В [1] была построена стохастическая модель для определения наиболее вероятных потерь перевозочной платы по железной дороге, связанных с просрочкой доставки грузов, в предположении, что просрочки распределены по экспоненциальному закону. В [2] был проведен анализ и структурная классификация расходов, связанных с несвоевременной доставкой грузов и предложена математическая модель, базирующаяся на нормальном законе распределения отклонений реального времени доставки от планового. В [3] рассмотрена математическая модель в предположении, что отклонения времени доставки от минимального подчинены закону распределения Вейбулла, и проведен анализ изменения отклонений в зависимости от конкретных значений параметров данного распределения.

Однако, основным критерием применимости этих моделей является их адекватность: соответствие реальному процессу. Процесс проверки адекватности стохастических моделей базируется на проверке статистических гипотез, как непараметрических (гипотез о законе распределения генеральной совокупности), так и параметрических (о равенстве статистических оценок значениям параметров известного закона распределения).

В данной работе описана методика проверки сложных гипотез относительно законов распределения исследуемого признака генеральной совокупности и приведены результаты её применения на примере проверки гипотезы о гамма-распределении отклонений  $\Delta t^*$  фактического времени доставки грузов от минимального  $t_{\min}$ .

Пусть мы имеем совокупность выборочных данных относительно времени доставки грузов на некотором участке железной дороги.

Определим моду  $t_m$  - время, за которое доставляется максимальное количество грузов и  $t_c$  - среднее время доставки. Рассмотрим абсолютные отклонения этих величин от минимального времени доставки на данном участке,  $\Delta t_m^* = t_m - t_{\min}$ ,  $\Delta t_c^* = t_c - t_{\min}$ , а также относительные отклонения:  $\tau_m^* = \frac{\Delta t_m^*}{t_{\min}}$ ,  $\tau_c^* = \frac{\Delta t_c^*}{t_{\min}}$ . Учитывая, что объем генеральной совокупности (количество единиц транспортных средств) достаточно большое число, целесообразно считать, что  $\Delta t^*$  асимптотически стремится к некоторой непрерывной случайной величине.

Рассмотрим предположение (гипотезу): функция  $\Delta t^*$  распределения асимптотически стремится к некоторому известному, заранее заданному, распределению. Поскольку функции распределения зависят от определенного количества параметров, то необходимо одновременно проверить гипотезу о виде закона распределения и значимость его параметров. Таким образом, возникает задача проверки сложной гипотезы:

$$H_0 : F(\Delta t^*) = F_0(\Delta t^*, \tilde{\theta}(\Delta t^*)), \quad \theta \in \Theta \subset R^d.$$

где  $F(\Delta t^*)$  - функция распределения признака генеральной совокупности,  $F_0(\Delta t^*, \tilde{\theta}(\Delta t^*))$  теоретическая функция распределения, зависит от  $d$ -мерного вектора  $\tilde{\theta}(\Delta t^*)$ - оценок теоретического вектора параметра  $\theta$ .

Одним из распределений, довольно часто используемых при моделировании случайных величин, связанных с временными потоками является гамма-распределение. Его плотность

$$f(\Delta t^*) = \begin{cases} 0, & \Delta t^* < 0 \\ \frac{\lambda^\gamma (\Delta t^*)^{\gamma-1}}{\Gamma(\gamma)} e^{-\lambda(\Delta t^*)}, & \Delta t^* \geq 0, \quad \lambda > 0, \gamma > 1 \end{cases}$$

Задача проверки гипотезы  $H_0$  распадается на два этапа. На первом нам необходимо получить оценки параметров распределения. Поскольку в случае грузовых перевозок мы можем оперировать достаточно большим объемом выборочных данных относительно,  $t_M$ ,

$t_c$ , то пропонуємо для цього спрощену методику, яка може бути застосована до двохпараметричних моделей. Дана методика є аналогом методу моментів, але не вимагає обчислення виборчих моментів вищих порядків, а базується лише на первинних статистичних даних.

Гамма-розподіл є двохпараметричним. Обчислимо для нього моду та математичне очікування, порівняємо з відповідними виборчими значеннями та отримаємо систему двох рівнянь для визначення оцінок невідомих параметрів.

Диференціюючи (5) та порівнявши отриману похідну з нулем, маємо:

$$\Delta t_m^* = \frac{\gamma - 1}{\lambda} \quad (1)$$

Математичне очікування для випадкової величини, що має гамма-розподіл

$$\Delta t_c^* = \frac{\gamma}{\lambda} \quad (2)$$

Замінивши дані відхилення виборчими ( $\overline{\Delta t_m^*}$  та  $\overline{\Delta t_c^*}$ ) та розв'язавши систему (1), (2). Для

цього розглянемо співвідношення:  $P = \frac{\overline{\Delta t_c^*}}{\overline{\Delta t_m^*}} = \frac{\gamma}{\gamma - 1}$ .

Дане рівняння містить одне невідоме  $\gamma$ . Перепишемо його:

$$P = 1 + \frac{1}{\gamma - 1}$$

На рисунку 1 наведено графічне рішення даного рівняння при різних значеннях  $P$ . З рисунка видно, що при  $P > 1$  дане рівняння має одне рішення. При  $P \leq 1$  рівняння рішень не має, тому вже на цьому етапі гіпотезу про те, що розподіл відхилення фактичного часу доставки від мінімального асимптотично наближається до гамма-розподілу, відхиляють.

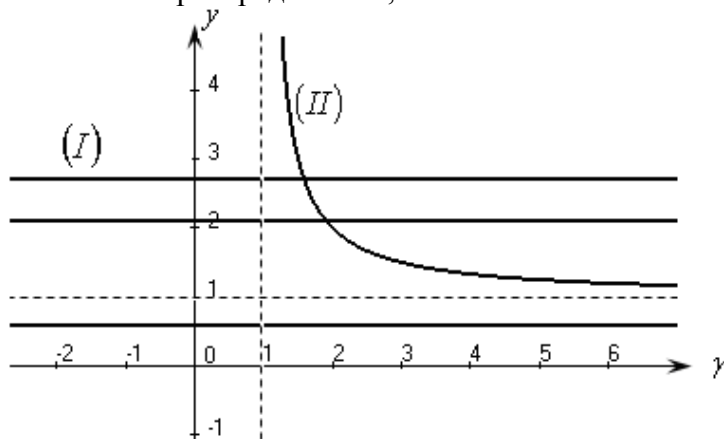


Рисунок 1. Графічне визначення параметра  $\gamma$ : (I) – графіки функцій  $y = P$ , (II) –

графік функції  $y = 1 + \frac{1}{\gamma - 1}$ .

Таким чином, оцінкою параметра  $\gamma$  буде

$$\bar{\gamma} = \frac{P}{P - 1}$$

Після цього знаходимо  $\bar{\lambda} = \bar{\gamma} \overline{\Delta t_c^*}$ . Якщо замість абсолютних розглянути відносні відхилення, то всі викладки при заміні  $\Delta t^*$  на  $\tau^*$  не зміняться: для функції  $f(\tau^*)$   $\bar{\gamma}$  залишиться тим самим, а  $\bar{\lambda} = \bar{\gamma} \overline{\tau_c^*}$ .

На втором этапе проверяем гипотезу о виде распределения. В силу того, что объем выборки достаточно большой, мы можем воспользоваться критерием Пирсона. Для этого разбиваем числовую полуось  $\Delta t^* \geq 0$  на  $r$  промежутков различной длины, причем последний из них -  $[\Delta t_{r-1}^*; +\infty)$ . Количество и длина каждого интервала определяется, исходя из нормативных документов, а также из условия, что частота попадания в определенный интервал  $[\Delta t_{k-1}^*; \Delta t_k^*]$  должна быть не меньше пяти ( $np_k(\tilde{\theta}) \geq 5$ ). Тогда случайная величина

$$\chi_{cn}^2 = \sum_{k=1}^r \frac{(n_k - np_k(\tilde{\theta}))^2}{np_k(\tilde{\theta})},$$
$$p_k(\tilde{\theta}) = F_0(\Delta t_k^*; \tilde{\theta}) - F_0(\Delta t_{k-1}^*; \tilde{\theta}) = \int_{\Delta t_{k-1}^*}^{\Delta t_k^*} f_0(\Delta t^*; \tilde{\theta}) d\Delta t^*$$

распределена по закону хи-квадрат с  $r - 3$  степенями свободы. Сравниваем  $\chi_{cn}^2$  с табличным значением  $\chi^2(1 - \alpha, r - 3)$ , где  $\alpha$  - уровень значимости. Если  $\chi_{cn}^2 < \chi^2$ , то нет оснований отклонять гипотезу  $H_0$ . В случае  $\chi_{cn}^2 > \chi^2$  гипотеза  $H_0$  может быть отклонена при уровне значимости  $\alpha$ .

В завершение отметим, что данная методика позволяет достаточно просто и достаточно точно решать вопрос об адекватности многопараметрических стохастических моделей. Одним из ее недостатков является то, что на втором этапе модель не является универсальной, поскольку разбиение на интервалы временной полуоси проводится для абсолютных отклонений. Однако, имея универсальную модель для описания распределения относительных отклонений, с помощью соответствующего преобразования можно перейти к модели распределения абсолютных отклонений на конкретном участке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Висоцька Г.С. Визначення імовірнісних характеристик процесу доставки вантажів / Г.С. Висоцька // Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Київ, 2012. – № 20. – С. 240–245
2. Андрейцев А.Ю. Стохастична модель оцінки витрат, пов'язаних із відхиленням від графіка доставки вантажів / А.Ю. Андрейцев, Г.С. Висоцька // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. – Сер. «Техніка, технологія». – К.: ДЕТУТ, 2013. – с. 210-211
3. Myronenko V.K. Evaluation of stochastic characteristics of goods delivery schedules by rail / Myronenko V.K., Andreytsev A.Yu., Vysotska G.S. // Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Київ, 2014. – № 24. – С. 157–162.



## **АВТОФРЕТИРОВАНИЕ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ**

Андреев А.А., Корчак Е.С.

Донбасская государственная машиностроительная академия

Рабочие контейнеры экструдеров, газостатов и других машин обработки материалов высоким давлением (порядка 100 МПа и выше), как правило, являются многослойными и состоят из набора тонкостенных втулок (оболочек), которые сопрягаются между собой по посадкам с натягом. Поверх внешней втулки наматывается высокопрочная стальная лента, натяжением которой компенсируют воздействие внутреннего рабочего давления на контейнер. Материал тонкостенных втулок выбирают таким образом, чтобы при длительной статической нагрузке не проявлялось явление ползучести и напряжения, возникающие в стенках втулок, не превышали предела текучести.

В случае многослойных контейнеров, состоящих из оболочковых форм, автофретирование может проявиться в виде пластической деформации внутренних волокон одной из втулок. Это повлечет за собой появление остаточных напряжений и деформаций во внутренних волокнах, которые будут распирать внешние волокна, упруго деформируя их, тем самым создавая дополнительные напряжения между втулками. Такое явление повышает прочность соединения оболочек, однако делает невозможным их дальнейший демонтаж.

При этом традиционно в процессе сборки сначала сопрягают внутреннюю и среднюю втулки, а внешнюю позиционируют поверх уже собранных. Такая последовательность сборки исключает появление автофретирования – средняя втулка в сборе с внутренней механически обрабатывается по наружной поверхности и напряженный слой удаляется. При сборке контейнера в обратном порядке высока вероятность появления автофретирования. В данном случае получение автофретирования возможно не только на внутренней поверхности средней втулки контейнера, но и во внешней втулке.

При конечно-элементном анализе напряженно-деформированного состояния многослойного контейнера в качестве бандажирующей нагрузки необходимо учитывать напряжения, создаваемые лентой и возникающие в результате посадок с натягом.

При этом вид посадок с натягом во многом будет определять прочностные свойства собранного контейнера. Превышение допустимых напряжений натяга может быть негативным фактором, особенно при их совпадении по направлению с напряжениями, создаваемыми рабочей нагрузкой.

Кроме того автофретирование также может проявиться и при работе многослойного контейнера под действием длительной нагрузки от технологического процесса, в случае если рабочее давление сможет пластически деформировать поверхность внутренней втулки. Тогда данное явление проявится между внутренней и средней втулками.

Интенсивность проявления явления автофретирования будет определяться механическими свойствами материала оболочек в сочетании с видом выбранной посадки – с увеличением величины натяга напряжения в элементах сборки также увеличиваются. Причем величина напряжений сжатия, возникающих в охватываемом элементе, выше в среднем на 10-20 МПа, чем в охватывающем элементе. При этом зависимость напряжений от величины натяга носит экспоненциальный характер.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА В НАПРАВЛЯЮЩИХ УЗЛАХ МОЩНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ**

Ковалёва О.А., Щербаков Д.И., Корчак Е.С.  
Донбасская государственная машиностроительная академия

Направляющие узлы мощных ковочных гидравлических прессов работают в тяжелых условиях, воспринимая в пределах каждого машинного цикла факторы технологического процесса – рабочие усилия, в том числе и эксцентрично проложенные, тепловое воздействие от обрабатываемой заготовки, пыль, окалина.

В среднем температура нагретой заготовки составляет 1100...1200°C, а вызванный этим нагрев колонн – 400...450°C. Вследствие температурного расширения колонн зазор в направляющих является переменной величиной, требующей соответствующей компенсации. При этом эксцентричное приложение технологического усилия приводит к перекосам подвижной поперечины, вызывая неравномерное распределение зазора по высоте (длине) направляющего узла. Указанные факторы вызывают значительный износ деталей направляющих узлов, приводя к изменению базовых (исходных) зазоров и нарушению режимов смазки, что влечет за собой снижение жесткости конструкции пресса и точностных параметров обработки. В связи с этим важным является создание направляющих узлов рациональной конструкции и повышенной износостойкости.

Поставленная задача решается путем введения в направляющие узлы элементов из композиционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) в сочетании с традиционными бронзовыми деталями.

Вязкоупругие свойства, сочетание высокой химической и термической стойкости (вплоть до 450°C) с самым низким и стабильным среди полимеров коэффициентом трения позволяет эксплуатировать ПТФЭ в кузнечно-прессовом производстве и делает его перспективным полимером триботехнического назначения. Вместе с тем пониженные механические свойства, хладотекучесть, малая теплопроводность, высокая скорость изнашивания, малая стойкость к истиранию, возрастание коэффициента трения при увеличении скорости скольжения существенно ограничивает использование ПТФЭ в чистом виде и обуславливают необходимость улучшения его свойств путем сочетания с деталями из других антифрикционных материалов, главным образом на базе меди и графита.

На практике данная идея реализуется путем создания направляющих в виде наборного пакета из разъемных поочередно чередующихся колец (втулок) из бронзы и ПТФЭ. Элементы из бронзы непосредственно не контактируют с колоннами. Они служат, прежде всего, для повышения жесткости направляющего узла и отведения тепла от ПТФЭ элементов. При этом эти элементы имеют форму, позволяющую им легко скользить по сопрягаемым поверхностям бронзовых колец (втулок) для компенсации температурного расширения колонн и перекосов подвижной поперечины, устраняя заклинивание. Для усиления антифрикционных свойств в состав бронзовых элементов могут быть добавлены включения графита различной дисперсности.

Система смазки циркуляционного типа с присутствием в баке мелко рубленой медной проволоки для гарантированного создания режима избирательного переноса при контакте ПТФЭ со сталью, т.е. антифрикционного элемента направляющего узла с колонной ковочного пресса. При этом давление и расход смазки рассчитывают таким образом, чтобы температура в направляющих не выходила за диапазон допустимого нагрева колонн (в среднем 400...450°C для мощных прессов) с учетом скорости скольжения и свойств ПТФЭ в сочетании с бронзовыми элементами.

## **ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ**

Крестьянполь О.А.

Луцький національний технічний університет

Сучасне гнучке пакувальне виробництво висуває суперечливі вимоги до технічних засобів автоматизації виготовлення пакованої продукції. З одного боку, зростання обсягів випуску паковань висуває високі вимоги до продуктивності устаткування, що зазвичай забезпечується за рахунок його вузької спеціалізації. З іншої - часта змінюваність типів паковань вимагає переналагоджування технологічних машин і ліній, що може бути реалізоване за рахунок створення універсального устаткування, яке повинно поєднувати універсальність з високою продуктивністю і високим ступенем автоматизації.

Створення ГАВ неможливе без врахування взаємодії складових структури технологічних процесів і процесів переналагодження. Оскільки ці процеси взаємопов'язані, то вони утворюють один загальний процес, який є основою для оптимізації конструкції системи машин в ГВС.

Слід враховувати, що елементи процесу переналагодження можуть об'єднуватися із елементами технологічного процесу послідовно або паралельно.

Послідовне об'єднання елементів структури технологічного процесу і процесу переналагодження виникає у випадку зупинки технологічних дій при переналагодженні. Таке переналагодження ще називають внутрішнім.

Паралельне об'єднання елементів структури технологічного процесу і процесу переналагодження виникає у випадку проведення роботи переналагодження за межами робочої зони ГВС, без зупинки технологічних дій при переналагодженні. Таке переналагодження називається зовнішнім.

Оптимізація послідовності переналагоджень здійснена наступним чином. Визначаючи кожне робоче місце ГВС як спеціалізовану для певної групи виробничих операцій автоматичну технологічну машину (АТМ), отримаємо із умови забезпечення найвищої концентрації пакування структуру ГВС в вигляді дільниці з технологічно незалежними АТМ. В цих умовах необхідно провести спеціалізацію кожної АТМ на певну групу виробничих операцій таким чином, щоб сумарний об'єм накопичених виробничих операцій був достатнім для її повного завантаження, а потім проведемо оптимізацію послідовності переналагодження цих виробничих операцій для кожної з АТМ в складі дільниці пакування.

Методика функціональної оптимізації застосована також для віртуальних виробничих систем. Основою для створення віртуальних виробничих систем (ВВС) є вже існуючі робочі виробничі системи, орієнтовані на випуск своїх виробничих завдань і які мають фонд вільного часу для свого технологічного обладнання.

Далі на основі виробничої інформації формується конфігурація віртуальної виробничої системи (ВПС) в залежності від результату аналізу нових багатооб'єктних технологічних завдань.

Багатооб'єктне технологічне проектування з інтелектуальним управлінням в ГВС включає в себе методики проектування індивідуальних технологічних процесів і, в результаті їх аналізу генерування можливих варіантів конфігурації віртуальної виробничої системи (ВПС) і відбору кращих.

## РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ПІД-РЕГУЛЮВАННЯ ПРИ УПРАВЛІННІ ПРИВОДАМИ МАНІПУЛЯТОРІВ В СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

Дем'яненко А.С., Солнцев О.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Однією з актуальних задач у машинобудуванні є підвищення точності позиціонування виконавчих органів маніпуляторів та робототехнічних систем. Одним з методів підвищення їх точності є реалізація систем керування зі зворотнім зв'язком по положенню виконавчого органу у просторі.

В роботі розглянуто методики визначення положення виконавчого органу для маніпуляторів різних компоновок. Розглянуто метод визначення положення виконавчого органу маніпулятора з використанням матриць кутів повороту. На основі проведеного аналізу, розроблено програмне забезпечення в середовищі LabView, для побудови робочої зони декількох компоновок маніпуляторів. При проектуванні прототипу маніпулятора з системою числового програмного керування, використано середовище LabView з пакетом бібліотек LIFA на базі плати керування Arduino. Розроблено підпрограму, що забезпечує керування кожним приводом окремо за кутом та кутовою швидкістю.

Висвітлено, що навіть при невеликих навантаженнях на систему та використанні серводвигунів, виникає похибка позиціонування виконавчого органу при його виході у точкове положення у просторі. Основними причинами є: недостатня жорсткість механічної системи, наявність люфтів в шарнірах, невизначені термічні умови роботи.

Дані недоліки запропоновано компенсувати за рахунок введення головного зворотнього зв'язку. Вхідний сигнал корегується таким чином, аби мінімізувати фактичне відхилення виконавчого органу від заданого в системі ЧПК при виході в позицію. Розроблено підпрограму з замкненим вимірювальним контуром на основі пропорційного інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора, що дає можливість мінімізувати похибку виходу виконавчого органу в положення на основі даних з цифрового акселерометра. Дана підпрограма забезпечує контроль кутового положення кожної окремої ланки маніпулятора. В підпрограмі (рис. 1) використано додаткові бібліотеки "LabVIEW PID and FLT", а саме – PID.vi, що забезпечує реалізацію алгоритмів ПІД-регулювання на програмному рівні.

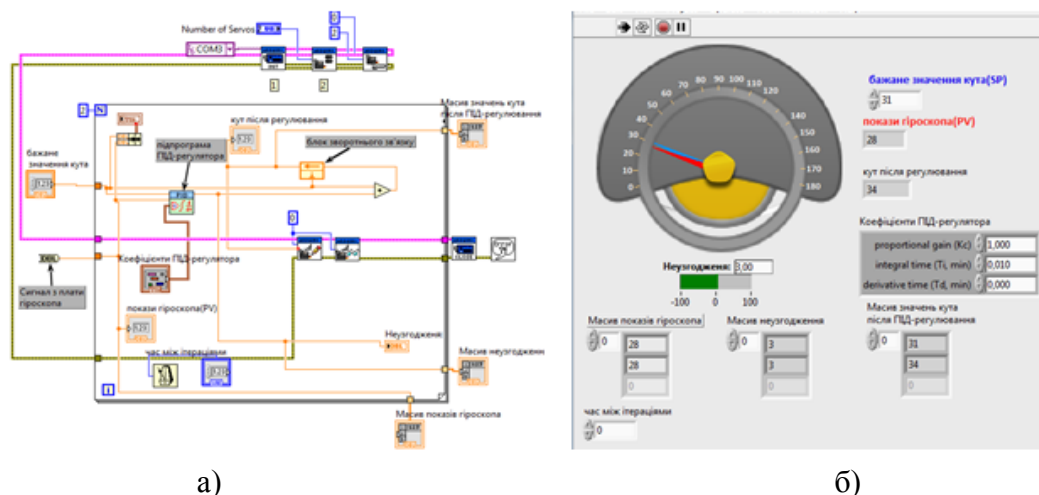


Рис. 1. Блок-діаграма (а) та зовнішній інтерфейс (б) підпрограми для управління приводом маніпулятора з використанням алгоритмів ПІД-регулювання

Використання запропонованих підпрограм забезпечує управління маніпулятором, відстеження та можливість введення корекції кутів повороту в окремих кінематичних парах, що значно підвищує точність позиціонування його виконавчого органу.

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕХОДУ ОБ'ЄКТА НА ЕЛЕКТРИЧНЕ ОПАЛЕННЯ БЕЗ ЗМІНИ ЙОГО ПРОЕКТНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Баганов Є.О., Куліш М.І.  
Херсонський національний технічний університет

Вступ. Одним з нагальних питань енергетичної галузі України є економія газу та здійснення заходів щодо його заміщення, зокрема переходу на використання для опалення електроенергії, в сфері якої спостерігається мінімальна залежність від імпорту енергоносіїв. Уряд намагається стимулювати такий перехід шляхом введення льготних тарифів для об'єктів, що в установленому порядку обладнані електроопалювальними установками [1].

Актуальність досліджень. При переході на електроопалення, особливо в багатоквартирних будинках, внаслідок значної потужності електронагрівачів може виникнути необхідність у збільшенні проектної електричної потужності, що не завжди є економічно доцільно. Також можуть з'явитися як технічні ускладнення реалізації так і процедурні, внаслідок залежності процесу підвищення проектної потужності від балансоутримувача об'єкта архітектури [2].

Для узгодження електроспоживання з проектною потужністю стандартно розглядають теплоаккумуляційне електроопалення [3, 4]. Однак використання теплового акумулявання призводить до значних перегрівів теплоакуюлюючих поверхонь [5] і, відповідно, до більшої амплітуди коливань температури в приміщенні.

В роботі [6] показано, що при наявності значної кількості нагрівачів та енергетичного резерву в електромережі можна узгодити електроопалення з побутовими електроприладами в рамках існуючої проектної потужності. Однак наявність великої кількості нагрівачів характерна для великих об'єктів, наприклад, багатоповерхових житлових будинків, що розглядаються як єдине ціле, і цей підхід не може бути застосованим до невеликих об'єктів, таких як квартира.

Постановка задачі. В даній роботі розглянуто підхід до аналізу можливості переведення об'єкту на електроопалення без зміни проектної електричної потужності шляхом часового перерозподілу електронавантаження на систему опалення в умовах реальної обмеженої кількості опалювальних контурів.

Результати досліджень. Попередня оцінка можливості реалізації системи електроопалення при обмеженій проектній потужності може бути проведена виходячи із класу енергоефективності споруди, який визначається за величиною [7]:

$$K = \frac{(q_{\text{бюд}} - E_{\text{max}})}{E_{\text{max}}} 100\% \quad (1)$$

де  $q_{\text{бюд}}$  – питомі тепловитрати об'єкта,  $E_{\text{max}}$  – максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалювальний період. Спираючись на умову енергетичного балансу, в умовах обмеженої потужності повинна виконуватись нерівність

$$24N_{\text{ПР}} \geq W_{\text{ОБ}} + Q_{\text{ДОБ}}, \quad (2)$$

де  $N_{\text{ПР}}$  – проектна потужність об'єкта (кВт),  $W_{\text{ОБ}}$  – витрати електроенергії для роботи побутового електричного обладнання за добу (кВт·год),  $Q_{\text{ДОБ}}$  – витрати електроенергії для роботи системи опалення за добу в умовах холодної п'ятиденки (кВт·год).

Відповідно до (1) і (2) можна отримати:

$$K \leq \left[ \frac{24N \left( 1 - \frac{W_{\text{ОБ}}}{24N_{\text{ПР}}} \right) (t_B - t_{3,CP}) Z}{E_{\text{max}} S(t_B - t_{3,X})} - 1 \right] 100\%, \quad (3)$$

де  $t_{3,CP}$ ,  $t_{3,X}$ ,  $t_a$  – середні розрахункові температури зовнішнього повітря в опалювальний період, холодної п'ятиденки та внутрішнього повітря будинку відповідно,  $Z$  – тривалість

опалювального сезону,  $d_{б}$ ,  $S$  – опалювана площа об'єкта. Графічно залежність максимального значення  $K$  для умов Херсонської області (дані для розрахунку взяті з [7] і [8]), що дозволяє запроваджувати електроопалення без зміни проектної потужності, наведена на рис. 1. Величина  $W_{об}/24N_{пр}$  фактично визначає ступінь завантаження електричної мережі іншим (не опалювальним) електричним обладнанням і характеризує її наявний енергетичний резерв.

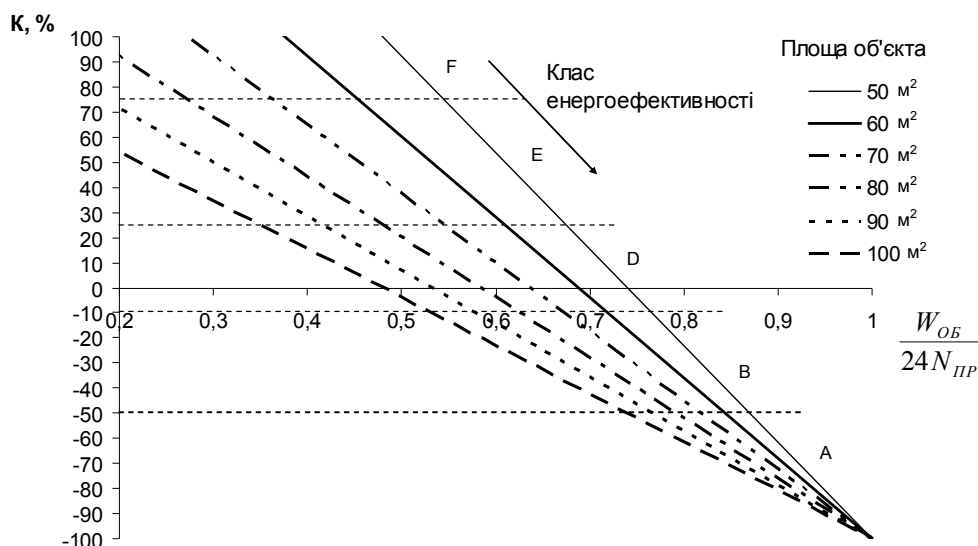


Рисунок 1 – Залежність максимального значення  $K$  для умов Херсонської області, що дозволяє запроваджувати електроопалення без зміни проектної потужності, від ступеня завантаження електричної мережі  $W_{об}/24N_{пр}$ . Проектна потужність об'єкта 5 кВт.

Однак розрахунок за формулою (3) надає змогу відразу відкинути тільки ті варіанти, які не мають електроенергетичного запасу для покриття теплового навантаження об'єкта. Основним параметром, що впливає на можливість переходу на електроопалення, є можливість створення такого графіка його роботи, при якому забезпечується нормативний температурний режим в приміщенні при дотриманні заданого графіку роботи інших електроприладів та обмеженні сумарної миттєвої потужності електричного навантаження. Для визначення наявності такого графіка і, відповідно, можливості переведення об'єкта на електроопалення без зміни його проектної потужності, був розроблений алгоритм та реалізована відповідна розрахункова програма. В якості основних параметрів, що впливають на графік роботи системи електроопалення, було визначено: кількість приміщень, їх геометричні та теплотехнічні параметри; потужність системи опалення та кількість контурів в кожному приміщенні; проектна потужність електричної мережі; зовнішня температура повітря; графік електричних навантажень інших електроприладів; нормативна температура внутрішнього повітря в кожному приміщенні та припустима амплітуда його коливання.

Теплову інерційність будівлі враховано перерахунком температурного профілю зовнішніх і внутрішніх обгороджуючи конструкцій. Процес теплопереносу приймався у квазістаціонарному режимі, що є адекватним наближенням при таких процесах [9].

На рис. 2. наведено результати моделювання графіку навантаження електричної системи опалення у холодну п'ятиденку для однокімнатної квартири опалюваною площею 37,54 м<sup>2</sup>, що розташована на 7-му поверсі 9-ти поверхового будинку в м. Херсоні з проектною потужністю 5 кВт. Коливання температури приміщень квартири не перевищувало 2,5 °С. Отримані результати показують можливість переведення даного об'єкта на електроопалення без зміни його проектної потужності.

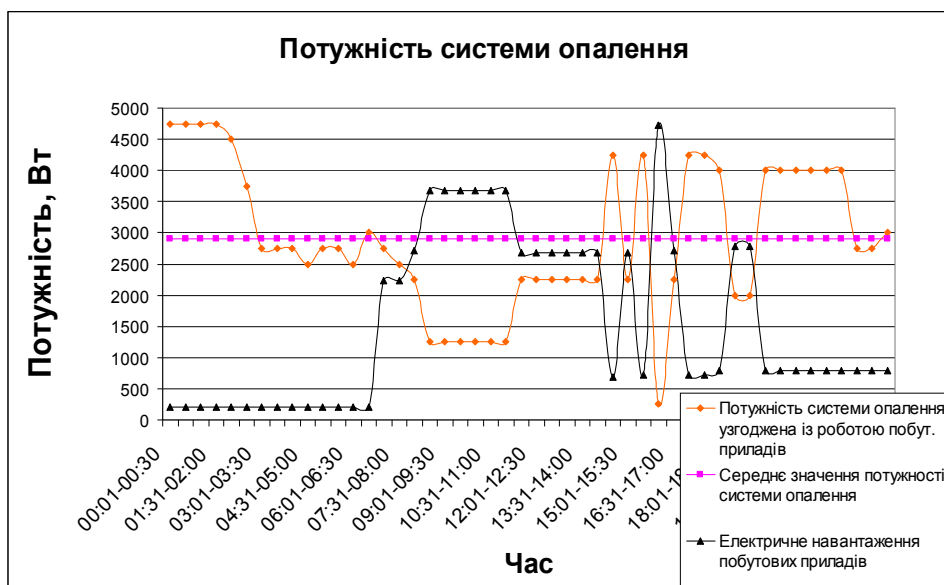


Рисунок 2 – Результати моделювання графіку роботи системи електроопалення для однокімнатної квартири у м. Херсон у холодну п'ятиденку. Проектна потужність 5 кВт.

Висновок. Розроблений алгоритм розрахунку графіку роботи системи електроопалення об'єкта для забезпечення нормативних вимог щодо температури внутрішнього повітря в умовах обмеженої потужності електричної мережі дає змогу визначити можливість переведення об'єкта на електроопалення без зміни проектної електричної потужності шляхом часового перерозподілу електронавантаження на систему опалення.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кабінет Міністрів України. Постанова. від 16 жовтня 2014 р. № 540. Київ. Про стимулювання споживачів природного газу та теплової енергії до переходу на використання електричної енергії для опалення і підігріву води. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/540-2014-п> (14.06.2015) – Назва з екрану.
2. Лист НКРЕ № 3100/13/47-13 від 07.05.2013. – Режим доступу: <http://www3.nerc.gov.ua/?id=8666> (14.06.2015) – Назва з екрану.
3. Кшановський В.Й. Вплив температури зовнішнього повітря на енергоефективність електроопалення споруд / В.Й. Кшановський // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2010. – 1. – С. 29-37.
4. Черных Л.Ф. Тепловые режимы помещений при энергосберегающем теплоаккумуляционном напольном электроотоплении/ Л.Ф. Черных // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2010. – 36. – С. 83-96.
5. Електрична кабельна система опалення: ДБН В.2.5 – 24:2012 – [Чинні від 01-10-2012] // К.: Укрархбудінформ, 2012. – 82 с.
6. Файда Е.Л. Оптимизация систем электроснабжения в жилых домах с электроотоплением/ Е.Л. Файда, Л.Ф. Файда, Варганов В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». –2015. –№ 15. – С. 33–35.
7. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2006. – [Чинні від 01–04–2007] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 65 с
8. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. – [Чинний від 01–11–2011] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
9. Панферов В.И. Вычисление средней температуры n-слойной стенки / В.И. Панферов, А.Е. Милов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». –2015. –2. – С. 59–61.

## **МЕТОДИКА ОБ'ЄКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДАНИХ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ**

Лапіга О.С., Вислоух С.П.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Вступ. Однією із основних проблем вітчизнах підприємств є використання морально застарілих методів технологічної підготовки виробництва. При цьому, частка комп'ютерного проектування технологічних процесів (ТП) є низькою. Як наслідок значно підвищується час на розробку технології виготовлення деталей, збільшується кількість помилок, пов'язаних з визначенням припусків на обробку, режимів різання, а також при написанні керуючих програм для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Все це призводить до значного підвищення собівартості і зниження якості виробу, що виготовляється. Для того, щоб цього уникнути, доцільно використовувати системи автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП). Сучасний ринок пропонує значну кількість різноманітних САПР ТП. Проте такі системи є вартісними і не завжди задовольняють всім вимогам проектувальника [1, 2].

Актуальність досліджень. Сучасні автоматизовані системи проектування технологічних процесів механічної обробки деталей ґрунтуються на обробці даних, що були задані користувачем-проектувальником, або отримані із бази даних. Технологічний процес є складним для формалізації тому, що для його проектування необхідно враховувати низку факторів таких, як умови виробництва, можливості обладнання, складність деталі тощо. Для деяких одиничних випадків можливо створити таку САПР ТП, в якій будуть жорстко закладені алгоритми проектування технологічних операцій. Проте така САПР ТП буде мати обмежене використання, а будь-які зміни умов виробництва призведуть до необхідності програмно реалізовувати нові алгоритми проектування, що рівноцінно створенню нової САПР ТП для нових умов виробництва. Тому важливо розробити таку САПР ТП, яка буде гнучкою й дозволить мінімізувати участь користувача-проектувальника в розробці ТП. Проектуючи ТП механічної обробки деталі вручну або за допомогою низькорівневої САПР ТП в режимі діалогу, інженер-технолог використовує власний досвід, певні знання, правила та закони проектування ТП. Такий підхід вимагає значних затрат часу та відповідної кваліфікації технолога-проектувальника. Саме тому розробка нових принципів, методик і алгоритмів для САПР ТП є актуальною та перспективною задачею.

Постановка задачі. Головною метою дослідження є розробка методики автоматизованого проектування операційної технології механічної обробки типових поверхонь деталей приладів і машин та її реалізація у вигляді модуля CAD/CAM з використанням комплексу стандартів STEP. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- 1) розробити методику автоматизованого проектування операційної технології механічної обробки типових поверхонь деталей приладів і машин на основі єдиної інформаційної моделі деталі з використанням комплексу стандартів STEP;
- 2) розробити алгоритм отримання з 3D-моделі деталі початкових даних, необхідних для проектування операційної технології її механічної обробки;
- 3) розробити алгоритм отримання технологічного процесу механічної обробки деталі методом порівняння 3D-моделі деталі, що обробляється, з 3D-моделлю комплексної деталі;
- 4) створити базу даних, що містить необхідні дані для визначення припусків, режимів різання, норм часу тощо, а також параметри металорізальних верстатів та різального інструменту;
- 5) створити базу знань, що містить математичні моделі, необхідні для визначення припусків, режимів різання, норм часу тощо;



б) розробити модуль CAD/CAM для автоматизованого проектування технології обробки типових поверхонь деталей приладів та машин, що включає визначення припусків і міжопераційних розмірів, вибір інструменту, обладнання, збереження результатів проектування у вигляді відповідної технологічної документації, а також отримання керуючих програм для верстатів з ЧПК;

7) провести практичну апробацію в виробничих умовах керуючих програм, що згенеровані створеним модулем CAD/CAM системи, та розробити методичні рекомендації з впровадження модуля CAD/CAM системи.

Результати досліджень. Для підвищення ефективності роботи САПР ТП потрібно застосувати такий підхід, в якому певні правила проектування будуть закладені в систему не жорстко й буде можливість їх швидкої зміни в залежності від умов виробництва, а також початкова інформація для проектування отримуватиметься не в режимі діалогу, а автоматично з 3D-моделі деталі, для якої проектується ТП її механічної обробки [3]. В даному випадку, правила – це певні елементарні алгоритми отримання даних або їх аналізу, що базуються на вже відомих загальноприйнятих методах розробки технологічних процесів механічної обробки деталей. Наприклад, при виборі способу закріплення заготовки для обробки гладкого валу потрібно провести початковий аналіз її розмірів з метою визначити жорсткість даного валу. В залежності від співвідношення довжини заготовки валу до її діаметру буде визначено спосіб її закріплення: в патроні; в центрах без люнета; в патроні з нерухомим люнетом тощо. Таким чином буде формалізовано правило визначення способу закріплення заготовки для обробки валу в залежності від його розмірів. Отже, використовуючи такі правила в САПР ТП, технолог-проектувальник позбавляється значної частини роботи при проектуванні ТП, пов'язаної із вибором в режимі діалогу того чи іншого елемента технологічного процесу. Такі елементарні алгоритми, які використовуються для розрахунків, отримання сталої інформації із бази даних тощо, можуть задаватися у базі знань САПР ТП.

Досить часто для скорочення часу проектування на виробництвах використовують групові технологічні процеси, тобто ТП на конструктивно різні, але технологічно однорідні вироби. Проектування технології ведеться для типового представника або комплексної деталі, що концентрують в собі характеристики типу або груп і замінюють собою всю сукупність деталей. Це спрощує процес проектування, що здійснюється за звичайною методикою для одиначної технології. Також інколи застосовується модульна технологія, тобто технологія, що ґрунтується на представленні деталі сукупністю модулів поверхонь (МП), побудови ТП деталі із модулів технологічного процесу виготовлення (МТПВ), які є закінченими частинами процесу по виготовленню МП [4]. В першому чи в другому випадку визначення типу деталі, форм поверхонь, їх взаємне розташування, введення габаритів деталі, розмірів, точності її поверхонь виконується технологом-проектувальником або вручну при ручному проектуванні, або в режимі діалогу при автоматизованому проектуванні. Набагато ефективніший буде такий спосіб отримання початкових даних, при якому частина інформації отримується автоматично із 3D-моделі деталі (наприклад, розміри поверхонь, їх шорсткість, допуск тощо), а частина – вибирається із бази даних (наприклад, необхідні дані для розрахунку припусків та між операційних розмірів або режими різання). Лише ті дані, які неможливо отримати із 3D-моделі деталі або бази даних, вказуються проектувальником в режимі діалогу (наприклад, розміри заготовки, спосіб її отримання тощо).

Пропонується методика автоматизованого проектування операційної технології механічної обробки деталей, яка включає в себе груповий ТП з елементами МТПВ. При цьому вищеперераховані дії по визначенню початкової інформації для проектування виконує САПР ТП, а технолог-проектувальник тільки контролює правильність виконання робіт і, при необхідності, проводить корегування. Для реалізації поставленої задачі необхідно, щоб 3D-моделі комплексної деталі і деталі, для якої проектується ТП, визначалися як сукупність наборів пов'язаних між собою геометричних елементів, які можуть оброблятися в САПР.

Одним із підходів може бути застосування мови опису EXPRESS та принципів стандарту STEP. 3D-модель, визначена за допомогою прикладного протоколу STEP, представляє собою структуру даних, що складається із певних взаємозв'язаних об'єктів. Кожний об'єкт – це геометричний елемент деталі такий, як грань, поверхня тощо. Прикладним протоколом STEP називають інформаційну модель певного призначення, яка описує з високим ступенем повноти множину об'єктів з її властивостями та виражена засобами мови EXPRESS. Передбачається, що ця модель містить в собі опис даних будь-якої конкретної задачі, тобто практично інформаційні моделі прикладних задач є окремими випадками прикладних протоколів [5]. На основі даних прикладного протоколу можна отримати геометричні форми поверхонь деталі, їх розміри та взаєморозташування.

При завантаженні в САПР ТП комплексної 3D-моделі деталі, визначеної через прикладний протокол STEP, автоматично виконується її розподілення на конкретні поверхні з визначенням їх форм, розмірів та взаємозв'язків. Для кожної поверхні технологом-проектувальником задається технологія її механічної обробки з урахуванням можливих розмірів, точності, шорсткості даної поверхні, її розміщення відносно інших поверхонь. Як наслідок будуть визначені варіанти ТП механічної обробки комплексної деталі, що не прописані жорстко в САПР ТП й у випадку зміни умов виробництва їх можна буде відкоригувати. При цьому будь-який елемент ТП представляється як деякий об'єкт (наприклад, точіння, інструмент, режими різання тощо). В свою чергу будь-який такий об'єкт має свої властивості. Наприклад, режими різання мають такі властивості як подача, швидкість та глибина різання. Крім того, властивістю об'єкта може виступати й інший об'єкт (наприклад, об'єкт «технологічний перехід» є властивістю для об'єкта «операція»). Таким чином відбувається формалізація технологічного процесу та створюється певна конкретна структура елементів технологічного процесу, що дозволяє забезпечити взаємозв'язаність даних і легкість обробки інформації.

Для проектування ТП механічної обробки конкретної деталі в запропонованій САПР ТП необхідно завантажити її 3D-модель у вигляді обмінного файлу формату STEP. Під час завантаження автоматично будуть визначені для даної деталі її поверхні, їх розміри, точність тощо. Далі відбувається порівняння поверхонь комплексної деталі і деталі, що проектується. На рівні програмного забезпечення це означає, що кожна поверхня представляє собою деякий об'єкт і, фактично, відбувається порівняння об'єктів за їх певними властивостями, наприклад, за формою, взаємному розташуванні тощо. Якщо поверхню, що проектується, вдалося знайти, то для неї із попередньо заданих ТП для комплексної деталі вибирається множина ТП її механічної обробки. Потім на дану множину накладаються обмеження у вигляді конкретних розмірів поверхні, що проектується, їх точності, шорсткості тощо. Таким чином можливо отримати ТП механічної обробки всієї деталі в цілому. Крім того, якщо для комплексної деталі крім технологічних процесів її виготовлення ще визначити заготовки керуючих програм на мові програмування однієї із систем автоматизованого програмування (САП), то в результаті проектування також можливо отримати проміжну керуючу програму для всієї деталі. Дану програму можна завантажити в конкретну САП, при необхідності відкоригувати і перевірити правильність її виконання. Такий підхід дозволяє значно скоротити час на розробку керуючих програм. Більше того, в даному випадку керуюча програма буде, як елемент проектування, залежати від ТП виготовлення деталі. Таким чином отримується інформаційна модель деталі, що містить всі необхідні для її виробництва дані такі, як: об'єктне представлення геометричних даних деталі, об'єктне представлення технології та керуючих програми для верстатів з ЧПК для виготовлення поверхонь деталі. Ці дані є взаємозв'язаними таким чином, що зміна геометричних даних призведе до зміни ТП і, відповідно, керуючих програм. Це дозволить уникнути помилок безпосередньо при виробництві деталі. Сукупність таких інформаційних моделей деталей доцільно зберігати в спеціальному репозиторії для подальшого використання.

Висновки. Запропонована методика автоматизованого проектування операційної технології механічної обробки типових поверхонь деталей приладів і машин на основі єдиної

інформаційної моделі деталі, що дозволяє отримати з 3D-моделі деталі початкові дані, підвищити рівень формалізації, зменшити час на обробку інформації.

Також однією із основних переваг використання стандарту STEP є те, що він задає способи реалізації обміну даними, що представлені у відповідності до повної моделі виробу, при чому вони не залежать від програмних і апаратних засобів, що застосовуються учасниками життєвого циклу виробу [6].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Антонюк В.С., Вислоух С.П., Лапіга О.С. Автоматизоване проектування операційної технології обробки типових поверхонь деталей // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – Вып. 77. – С. 3-7
2. Лапіга О.С., Вислоух С.П. Сучасні тенденції розробки систем автоматизованого проектування операційної технології // Нові технології: науковий вісник КУЕІТУ. – Кременчук: КУЕІТУ, вип. №1(23), 2009. – С. 139-142
3. Вислоух С.П., Лапіга О.С. Використання 3d-креслення деталі при автоматизованому проектуванні технологічних процесів механічної обробки // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: зб. наук. пр. / Житомир. держ. технол. ун-т. – Житомир: Вид-во ЖДТУ, 2011. – Вип. 11. – С. 36-44
4. Машиностроение. Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин Т.Ш-3/ А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Суслова – М.: МЗ8 Машиностроение, 2000. – 840с., ил.
5. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – С. 336
6. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: Учеб. Пособие. – М.: Логос, 2005. – С. 296

## ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ МАШИНОБУДІВНОГО КОМПЛЕКСУ

Глухов Г.М., Глухова Г.Г.

Херсонський національний технічний університет

**Вступ.** До основних антропогенних факторів розвитку екологічної кризи в Україні належать передусім великі промислові комплекси [1]. Вони сконцентровані навколо родовищ корисних копалин, великих міст і водних об'єктів: у Донецькій області, Центральному Придніпров'ї, Криворіжжі, Прикарпатті, Маріуполі, більшості обласних центрів. Це потужні джерела практично всіх видів забруднень (механічних, хімічних, фізичних та біохімічних). Серед цих об'єктів небезпечними забруднювачами докільля є машинобудівні заводи та деякі військові підприємства. Тому при підготовці спеціалістів машинобудування необхідно їх вірно приймати рішення по забезпеченню скорочення забруднення від виробництва [2].

**Актуальність досліджень.** Машинобудівне виробництво створює самі різні види забруднення. Це обумовлено наявністю великої різноманітності матеріалів, які застосовують у машинобудуванні, безліччю видів різноманітних технологічних процесів та великим асортиментом продукції що випускається [3]. Так, наприклад, при роботі металорізального обладнання застосовують мастильно-охолоджуючі рідини (емульсії, масла) повітря забруднюється аерозолями цих речовин, а при обробці заготовок абразивним інструментом виділяється абразивний пил. Усе це, та інше призводить до накопичення на підприємствах машинобудування значної кількості твердих відходів, зокрема: таких як амортизаційний

брухт, як результат заміни зношених деталей при модернізації обладнання; відходів від виробництва прокату; лиття; механічної обробки заготовок на верстатах і т.п..

Тому забезпечення мінімізації забруднення довкілля є одною з важливих задач сучасності.

**Постановка задачі.** Зменшити кількість небажаних включень промислового забруднення у стічних водах, яке виникає при зливі у каналізацію стічних вод.

**Результати досліджень.** Виконати частково таку задачу можливо так як існує багато методів боротьби з промисловими забрудненнями навколишнього середовища, а саме стічних вод.[4]. Їх можна умовно поділити на дві групи: пасивні та активні [5,6,7].

До пасивних відносяться методи, використання яких не пов'язано з безпосереднім впливом на джерело забруднення, а методи, що носять захисний характер: це раціональне розміщення джерел забруднень, їх локалізація та очищення викидів.

Активними методами боротьби з забрудненнями є удосконалення існуючих та розробці нових технологічних процесів, обладнання з метою чого можна досягнути зниження їх шкідливого впливу на навколишнє середовище. Таким методам в наш час надають все більшу увагу, так як вони надають можливість вирішити радикально проблему схорони навколишнього середовища.

**Висновки.** Більшість підприємств машинобудівної промисловості використовують застаріле обладнання, порушують межі санітарно-захисних зон, не мають очисних споруд або мають, але зовсім не ефективні.

Потрібно:

1. Проводити заміну застарілого обладнання на сучасне.
2. Нові підприємства виносити за межі міст з урахуванням геологічного розташування та рози вітрів.
3. Зменшити кількість металевих відходів у машинобудуванні, що приведе до зменшення енергоємності на одиницю продукції та економії енергетичних ресурсів.
4. Будувати свої очисні споруди з урахуванням особливості виробництва.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Глухов В.В. Экономические основы экологии./Глухов В.В., Лисочкина Т.В., Некрасова Т.П / учебник. - Специальная литература. -СПб. -1995г. -280с.: ил.
2. Глухова Г.Г. Формування екологічної культури студентів вищих технічних навчальних закладів: Монографія / Глухова Г.Г. – Херсон: Айлант, - 2011, - 158с.
3. Реймерс Н.Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы) Реймерс Н.Ф. - М.: Журнал "Россия Молодая", - 1994. -367с.
4. Колесников В.А. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод./ Колесников В.А., Меньшутина Н.В. – М.: ДеЛи принт, - 2005. – 266 с., ISBN: 5-94343-102-0
5. Тесфахуней Безабих Тсегай. Разработка мероприятий по снижению вредного воздействия смазочно-охлаждающих жидкостей на окружающую среду :На примере металлообрабатывающих предприятий тема диссертации и автореферата по ВАК 11.00.11, кандидат технических наук Тесфахуней. Москва, -2000. - 179 с. : табл.
6. Дикаревский В.С. Отведение и очистка поверхностных сточных вод / Дикаревский В.С.,Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. – Л.: Стройиздат, - 1990. – 224 с..
7. Смирнов Д.Н. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов./ Смирнов Д.Н., Генин В.Е. – М.: Металлургия, - 1989, -224с.

## ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ МАШИНОБУДІВНОГО КОМПЛЕКСУ

Глухова В.І.

Херсонський національний технічний університет

**Вступ.** Енергозбереження має суттєвий вплив на енергетичну безпеку машинобудівного комплексу, оскільки неефективне внутрішнє споживання паливно-енергетичних ресурсів вимагає великих обсягів (майже 50%) їх імпорту, що призводить до залежності від країн-експортерів [1]. Тому низька енергоефективність є одним з чинників кризових явищ в машинобудівного комплексу України. Таким чином, для удосконалення системи енергозабезпечення машинобудівного комплексу має стати підвищення ефективності використання енергії.

**Актуальність досліджень.** На сучасному етапі пріоритетом для подальшого розвитку машинобудівного комплексу, який передбачає генерацію стійких темпів економічного зростання за умови дотримання жорстких екологічних стандартів на передній план висувається проблема ефективного споживання енергоресурсів.

Сьогодні енергоефективність є ключовим критерієм якості функціонування як окремих підприємств, так і економічної моделі держави в цілому, злагодженості взаємодії між суб'єктами господарювання, населенням та органами влади [2].

В умовах дефіциту власних паливно-енергетичних ресурсів та зростання цін на імпортні енергоносії, одним із важливих завдань інноваційно-технологічної модернізації машинобудівного комплексу стає підвищення ефективності енергоспоживання [2].

У статті Шапочка М.К., Прийменко С. А. стверджується, що сьогодні Україна володіє достатніми енергетичними потужностями, але велику їх частку складає застаріле, технічно зношене обладнання та устаткування [3].

Тому, питання енергоефективності та енергозбереження набуває актуальності, на тлі сучасного здороження та зниження імпорту енергоносіїв та відсутності поставок з Донецької та Луганської областей.

**Постановка задачі.** Оцінка середовища енергозбереження на машинобудівному комплексі та виявлення факторів, які деструктивно впливають на реалізацію державних програм підвищення енергоефективності.

**Результати досліджень.** Значні енерговитрати мають місце в машинобудівному комплексі, частка енергії у вартості продукту складає 30-50 %. У цілому енергоємність машинобудівного продукту в 3-5 разів більша, ніж у розвинутих країнах Заходу. Таким чином, актуальність енергозбереження для вітчизняних підприємств викликає сумнівів.

За низько ефективного споживання паливно-енергетичних ресурсів, маємо зростання собівартості виробленої продукції, що зумовлює зниження рівня конкурентоздатності машинобудівних підприємств на світовому рівні.

Щорічна потреба в паливно-енергетичних ресурсів машинобудівного комплексу України становить приблизно 4,5–5,0 млн. тонн умовного палива. Тоді як потенціал енергозбереження в машинобудівному комплексі оцінюється в 25 - 30% до суми щорічного споживання [3].

Машинобудування на сучасному етапі характеризується широким використанням всіх видів енергії. На частку електроенергії припадає близько 24%, палива - 38%, теплоенергії - 38%.

**Висновки.** Виконання нижче наведених рекомендацій дозволить зменшити витрати енергоресурсів на одиницю виготовленої продукції, а саме:

1. Економія енергоресурсів на машинобудівних підприємствах за рахунок реалізації заходів з якісного обліку витрат усіх видів енергоресурсів.
2. Повна ліквідація дотацій на вартість енергоресурсів.
3. Заміна застарілого обладнання на сучасне та менше енергозатратне.

4. Зменшення кількості металевих відходів у машинобудуванні, що приведе до зменшення енергоємності на одиницю продукції та економії енергетичних ресурсів.
5. Недостатність знань по енергоємності технологічних процесів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Єрмілов С.Ф. Державна політика енергоефективності в українському та європейському контексті / С.Ф. Єрмілов // Економіка і прогнозування : науково-аналітичний журнал, Ін-т економіки та прогнозування НАНУ. – Київ, 2007. – № 2.
2. Переосмислюючи стратегію розвитку : Національна доповідь з питань реалізації державної політики у сфері енергоефективності за 2010-11 роки / М. Пашкевич, В. Григоровський, В.Гавриленко, О. Запорожець, Я. Мовчан [та ін.] – К. : Держенергоефективності-НАУ- LAT & K, 2012. – 280 с.
3. Шапочка М. К. Перспективи функціонування гідроенергетики України як альтернативного джерела енергії / Шапочка М.К., Прийменко С. А. // Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка. – 2011. – №1. – С. 40–44.

## ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЗАТИСКНИХ ПАТРОНІВ ДЛЯ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ

Литвин О.В., Ящук І.Р.

Національний технічний університет України «КПІ»

Одним із шляхів вирішення завдання створення нових конструкцій затискних патронів є втілення прогресивних методів пошуку нових технічних рішень на ранніх стадіях технологічної підготовки виробництва. До одних із таких методів відноситься функціонально-структурний аналіз. Метою функціонально-структурного аналізу може бути поліпшення функціонування, як окремих компонентів, так і затискного патрона в цілому, а також виявлення недоліків у патроні і формулювання завдань щодо їх усунення. Конструктивна функціональна схема спрямовує увагу на вибір конструкторсько-технологічних рішень деталей і вузлів: матеріалів, форми, взаємного розташування конструктивних елементів та видів з'єднань. Види і кількість з'єднань істотно впливають на трудомісткість процесів складання і виробничі витрати. До посадкових поверхонь, як правило, пред'являються більш високі вимоги по точності виготовлення, ніж до інших поверхонь.

Для проведення системно-структурного аналізу можна запропонувати дві моделі, які доповнюють один одного.

1. Структурна схема у вигляді графа, яка відображає взаємозв'язок виділених компонентів (рис.1).

2. Таблична модель, в якій дається опис функцій, характеру зв'язків між компонентами патрону і результати аналізу, тобто вона застосовується для проведення змістовного аналізу (табл.1). Виходячи з технічного опису конструкції проєктованого затискного патрона виділяються функціональні вузли, що визначають його робочий процес та виконуємі функції:

Ієрархічна структура представляє сукупність елементів, пов'язаних між собою за певними правилами. Побудова ієрархічної моделі затискного патрона дозволяє виявити основні (Ф1-Ф4), допоміжні і додаткові функції, які необхідно передбачити для того, щоб виконувалася головна корисна функція (рис.2).

Таблиця 1 - Опис функцій компонентів патрона

Компоненти патрона	Виконуємі функції
Установочні елементи	Визначають положення корпусу патрона відносно шпинделя верстата
Передавально – підсилююча механізм	Передавально-підсилюючий механізм є останньою ланкою підсилення підсистеми "привод-патрон".
Додатковий передавально – підсилюючий механізм	Виконує допоміжні переміщення вузлів патрона (поворот заготовки типу хрестовина в патроні і т.і.)
Упори	Визначають положення заготовки відносно установочних елементів
Основні затискні елементи	Передають зусилля затиску на заготовку.
Допоміжні затискні елементи	Виконують функцію центрування заготовки
Привод затиску	Створює зусилля затиску
Корпус	Визначає взаємне положення всіх конструктивних елементів між собою та їх положення щодо верстата і відносно інструмента.
Шпиндель	Передача крутного моменту на патрон, для приєднання
Система керування	Для управління процесом затиску

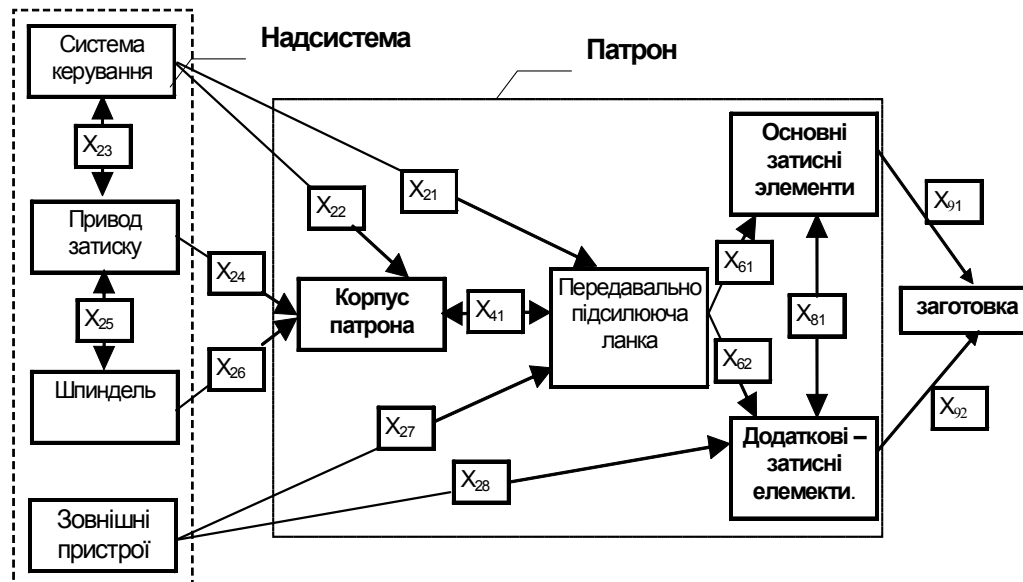


Рисунок 1. Структурна схема затискного патрона

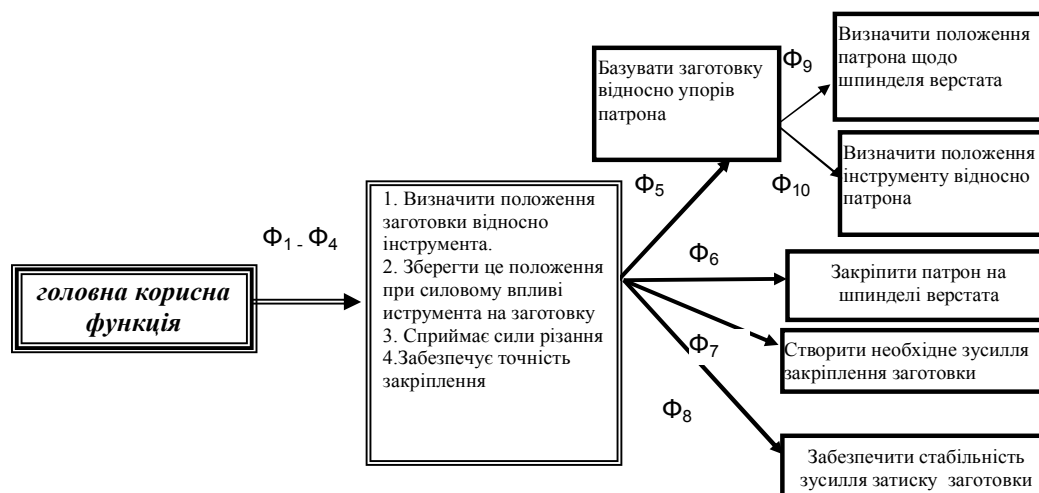


Рисунок .2 Взаємозв'язок функцій, виконуваних затискним патроном (ієрархічна модель)

Висновки. Виділення функцій дозволяє залучити операцію ізолюючої абстракції для пошуку небажаних ефектів. Наприклад, можна відзначити наступні небажаних ефектів від зусилля закріплення. 1. Деформація заготовки від зусилля закріплення і зусиль різання. 2. Утворення вм'ятин на заготівлі від контактуючих деталей: опорних і затискних елементів. Це дає можливість обґрунтовано вибір профілю затискних елементів та виду передавально-підсилюючих ланок (важільних, клинових, плунжерних, спіральних, гвинтових, зубчастих та пружних), що забезпечує надійний затиск, якісне базування, жорсткість системи патрон-деталь при механічній обробці заготовок.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества: учебн. пособ. для студ. вузов / А. И. Половинкин. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
2. Гамрекели М.Н. Метод синтеза оптимальных аппаратурно-функциональных технических комплексов //Известия вузов. Машиностроение -2006, № 9. –С. 75-84.
3. Кузнецов Ю.Н., Новоселов Ю.К., Луцив Н.В. Теория технических систем. Учебник. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – 242с., 2011. – 246с.

## МОДЕЛЮВАННЯ, АНАЛІЗ І СИНТЕЗ МЕХАНООБРОБНИХ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ З ЕЛЕМЕНТАМИ САМООРГАНІЗАЦІЇ

Тернюк М.Е., Луцький С.В.

Харківський національний автомобільно дорожній університет

**Вступ.** Одним з найважливіших завдань науково-технічного прогресу, які вирішуються в даний час, є розробка прогресивних ресурсозберігаючих технологій і гнучких високоавтоматизованих і повністю інтегрованих виробництв, що дозволяють оперативного перебудовуватися на випуск нової продукції і дають значний економічний і соціальний ефект.

Складні самостійно організовані системи відносяться до особливого класу таких систем, перш за все, через володіння властивостями адаптації. Вивчення особливостей складних самостійно організаційних механообробних комп'ютерно-інтегрованих технологічних систем (КІТС), вибір класу математичних моделей, вирішення задач аналізу і синтезу технологічних процесів і систем є актуальною науковою проблемою.



Вирішення цієї проблеми можливо здійснити при фундаментальному підході до технології машинобудування як науки, з використанням нових принципів та положень, що перебувають на стику різних наукових напрямків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні досягнення науки і техніки, розвиток виробничих та інформаційних технологій дозволили підійти впритул до створення заводів майбутнього - безлюдних виробничих систем, які здатні самостійно навчатися, утворюватися, налагоджуватися, працювати, відновлюватися, модернізуватися та ліквідуватися. Особливу роль у цьому відіграє еволюційний розвиток технології машинобудування як прикладної науки, внаслідок розширення вирішуваних завдань, пов'язаних з появою обчислювальної техніки та інформаційних технологій в технологічній системі.

Аналіз сучасного стану вирішення задач підвищення ефективності механообробних КІТС і оцінка перспектив показала, що подальше вдосконалювання технологічних процесів і систем, їхня інтеграція й комп'ютеризація, не можливі без подальшого розвитку науки технології машинобудування з використанням нових принципів і підходів, що інтегрують різні наукові напрями, які забезпечують створення нових високоефективних технологічних процесів і систем [1]. Серед таких підходів перспективним є використання системно-інформаційного (СІ) підходу, який є новим науковим напрямом. У ньому використовуються основні ідеї теорії інформації стосовно розвитку складних систем, що самоорганізуються на етапах їх життєвого циклу. Цей механізм може бути реалізованим при створенні нової концепції самоорганізації механообробних КІТС на базі аналізу і синтезу дискретно-імовірних (ДІ) станів і властивостей технологічних об'єктів та їх кореляційних зв'язків з позиції нового розуміння енерго-речовинно-інформаційної парадигми. Наукову основу для цього створюють роботи [2] К.Шенона, Р.Хартли, А.Н.Колмогорова та інших.

**Мета і постановка задачі.** Метою роботи є розробка та дослідження методів і засобів моделювання, аналізу, синтезу та систематизації інформаційних процесів на основі СІ підходу з метою підвищення ефективності діючих і створення нових механообробних КІТС з елементами самоорганізації.

**Виклад основного матеріалу.** В теорії технології машинобудування оперують математичними моделями властивостей технологічних процесів і систем, які їх реалізують. Зміст (ДІ) логарифмічних показників (ДІЛП) таких моделей піддається загальному визначенню в математичних термінах. Математична модель відбиває в тій чи іншій мірі властивості реальної системи з обмеженнями і має числову оцінку. По СІ підходу ДІ математична модель процесу або системи може бути представлена двома видами: перший – як елемент  $x$  множини можливого стану  $X$ , який має стохастичну природу, і другий - як детермінована величина  $X/x$  – яка характеризує кількість можливих станів системи. Таким чином, зміст ДІ моделі технологічного процесу або системи – це сукупність змісту стохастичної та детермінованої її частин, які визначають числову оцінку ДІЛП можливого стану процесу або системи відносно до порогу їх чутливості та вірогідність переходу з одного стану в інший.

Джерелом змісту ДІЛП ймовірної фізичної величини  $x$  є математичне очікування прояву властивостей технологічних процесів і систем

$$M = \sum_{i=1}^n x_i p_i$$

Формула для рахунку визначення ДІЛП ймовірної фізичної величини властивостей

технологічних процесів і систем визначається як  $I = \ln \frac{M}{\sigma} = \ln \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sqrt{D}}$ , де  $D$  – дисперсія,  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення ймовірної фізичної величини.

Джерелом змісту ДІЛП детермінованої фізичної величини є параметри  $X$  властивостей технологічних процесів і систем.

$$x_i \in X, i = 1, \dots, N$$

Формула для рахунку ДІЛП детермінованої фізичної величини властивостей технологічних процесів і систем визначається як

$$I = \ln \frac{X_i}{x_i}$$

При відомому законі розподілу ймовірності (будь якому) для стохастичних систем формула рахунку ДІЛП дійсного параметру визначається із теоретичної викладки

$$I_{ji} = \ln \frac{M_j}{\sigma_j} = \ln \frac{X_i}{x_i}, \text{ при } x = \sigma = 1,$$

$$\sum_{i=1}^k I_i = \sum_{i=1}^k \ln X_i = \sum_{i=1}^k \ln \frac{X_i m_i}{n} = \sum_{i=1}^k \ln X_i p_i, I_{sh} = -p_i \ln p_i, p_i = e^{-\frac{I_{sh}}{p_i}}, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^k I_i = \sum_{i=1}^k \ln(X_i \cdot e^{-\frac{J_{sh}}{p_i}}) = \sum_{i=1}^k (\ln X_i - \ln e^{-\frac{J_{sh}}{p_i}}), \sum_{i=1}^k I_i = \sum_{i=1}^k (\ln X_i - \frac{J_{sh}}{p_i}),$$

де  $I_i$  – кількість ДІ інформації по СІ-підходу,  $I_{sh}$  – кількість інформації по К.Шенону.

Доказ (1) показує, що формула для рахунку ДІЛП параметру за СІ-підходом об'єднує формули К. Шеннона і Р. Хартлі, і має як детерміновану, так і стохастичну частини.

Методологія СІ моделювання базується на відображенні ДІЛП властивостей процесів і систем будь якої природи, які ідентифікуються як параметри об'єктів, їх числову оцінку, місця і часу знаходження в просторі в вигляді комплексної СІ моделі. Структурна схема СІ-моделювання властивостей процесів і систем приведена на рис. 1.

Згідно методології СІ моделювання властивості процесів і систем в просторі структуруються межами  $\max$  (sup) і  $\min$  (inf) ДІЛП інтенсивності параметрів,  $\Lambda \sup(Y_i) > X_i > \lambda_{\inf}(Y_i)$ , за межами яких система сприймається зовнішнім середовищем.

Простір структурується масштабом ДІЛП протяжності,  $\Gamma_{\sup}(R^n_i) > R_i > \gamma_{\inf}(R^n_i)$ , в межах яких система сприймається середовищем.

Час прояву властивостей структурується масштабом ДІЛП тривалості  $\Gamma_{\sup}(T_i) > T_i > \gamma_{\inf}(T_i)$ , в межах яких ця властивість сприймається середовищем.

Використання структуризації ДІЛП інтенсивності властивостей системи, тривалості і протяжності в просторі дає можливість розглядати різні рівні «об'єктності» взаємодії технологічного процесу і системи в межах найбільшого і найменшого їх чисельних значень.

Час прояву властивостей структурується масштабом ДІЛП тривалості  $\Gamma_{\sup}(T_i) > T_i > \gamma_{\inf}(T_i)$ , в межах яких ця властивість сприймається середовищем.

Використання структуризації ДІЛП інтенсивності властивостей системи, тривалості і протяжності в просторі дає можливість розглядати різні рівні «об'єктності» взаємодії технологічного процесу і системи в межах найбільшого і найменшого їх чисельних значень.

Комплексна ДІЛП параметрів властивостей технологічних процесів і систем обчислюється по формулі  $S_{I_e} = f(I_Y, I_X, I_T, I_R)$ , де  $S_{I_e}$  – комплексна ДІЛП,  $Y$  – властивостей,  $X$  – параметрів,  $T$  – часу,  $R$  – простору [3]

Тракування аналізу процесу самоорганізації механообробних КІТС має на увазі досліджування здатності автоматичного (адаптивного) змінювання своєї структури, параметрів або алгоритму функціонування на базі встановлених СІ підходом певних правил і процедур, починаючи з порогу чутливості властивостей системи по відношенню як до внутрішніх, так і до зовнішніх факторів впливу [4]. При аналізі процесів і систем визначається комплексна ДІЛП (інтенсивності, тривалості і протяжності) параметрів

властивостей виробу, технологічного процесу і системи, погодженість кореляційного зв'язку між ними (без втрат або з надлишком ДІЛП на етапах ЖЦ виробу) та узгодження порогу чутливості параметрів властивостей технологічних об'єктів.



Рис. 1. Структурна схема СИ-моделювання властивостей процесів і систем

Аналіз процесів і систем механообробних КІТС з елементами самоорганізації можливе на рівні вибраної технологічної системи, технології виробництва, маршрутів, операцій, характеристик формоутворення.

Розроблена методологія аналізу технологічних процесів і систем виявила закономірності між ДІЛП, якою володіють технологічні об'єкти, та техніко-економічними властивостями механообробних КІТС з елементами самоорганізації.

1. Властивості виробничого об'єкту володіють кінцевою кількістю ДІЛП, які об'єктивно оцінують кількість вкладеної в нього трудомісткості при його створенні.

2. Будь який спосіб виробництва відображається через систему ДІЛП властивостей процесів і систем і їх кореляційних зв'язків.

3. Показники ДІЛП кількості кореляційні з витратами матеріальних, трудових і енергетичних ресурсів на виробництво виробів в системі зв'язків властивостей об'єктів, які беруть участь у технологічному процесі. Виробничий об'єкт є більш економічним, чим меншою ДІЛП кількістю, якою він володіє, забезпечується його службове призначення —  $Z(\text{мат}, \text{тр}, \text{ен}) = f(I_{\text{кд}}; I_{\text{тс}}; I_{\text{тп}})$ , де –  $Z$ -затрати матер., труд., енергет.;  $I$ - ДІЛП-КД, ТС, ТП.

3. ДІЛП якості виготовленого виробу кореляційні із показниками втрат або надлишку в системі зв'язків властивостей об'єктів КІТС, які беруть участь у технологічному процесі —  $P(\text{як}) = f(\Delta \text{надл}; \Delta \text{втр})$ , де –  $P$ -ДІЛП якості,  $I$ -ДІЛП надлишка і втрат.

4. ДІЛП цінності кореляційні показникам ефективності виробництва виробів в системі кореляційних зв'язків властивостей об'єктів КІТС, які беруть участь у технологічному процесі —  $\Phi(\text{еф}) = f(I_{\text{як}}; I_{\text{цін}})$ , де –  $\Phi$ -ДІЛП ефективності,  $I$  – ДІЛП якості і цінності.

В основі синтезу механообробних КІТС з елементами самоорганізації лежить оптимізація технологічних процесів і систем, які характеризуються: методом їх моделювання; засобом створення моделей; способом використання моделей процесів самоорганізації на базі ДІЛП властивостей технологічних об'єктів. Синтез технологічних об'єктів механообробних КІТС з елементами самоорганізації на базі ДІЛП визначає функції структур технологічних процесів та систем механообробного виробництва та їх кореляційні зв'язки. Алгоритм синтезу механообробного технологічного процесу на базі ДІ моделей включає:

1) створення цільових функцій структур елементів механообробного КІТС: операцій і переходів, маршрутів, інструментів, пристосувань і оснащення, обладнання та їх «відображень» на обробку, установку, контроль, переналагодження, транспортування та накопичення, з позиції виявлення їх параметрів властивостей, тривалості їх в часі та протяжності в просторі з допустимим масштабом похибки апроксимації;

2) створення матриць базових ДІЛП коефіцієнтів зв'язку між параметрами елементів механообробного КІТС.

3) визначення числової оцінки ДІЛП кількості у цільових функцій для різних варіантів методів обробки, операцій і переходів, маршрутів технологічного процесу;

4) визначення критеріїв ДІЛП якості та цінності характеристик варіантів механообробних технологічних процесів;

5) оптимізація доступних варіантів технологічних процесів і систем відповідно до критеріїв, рівня ДІЛП якості і цінност.

В основі методології синтезу елементів технологічних об'єктів механообробних КІТС з елементами самоорганізації лежать показники виду ДІЛП інтенсивності обробки металорізального устаткування, енергомісткості та інші, які характеризують ефективність технологічних процесів на інформаційному рівні.

**Висновки.** Методологія ДІ моделювання, аналізу і синтезу процесів і систем механообробних КІТС з елементами самоорганізації на етапах життєвого циклу виробу є основою для розробки математичного забезпечення і алгоритмів комп'ютерно-інтегрованих технологій при вирішенні задач самоорганізації в реальному часі виробництва, що необхідно при створенні нових високоефективних технологічних процесів і систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тернюк Н.Э. Луцкий С. В. Роль информации в развитии интегрированных производственных систем машиностроения – Оборудование и инструмент. Международный информационно-технический журнал – Харьков. № 5/105/2008. – С. 146–150
2. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: «Иностранная литература», 1963.
3. Луцкий С. В. Теоретические основы системно-информационного подхода к технологическим процессам и системам (моногр.) / С. В. Луцкий – Харьков ХНАДУ 2008. – 238с.
4. Тернюк Н.Э., Луцкий С.В., Беловол А.В. Самоорганизация технологических процессов механообработки – Сборник научных трудов «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии» – Харьков, ХАИ, Вып.55, 2012. – С. 110-117.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО ТЕРТЯ У ВИЩІЙ КІНЕМАТИЧНІЙ ПАРІ, ПРИ КОЧЕННІ ЦИЛІНДРА ПО ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ

Мешков. Ю.Є.

Херсонський національний технічний університет

Процес тертя кочення абсолютно твердого циліндра ( $E_1=\infty$ ) радіусом  $R_1$  по абсолютно твердій горизонтальній основі ( $E_2=\infty$ ) є процесом тертя у вищій кінематичній парі 1-2, коли ця пара має два ступені рухливості при плоскопаралельному русі циліндра [2-7]. Одна ступінь рухливості визначає поступальний рух осі циліндра уздовж горизонтальної основи. Інша - обертання циліндра навколо його осі з кутовою швидкістю  $\omega_1$  і лінійною швидкістю зовнішньої поверхні циліндра ( $v_n = \omega_1 R_1$ ) відмінною від швидкості поступального переміщення циліндра (швидкості переміщення осі обертання  $v_{o1} = v_1$ ). Умова  $|v_1| = |v_n|$  визначає наявність двох ступіней рухливості кінематичної пари 1-2, коли контакт циліндра і основи для ідеально твердих тіл 1 і 2 ( $E_1=E_2=\infty$ ) в площині перпендикулярній осі обертання

циліндра здійснюється в точці К. Відмітимо, що в цьому випадку процес тертя кочення не може характеризувати плече тертя кочення ( $l_k$ ), що представляє при  $E_1 \neq \infty$  і  $E_2 \neq \infty$  відстань між точкою прикладення сили тяжіння циліндра ( $G_1$ ) і силою реакції з боку основи на циліндр ( $N_{12} = G_1$ ), які при  $l_k \neq 0$  створюють момент опору пари сил ( $M_Q = G_1 l_k$ ) при коченні циліндра під дією зовнішнього рушійного моменту пари сил  $M_1 = M_Q$ . Таким чином, особливість кочення абсолютно твердих тіл полягає в тому, що в точці (лінії) контакту вищої кінематичної пари, повинна діяти сила опору руху циліндра, яка створюватиме момент сили опору коченню цього циліндра за відсутності плеча тертя кочення на поверхні основи враховуючи умову  $|v_1| \neq |v_n|$ . Очевидно, такою силою при відносному русі поверхні циліндра і основи може бути тільки сила зовнішнього тертя, плечем дії якої для створення моменту сил опору руху являється радіус циліндра [8].

Сила тертя ( $T$ ), за визначенням [1], - це "сила опору при відносному переміщенні одного тіла по поверхні іншого, під дією зовнішньої сили, тангенціально направленої до загальної межі між цими тілами":

$$T = fN = \int_{(S)} \tau(s) dS \quad (1)$$

де  $f$ - коефіцієнт тертя кочення;

$N$ - нормальна сила, що притискує тіла пари тертя один до одного;

$\tau(s)$ - питома сила тертя на поверхні тертя  $S$ .

Сила тертя (рівнодійна  $\tau(s)$ ), яка діє між тілами 1 - 2 пари тертя в одній і тій же точці простору  $K$  на поверхні тертя, є для тіл пари тертя внутрішньою силою

$$T = T_{1-2}^i \quad (2)$$

і не робить вплив на умови рівноваги зовнішніх сил (моментів сил) пари тертя 1-2. При цьому складові сили тертя  $T_{1-2}^i$ , які діють на тіло 1 з боку тіла 2 ( $T_{1-2}$ ) і на тіло 2 з боку тіла 1 ( $T_{2-1}$ ) визначаються згідно третього закону Ньютона

$$T_{21} = -T_{12} = |T_{1-2}| \quad (3)$$

і для кожного окремо взятого тіла 1 або 2 ці складові  $T_{12}$  або  $T_{21}$  є зовнішніми силами. У свою чергу силу тертя  $T_{12}$  можна представити:

$$T_{12} = T_{12} \frac{v_2}{v_1} + T_{12} \frac{v_1 - v_2}{v_1} = T_{12}^{(M)} + T_{12}^{(D)} \quad (4)$$

де -  $v_1$  і  $v_2$  - відповідно швидкості руху привідного тіла 1 і веденого тіла 2 пари тертя 1 - 2 ( $v_1 > v_2$ );

-  $T_{12}^{(M)}$  - механічна складова сили тертя  $T_{12}$ , що забезпечує опір переміщенню тілу 1 з боку тіла 2 при передачі механічної енергії з боку привідного тіла 1 веденому тілу 2;

-  $T_{12}^{(D)}$  - дисипативна складова сили тертя  $T_{12}$ , що забезпечує дисипацію частини механічної енергії при ковзанні привідного тіла 1 відносно веденого тіла 2.

При  $v_1 = v_2$  з рівняння (4) слідує

$$T_{12}^{(D)} = 0 \quad \text{і} \quad T_{12}^{(M)} = T_{12} = f^{(n)} N_1 \quad (5)$$

де -  $0 \leq f^{(n)} \leq f$  - коефіцієнт тертя спокою;

-  $N_1$ - нормальна сила, що діє на тіло 1, що притискує тіла пари тертя 1 - 2 один до одного.

При  $v_2 = 0$  з рівняння (4) виходить

$$T_{12}^{(M)} = 0 \quad \text{і} \quad T_{12}^{(D)} = T_{12} = f N_1 \quad (6)$$

Виходячи з приведених вище характеристик процесів зовнішнього тертя розглянемо процес кочення (руху) абсолютно твердого важкого циліндра 1 по абсолютно твердій горизонтальній поверхні 2 [8]. Умова такого руху визначатиметься системою рівнянь рівноваги сил і моментів сил в рухливій системі координат  $xOy$ , пов'язаною з віссю обертання циліндра  $O_1$

При складанні розрахункової схеми процесу кочення необхідно враховувати, що в кожен поточний момент часу  $t$  має місце ковзання тіла 1 відносно тіла 2 в точці  $K$  відсутнє, то в цій точці на тіло 1 з боку тіла 2 діє сила тертя спокою  $T_{12}^{(M)}$ . Згідно рівнянню  $\sum X = 0$ , цю

силу  $T_{12}^{(II)}$  може зрівноважити інша сила, якій для умови навантаження тіла 1 моментом сили  $M_1(t) = const = M_1$  може бути лише сила інерції  $Q_1^{(II)} = -m_1 a_1$ , що виникає при поступальному русі центру маси  $m_1$  тіла 1 з прискоренням  $a_1$ .

У свою чергу, прискорений поступальний рух тіла 1 при плоскопаралельному русі визначає обертання цього тіла відносно центру маси з кутовим прискоренням  $\varepsilon_1 = \frac{a_1}{R_1}$ , при

якому виникає момент сили інерції  $M_1^{(II)} = -\varepsilon_1 I_{O_1}$ ,

Зі збільшенням зовнішнього моменту  $M_1$  до величини  $M_{1max}$ , при якому в точці К відсутнє ковзання поверхні циліндра відносно основи, отримуємо

$$M_{1max} = \frac{3}{2} f_{max}^{(II)} G_1 R_1 = \frac{3}{2} f m_1 g R_1 \quad (7)$$

В цьому випадку на циліндр 1 діятиме максимальна величина сили тертя спокою, яка визначає граничні умови процесу кочення без ковзання і обумовлює максимальні значення повної сили реакції  $\bar{P}_{12}^{(II)max}$  при її повороті на кут  $\theta_{max}^{(II)}$ ; плеча сили реакції відносно осі обертання циліндра; сили інерції  $Q_{1max}^{(II)}$  і моменту сили інерції  $M_1^{(II)max}$  при поступальному русі циліндра з максимальним прискоренням  $a_{1max}$  і його обертання з кутовим прискоренням  $\varepsilon_{1max}$  в процесі кочення без ковзання.

Якщо до тіла 1 прикласти момент сил обертання, то кутове прискорення, яке визначає прискорений рух (ковзання) зовнішньої поверхні циліндра 1 по нерухомій основі 2, визначається рівнянням

$$\varepsilon_{1ck} = \frac{M_1 - M_{1max}}{I_{O_1}} = \varepsilon_1 - \varepsilon_{1max} \quad (8)$$

Відповідно прискорення поступального руху циліндра 1 (його центру обертання) при коченні з ковзанням буде дорівнювати

$$a_{1ck} = a_{1max} - \Delta a_{12} = (2\varepsilon_{1max} - \varepsilon_1) R_1 < a_{1max} \quad (9)$$

Є можливість визначити умову  $M_{1max} = 2f m_1 g R_1$  при якій настає буксування тіла 1, тобто обертання циліндра у відсутності поступального переміщення ( $v_{1ck} = 0$ ) по горизонтальній поверхні.

Аналіз отриманих рішень для різних умов кочення абсолютно твердого циліндра показує, що рух абсолютно твердого циліндра по абсолютно твердій горизонтальній основі в умовах сухого тертя за відсутності зовнішнього моменту потенційних сил опору руху обумовлений прискореним обертанням циліндра:

- при русі циліндра 1 по основі 2, має місце кочення циліндра без ковзання при поступальному переміщенні осі циліндра із швидкістю, що дорівнює лінійній швидкості зовнішньої поверхні циліндра (аналог поступального переміщення повзуна без тертя в поступальній кінематичній парі);

- при русі циліндра 1 по основі 2, має місце кочення циліндра при ковзанні;

- при русі циліндра 1 по основі 2, має місце процес буксування (ковзання циліндра по площині в зоні контакту без його поступального переміщення) - аналог обертання циліндра у втулці (плоский шарнір) при прагненні радіусу втулки до нескінченності.

#### Висновок.

Процес кочення абсолютно твердого циліндра по абсолютно твердій горизонтальній основі представляє процес:

- прискореного руху циліндра у вищій кінематичній парі, який може бути реалізований або у вигляді прискореного плоскопаралельного руху без ковзання при одній ступені рухливості кінематичної пари;
- прискореного плоскопаралельного руху з ковзанням при двох ступенях рухливості вищої кінематичної пари;
- прискореного обертання відносно нерухомої осі (буксування) при одній ступені рухливості вищої кінематичної пари

#### ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27674. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. – [Действует от 1988-03-31]. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 20 с.
2. Тимофеев Г.А. Теория механизмов и машин: курс лекций / Г.А.Тимофеев. - М.: Высшее образование, 2009. – 352 с.
3. Теория механизмов и машин: Учеб. пособие / [М.З. Коловский, А.Н. Евграфов, Ю.А. Семёнов, А.В. Слоущ].–3-е изд., испр. – М.: Издательский центр "Академия", 2008. — 560 с.
4. А.А. Романцев. К вопросу создания единой системы подвижных соединений // Теория механизмов и машин. 2012. №2(20). Том 10. С.72-76.
5. И.В. Добров. Физические основы процессов внешнего трения при решении задач прикладной механики // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2007. № 7. С.3–10.
7. В.А. Кохановский. Аксиоматика трения //Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. №11. С.46–48.
8. Зависимости коэффициента сцепления пары колесо—рельс от параметров контакта / И.А. Жаров, О.Г. Сааме, С.Б. Курцев, И.Н. Воронин // Трение и износ. 2002. Том 23. №6. С.611-618.

## **РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЗАКЛАДІ ДОШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ**

Андропова О.В., Курак В.В., Андрієнко А.М.  
Херсонський національний технічний університет

**Вступ.** Задовольнити енергетичні потреби споживачів в умовах нестачі паливних ресурсів можливо з використанням двох підходів. Перший з них полягає в підвищенні ефективності вироблення енергії за рахунок модернізації генеруючих потужностей, другий – у скороченні потреби в енергоносіях за рахунок впровадження на об'єктах споживання заходів з енергозбереження. Перший підхід пов'язаний з необхідністю залучення великого обсягу інвестицій в технічне переозброєння енергогенеруючих підприємств в масштабах всієї країни, в той час як другий підхід доволі часто може обмежуватись запровадженням організаційних заходів, спрямованих на енергозбереження, та порівняно невеликими капіталовкладеннями.

**Актуальність досліджень.** Питання енергозбереження та запровадження енергоощадних технологій є одним з пріоритетних завдань стратегії розвитку України, у зв'язку з чим протягом останнього часу розроблялись та впроваджувались заходи щодо скорочення енергоспоживання, оскільки їх реалізація є важливим чинником на шляху ефективного використання енергетичних ресурсів та економії коштів.

В Україні на енергопостачання будівель витрачається близько 40% паливно-енергетичних ресурсів [1]. При цьому є технічна можливість зменшення цих витрат більш, ніж на третину, що в умовах постійно зростаючих тарифів та браку фінансування комунальних потреб державних установ, зокрема закладів освіти, призведе до скорочення витрат державного та місцевого бюджетів.

**Постановка задачі.** Для досягнення максимального ефекту економії, вираженого як в натуральних, так і фінансових показниках, необхідно здійснити комплексний аналіз структури енергоспоживання об'єкту з виходом на конкретні заходи з енергозбереження. Початковим етапом на цьому шляху є енергетичне обстеження, що базується на зборі та систематизації інформації про структуру енергоспоживання об'єкту і дає змогу визначити клас енергоефективності об'єкту і відповідний потенціал енергозбереження.

В даній роботі на основі даних з енергетичного обстеження ясел-садку санаторного типу запропоновано можливі заходи зі зменшення енергоспоживання будівлі та проаналізовано ефективність їх впровадження.

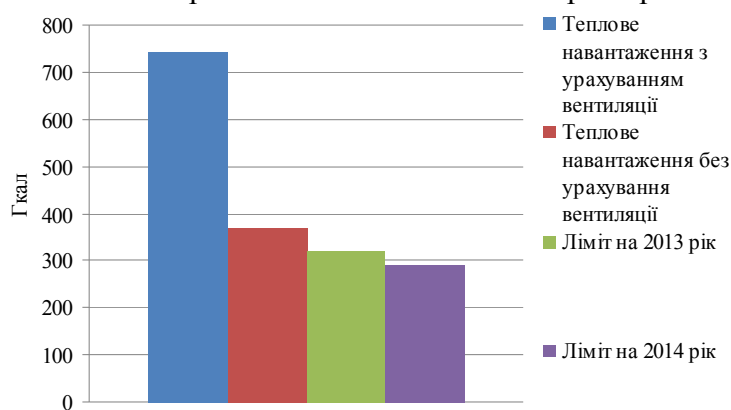
**Результати досліджень.** Під час енергетичного аудиту здійснювалось обстеження зовнішніх огорожувальних конструкцій, систем опалення, вентиляції, електропостачання та освітлення будівлі, збір та аналіз звітних даних з енергоспоживання.

Будівля ясел-садка двоповерхова, проект типовий, розташування в забудові – окреме. Рік будівництва 1978 рік. Загальна висота будівлі складає 9,8 м. Заклад розрахований на 180 дітей та 45 осіб персоналу, відвідують 217 дітей. В ході проведення зовнішнього огляду та обміру геометричних розмірів будівлі встановлено відсутність об'ємно-планувальних та конструктивних змін у будівлі порівняно з проектом.

Визначення енергоспоживання будівлею ясел-садка проводилось за даними приладів обліку та розрахунковим методом згідно [2, 3].

Комунальні платежі за 2014 рік становлять 338 431 грн. Найбільше коштів витрачається на опалення будівлі і складає 241 797 грн/рік (71,5%), 24,6 % - сплата за електроенергію та 3,9% - платежі за воду. Отже, енергозберігаючі заходи зі зменшення споживання теплової енергії дадуть найбільший економічний ефект.

Розрахунок енергоспоживання будівлі проводився з урахуванням забезпеченості нормованої кратності повітрообміну. За таких умов навантаження опалення становить 741 Гкал (106 кВт·год/м<sup>3</sup>), що відповідає класу енергоефективності F. Якщо враховувати недотримання кратності повітрообміну в будівлі, то теплоспоживання становить 370 Гкал. За 2013 та 2014 рік сплачено споживання в розмірі 319 та 290 Гкал (рис. 1).



Тобто при існуючому рівні теплозабезпечення в приміщеннях дитячого садку спостерігається недотоп, що призводить, по-перше, до використання електронагрівальних приладів для підвищення теплового комфорту в приміщенні, а, по-друге, до навмисного зменшення кратності повітрообміну, тобто до недотримання санітарно-гігієнічних вимог.

Рисунок 1 – Споживання теплової енергії

Запропонована низка заходів з теплотехнічної санації будівлі та розраховано їх простий період окупності. До першочергових заходів з терміном окупності 1-2 роки відносяться встановлення тепловідбивної ізоляції між приладом опалення і стіною та встановлення системи вентиляції з рекуперацією тепла. До середньовитратних з терміном окупності від 2 до 5 років відносяться теплоізоляція фасаду будівлі та заміна дверей. Енергозберігаючі заходи з теплоізоляції покрівлі, перекриття над техпідпіллям та заміна вікон на енергоефективні є довгостроковими з періодом окупності відповідно 7, 10 та 13,5 років. В цілому енергозберігаючий проект потребує 2,7 млн. грн. і окупиться за 5,7 років. Впровадження запропонованих заходів дозволить скоротити теплове навантаження будівлі до 150 Гкал (23 кВт·год/м<sup>3</sup>) та підвищити клас енергоефективності з F до B.

**Висновки.** Енергетичне обстеження ясел – садку санаторного типу показало, що будівля має найнижчий клас енергоефективності F. 71,5 % платежів за комунальні послуги складають платежі за опалення, отже, енергозберігаючі заходи зі зменшення споживання теплової енергії дадуть найбільший економічний ефект.

Рекомендовано провести теплотехнічну санацію будівлі шляхом теплоізоляції покрівлі, покриттів над техпідпіллям та фасаду будівлі; заміни вікон на енергоефективні; встановлення тепловідбивної ізоляції між опалювальним приладом і стіною; встановлення рекуперативної припливно-витяжної вентиляції; заміни дверей.

Реалізація запропонованих заходів дозволить знизити споживання тепла будівлею до 150 Гкал, потребує сумарно 2,7 млн. грн. та має період окупності 5,7 років.



#### ЛІТЕРАТУРА

1. Енергозбереження в Україні [Електронний ресурс] (16.03.2015). - Режим доступу: [www.ukraine-rada.gov.ua/misto/energo](http://www.ukraine-rada.gov.ua/misto/energo) – Назва з екрану.
2. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2006. – [Чинні від 01–04–2007] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 65 с.
3. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції: – ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. – [Чинний від 01–07–2008] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2008. – 42 с.

### **АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГРАМНОЇ ТОЧНІСНОЇ АТЕСТАЦІЇ РОБОЧИХ ЗОН ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ**

Сазонов А.Ю., Черепанська І.Ю.  
Житомирський державний технологічний університет

Необхідною умовою успішного розвитку вітчизняної промисловості та забезпечення її конкурентоздатності на європейському ринку є необхідність підвищення ефективності виробництва шляхом використання гнучких інтегрованих систем (ГІС) в яких інтегроване різне технологічне обладнання (ТО), засоби автоматизації, зокрема промислові роботи (ПР). Використання множини складових ГІС та забезпечення їх узгодженого функціонування вимагає підвищення рівня автоматизації наукових досліджень, проектування та технологічної підготовки виробництва з обов'язковим врахуванням точнісних характеристик ПР як ключових елементів ГІС.

Вказане забезпечується шляхом створення та впровадження програмних засобів підготовки прийняття технологічних рішень при проектуванні виробництва, що ґрунтуються на алгоритмічному забезпеченні точнісної атестації робочих зон (РЗ) ПР та застосуванні інформаційно-комп'ютерних технологій, орієнтованих на автоматизацію процесу синтезу ГІС.

Узагальнений алгоритм програмної точнісної атестації РЗ ПР відповідає розробленій раніше методиці проведення програмної точнісної атестації РЗ ПР. Блок-схема алгоритму наведена на рис. 1.

Алгоритм програмної точнісної атестації РЗ ПР є основою проведення точнісної атестації, яка виконується на етапі технологічної підготовки ГІС. Метою точнісної атестації є визначення можливих похибок позиціонування ПР у заданій системою керування точці їх РЗ та подальшого надання рекомендацій щодо застосування можливих методів підвищення точності позиціонування і зменшення часових та економічних витрат, що мають місце при проведенні апаратної атестації РЗ ПР, шляхом використання програмних засобів обчислювальної техніки.

Алгоритм програмної точнісної атестації РЗ ПР є багатоітераційним і виконується в три етапи.

Для опису кінематичних особливостей та точнісних характеристик маніпуляційних систем (МС) ПР використовується розроблена раніше кватерніонна точнісна модель МС ПР, що відтворює ітераційність переміщень кінцевої ланки, якою є схват (Сх) ПР, в певну  $i$ -ту точку його РЗ. Вказана ітераційність обумовлюється випадковою величиною похибок позиціонування СхПР  $i$ , відповідно, вимагає їх статичної оцінки з використанням методів математичної статистики та теорії імовірності.

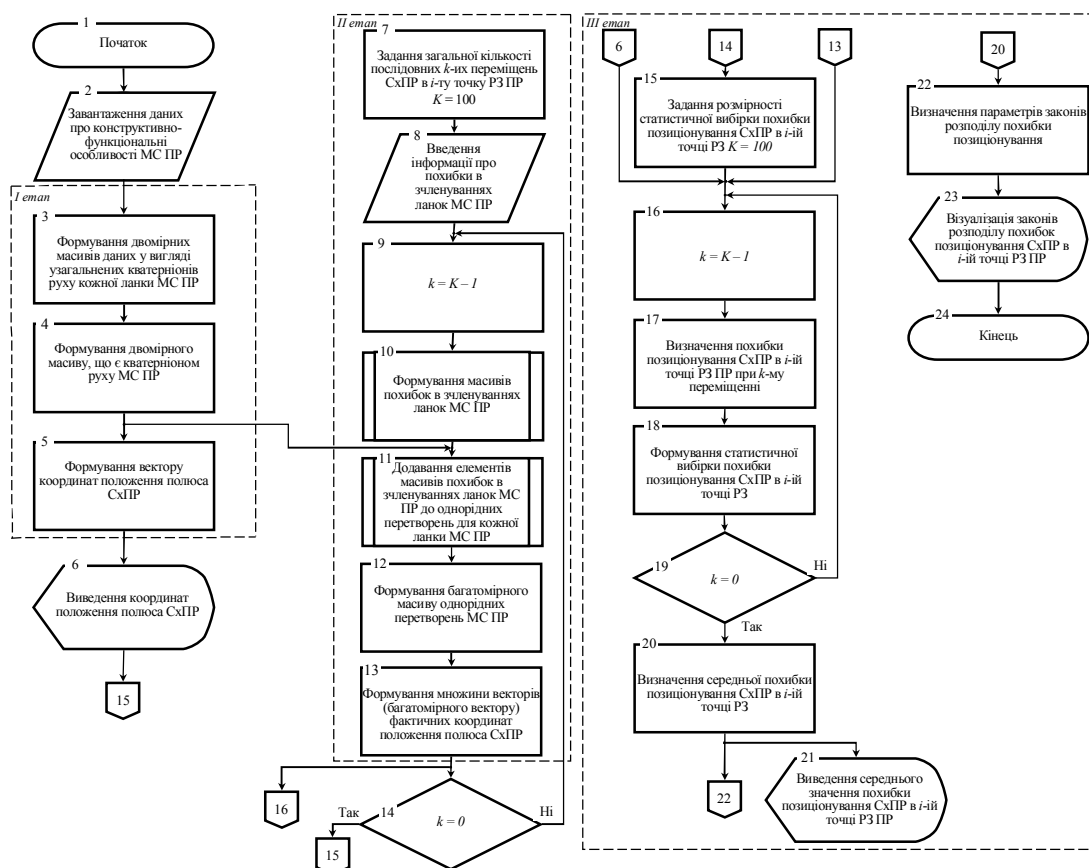


Рисунок 1 – Узагальнена блок-схема алгоритму програмної точнісної атестації РЗ ПР

Робота алгоритму починається із завантаження вхідної інформації (блок 2) про конструктивні особливості МС ПР (геометричні розміри, величини та напрями взаємних переміщень ланок МС ПР). Далі вирішуються задачі I етапу розробленої раніше методики проведення програмної точнісної атестації РЗ ПР – формування кінематичної моделі МС ПР. Для цього здійснюється формування масивів однорідних перетворень, що представляються у вигляді узагальнених кватерніонів рухів МС ПР і дозволяють виявити геометричний зв'язок між локальною системою координат  $l$ -ої ланки та зв'язаною системою координат  $(l-1)$ -ої ланки (блок 3). Блок 4 виконує формування двомірного масиву узагальненого кватерніону руху МС ПР при переміщенні із  $i$ -ої в  $(i-1)$ -шу точку РЗ. В результаті виконання операцій в блоці 5 формується вектор координат положення СхПР в  $i$ -ій точці РЗ, заданих системою керування ПР. Отримані на I етапі результати виводяться (блок 6), наприклад, на екран монітора комп'ютера.

На II етапі розробленої методики, в блоці 8 вводяться значення похибок в зчленуваннях ланок МС ПР, що утворюють собою масив значень похибок об'ємом  $K$  для кожного зчленування. В блоці 9 задаються параметри циклу (лічильник об'єму  $K$  вибірки) для подальшого формування масивів похибок в зчленуваннях ланок (блок 10) та, використовуючи кватерніони руху ланок (блок 4), що містять інформацію про вид та величини рухів, виконується формування багатомірних масивів однорідних перетворень (блок 12). Вказані масиви використовуються для моделювання позиціонування СхПР в  $i$ -ій точці РЗ, результатом якого є формування багатомірного вектору фактичних координат положення полюса СхПР (блок 13). Вказані операції виконуються  $K$  раз до  $k = 0$  (блок 14).

На III етапі, при  $k = 0$  (блок 19) виконуються статистичні дослідження для кожного елемента масивів похибок (блок 15). В блоці 17 визначається величина похибки позиціонування СхПР в  $i$ -ій точці РЗ при кожному  $k$ -му переміщенні Сх з подальшим формуванням статистичної вибірки похибок позиціонування СхПР в  $i$ -ій точці РЗ (блок 18). За вказаною статистичною вибіркою визначаються середні значення величини похибок для  $i$ -ої точки РЗ при  $K$  переміщеннях СхПР (блок 20). Візуалізація проміжних результатів програмної точнісної атестації виконується в

блоці 21. Блок 22 реалізує визначення параметрів закону розподілу похибок позиціонування СхПР з подальшою їх графічною візуалізацією в блоці 23.

Використання запропонованого алгоритму програмної точнісної атестації при виконанні задач технологічної підготовки виробництва та проектуванні ГІС забезпечує підвищення ефективності виконання проектних процедур шляхом зменшення часу проектування, підвищення обґрунтованості прийнятих рішень при вирішенні задач керування точністю позиціонування ПР на етапі синтезу ГІС. Наведене алгоритмічне забезпечення може бути покладено в основу при розробці програмних продуктів, що забезпечують вирішення комплексу задач технологічної підготовки виробництва на етапі синтезу ГІС.

## ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Літвінова М.Б., Селіверстова С.Р., Штанько О.Д.

Херсонська філія Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова

**Вступ.** Сучасна енергетична безпека держави – це розвиток нетрадиційних, зокрема, відновлюваних джерел енергії. Тому вирішення проблеми енергетичної безпеки через підвищення значення альтернативної енергії є ключовим питанням як науки, так і економіки.

Термоелектрика є перспективним науково-технічним напрямком, який заснований на використанні прямого, безмашинного перетворення теплової енергії в електричну. Найбільш перспективним застосуванням термоелектрики із наслідками для «зелених технологій», безсумнівно, є рекуперация теплових втрат, зокрема автомобільного транспорту й інших відходів для повторного їх застосування (перетворення в електричну енергію) з метою економії палива та зменшення викидів парникових газів [1]. Тому *метою роботи* є розробка термоелектричного генератора (ТЕГ), який повністю замінює електромеханічний і здійснює ефективну переробку надлишкової енергії, що викидається у повітря.

**Розрахунок термоелектричного генератора.** Прототипом секційного термоелектрогенератора можуть служити термоелектричні генератори, що вже існують. Прикладом є ТЕГ на основі енергії відпрацьованих газів корпорації Hi-Z [2]. Його недолік - великий об'єм проходження робочого газу. А при джерелі з малим вихідним перерізом це приводить до автоматичного зниження температури робочого газу і, як результат, до невисокого ККД генератора додаються втрати на розширення газу. У малих розмірах єдиним технологічним рішенням для такого генератора є заповнення робочого об'єму чим-то корисним, наприклад, рядами теплових трубок, які встановлюються поперечно. При низькій швидкості плинущу газу це поліпшує теплопередачу ТЕМ. Однак установка такого генератора на колектор неможлива через необхідність дотримання динамічних вимог до колектора.

Тому необхідно враховувати наступне: по-перше, малі габарити трубопроводів і близькість їхнього розташування друг до друга обмежують площу теплопередачі; по-друге, при розробці ТЕГ неможна погіршити динамічний рух вихлопного газу; по-третє, при зупинці двигуна вихлопна система нагрівається до високої температури.

Радіатор розраховується окремо на максимальну потужність термоелектричного модуля (ТЕМ). Він повинен при цьому забезпечити температуру не вище 50°C (рекомендується для модуля за паспортними даними) охолоджуваної поверхні ТЕМ.

Для розрахунку основних параметрів секції ТЕГ запропонована спрощена фізична модель, наведена на рисунку 1. Вона складається із джерела тепла – відпрацьованого газу, термоелектричного модуля, гарячого і холодного радіаторів для відводу тепла шляхом примусової продувки повітрям.

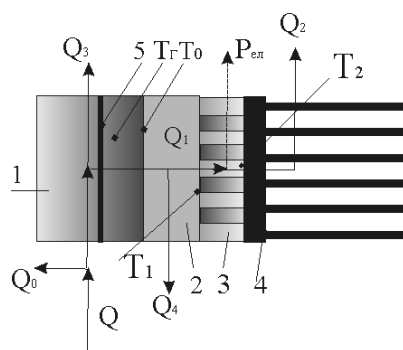


Рисунок 1. Фізична модель термогенератора:

1 – джерело тепла; 2 – гарячий теплообмінник (радіатор); 3 – термоелектрична модуль;  
4 – холодний теплообмінник (радіатор); 5 - полий тонкий циліндр.

Рівняння теплового балансу для даної моделі:  $Q = Q_0 + Q_1 + Q_3$ , і  $Q_1 - Q_4 = P + Q_2$ , де  $Q_0$  – втрати теплової потужності на елементах джерела тепла;  $Q_1$  – теплова потужність, що надходить від гарячих газів до гарячого радіатора ТЕГ конвективним шляхом і випромінюванням від тонкого циліндра площею в два рази меншою за внутрішню площу труби;  $Q_2$  – теплова потужність, що відводиться від холодної сторони ТЕМ у навколишнє середовище шляхом примусового обдування;  $Q_3$  – теплова потужність, що відводиться в навколишнє середовище із продуктами реакції горіння;  $Q_4$  – втрати теплової потужності на елементах конструкції гарячого радіатора;  $P$  – електрична потужність ТЕМ.

Секція термоелектричного генератора встановлюється на одному із трубопроводів колектора. Рух вихлопних газів відбувається при виштовхуванні їх із циліндра. При цьому заповнюється трубопровід на об'єм циліндра з урахуванням зменшення тиску. Вихлопний газ що залишився, перебуває у трубопроводі до чергового упорскування газів. З деяким наближенням можна уважати процес майже стаціонарним. При цьому енергія остигання газу практично, за мінусом втрат на витоки енергії через ізоляцію, іде через стінки теплообмінника. ККД такого процесу буде дорівнювати:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1)$$

де  $T_1$  – температура газу, що вийшов із циліндра;  $T_2$  – температура газу, що вийшов із секції термоелектричного генератора.

Температуру  $T_2$  можна визначити виходячи із втрат енергії теплопередачі через стінку теплообмінника. Знаючи розподіл потужності залежно від частоти обертання двигуна і витрат на пересування можна визначити потужність, що проходить через теплообмінник. Але це достатньо грубе наближення. Розрахунок параметрів ТЕГ, проведено з урахуванням величин теплових потоків, які необхідно підвести до термоелектричних модулів і які забезпечують оптимальний режим роботи генератора. Для проведення комп'ютерного розрахунку використана прикладна програма Mathematica\_8.0.1\_WIN.iso [3].

Вихідними даними для розрахунку є: діаметр труби  $D = 12$  см, вхідна температура газу  $800^\circ\text{C}$ , товщина стінки труби  $d$ . Математична модель за цими параметрами складається відповідно до рисунка 2. Представимо якийсь елементарний об'єм газу товщиною  $dx$ , що рухається уздовж труби. По мірі проходження він віддає частину енергії й остигає. На початку труби температура дорівнює  $T_n$ . Наприкінці –  $T_k$ .

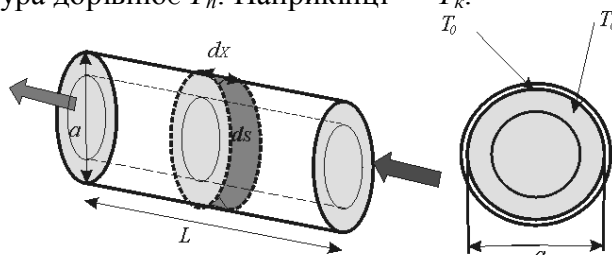


Рисунок 2. Графічна модель процесу обміну

Теплова потужність, що надходить на площадку відповідно до рис. 2:

$$\delta Q = \left[ \frac{1}{2} \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) + \alpha (T - T_0) \right] \delta S \quad (2)$$

де:  $\varepsilon$  – коефіцієнт сірості матеріалу стінки (сталь покрита шаром сажі);  $\sigma$  – коефіцієнт Стефана-Больцмана;  $\alpha$  – коефіцієнт теплопередачі дим – сталь.

Теплова потужність, що пройшла через ділянку  $\delta l$  площею  $\delta S$  стінки внутрішнього корпуса, визначається її теплопровідністю  $\lambda_m$ , градієнтом температури стінки генератора (він дорівнює різниці зовнішньої  $T_p$  і внутрішньої  $T_0$  температур поділеної на товщину  $L$ ), і площею стінки  $\delta S$ :

$$\delta Q = \lambda \frac{T_0 - T_p}{L} \delta S \quad (3)$$

Дорівнявши  $\delta Q$  з виразів (2) і (3), маємо рівняння щодо температури стінки генератора, що нагрівається і обумовлює електричну потужність ТЕМ:

$$P(T) = \lambda \frac{T_0 - T_p}{L} = \frac{1}{2} \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) + \alpha (T - T_0) \quad (4)$$

Запишемо вираз для елементарного об'єму газу:

$$\frac{dU}{dT} = Q \quad \text{або} \quad C_p V \frac{dT}{dt} = P(T) dS \quad (5)$$

де:  $V$  – елементарний об'єм, рівний:  $V = a^2 dx$ ;  $a$  – довжина сторони квадратного перерізу внутрішньої поверхні генератора (рис.4);  $U$  – внутрішня енергія газу зазначеного об'єму;  $C_p$  – теплоємність при сталому тиску;  $dS$  – поверхня по периметру вказаного об'єму, яка складає

$$dS = 4a \cdot dx \quad (6)$$

Із (5) і (6) маємо:

$$C_p a^2 dx \frac{dT}{dt} = P(T) \cdot 4a dx \quad (7)$$

Якщо позначимо  $v = dx/dt$  як швидкість руху випускного газу, то з (7) знаходимо

$$dx = C_p a v \frac{dT}{P(T)} \quad (8)$$

На основі (6) і (8) одержимо:

$$S = 4ax = C_p a^2 v \int_{T_n}^{T_k} \frac{dT}{P(T)} \quad (9)$$

Разом із цим, різниця енергій газу, що ввійшов у генератор і вийшов з нього за одиницю часу – це інтегральна потужність, яка залишена газом генератору. Звідси:

$$P(T_k) = \frac{C_p dV(T_n - T_k)}{dt} = C_p \frac{a^2 dx}{dt} (T_n - T_k) = C_p a^2 v (T_n - T_k) \quad (10)$$

Розв'язав рівняння, одержуємо з виразу (15) значення  $S(T_k)$ , а з виразу (10) – значення  $P(T_k)$ . Це надає можливість побудувати графік залежності  $P(S)$  (рис.3).

Така методика ураховує форму вихлопної труби. Тому переріз можна обрати квадратним. Єдина вимога: не збільшувати об'єм труби, оскільки у ізобаричному процесі розширення можна одержати зниження температури газу. Площа поперечного перерізу протока газів не повинна бути менш, ніж такий самий переріз колектора (як зазначено раніше, діаметр  $D=13$  см). Обраний переріз має квадратну форму. За розрахунком сторона квадрата складає:  $a = \sqrt{\pi} \cdot \frac{D}{2} = 1.77 \frac{13}{2} = 11.5 \text{ см}$ . Тоді периметр дорівнюватиме:  $\Pi = 0.46 \text{ м}$ .

Відповідно до графіка (рис.3), найбільш інтенсивна віддача енергії відбувається при площі контакту з газом до  $0.1 \text{ м}^2$ . А це буде забезпечено при довжині:  $L = S/\Pi \approx 20 \text{ см}$ . Потужність відводу теплової енергії від газу в кожному із чотирьох трубопроводів, складе  $Q_4 \approx 700 \text{ Вт}$ , а вихідна температура газу -  $T_k \approx 650^\circ\text{C}$ . Тоді сумарна енергія може скласти  $Q_4 \approx$

700 Вт·4 = 2.8 кВт. Із цього витікає, що необхідно ділити генератор на секції по 20 см. Трубу між секціями необхідно розділити і секції теплоізулювати друг від друга.

Варто звернути увагу на те, що каталізатор має робочу температуру, рівну 500°C. Друга секція буде мати вхідну температуру газу рівну вихідній від першої секції. Тому установку другої секції потрібно проводити після каталізатора. З урахуванням ефективності обраних термоелектричних модулів АЛТЕК 1024 при температурі гарячої стінки 650°C (рис. 4),  $\eta_{ТЕМ} = 10\%$  потужність енергії, яка буде вироблятися перетворювачем може скласти  $P = \eta_{ТЕМ} \cdot Q_4 = 10\% \cdot 2.8 \text{ кВт} = 280 \text{ Вт}$ .

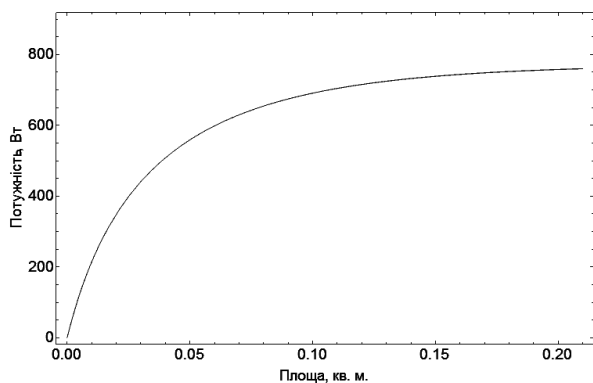


Рис. 3. Залежність потужності відбору теплової енергії від площі внутрішньої поверхні генератора

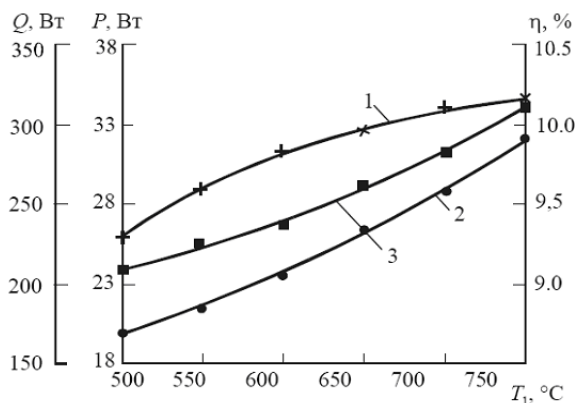


Рис. 4. Вихідні характеристики Алтек 1024 ( $T_c = 50^\circ\text{C}$ ):

1 – для ККД, 2 – для електричної потужності; 3 – для теплового потоку

Це потребує встановлення вказаних модулів у кількості 8 шт. Відповідна напруга при послідовному з'єднанні модулів і робочому струмі  $I=15\text{A}$  складе  $U_{вих} = U_{мод} \cdot 8 = 2.2\text{В} \cdot 8 = 17.6\text{В}$ .

**Висновки.** Таким чином, розроблено термоелектричний пристрій для перетворення теплової енергії вихлопних газів двигуна внутрішнього згорання об'ємом циліндрів більш 1.5 л потужністю до 300 Вт з метою заміни електромеханічного генератора. Здійснено відповідний тепловий та електричний розрахунки. Рекуперація цієї енергії до механічного руху автомобіля можливо якщо установити допоміжний електричний двигун замість електромеханічного генератора. Практичною значимістю отриманих результатів є створення термоелектричного генератора, що встановлюється на вихлопну трубу автомобіля, спрощує його обслуговування і зменшує витрату палива і може використовуватися для любых типів автомобілів з відповідним типом двигуна.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Городов Р.В., Губин В.Е., Матвеев В.Е. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, – Томск: Из-во Томского политехнического университета, 2009 – 294с.
2. dorov M.I., Engalychev A.E., Zaitsev V.K., Kaliazin A.E., Solomkin F.Yu.: Proc. of the XIII International Conference on Thermoelectric Energy Conversion. USA, Kansas. City, 1994. P. 324-327.
3. П. Шостаковский. Разработка термоэлектрических систем охлаждения и термостатирования с помощью компьютерной программы KRYOTHERM: Компоненты и технологии, № 9, 2010, С.113-120.

## **ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТНИХ РОЗРАХУНКІВ МЕХАТРОННИХ ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ ПРИВОДІВ**

Струтинський С.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Просторові системи приводів є основою різноманітного технологічного обладнання, зокрема маніпуляторів, промислових роботів, металообробного обладнання та інших. Просторові системи системи приводів являють собою багатоланкові просторові механізми із жорсткими або деформованими ланками, які мають шарнірні, пружно-деформовані шарнірні з'єднання або пластично-деформовані з'єднання. Просторові системи приводів відрізняються складними кінематичними та динамічними характеристиками, які мають ряд особливостей і в даний час вивчені недостатньо. Наявна крупна науково-технічна проблема створення теоретичних основ проектних розрахунків мехатронних просторових систем приводів. Дана проблема має важливе значення для розробки і впровадження прогресивного технологічного обладнання.

На даний час існує ряд окремих методів і методик проектних розрахунків просторових систем приводів. Основними з них є методи розв'язку прямої та зворотної задачі кінематики з використанням матрично-векторних співвідношень, що описують просторові повороти елементів кінематичних ланцюгів. Недоліком даних методів є складність врахування факторів деформативності елементів, нелінійних характеристик спряжень, зокрема, люфтів і зазорів у шарнірних з'єднаннях системи приводів.

Запропоновано методи розрахунку на основі матриць Якобі, складених для типових просторових механізмів. В якості таких механізмів вибрані просторові механізми тетраедрального та октаедричного виду. Даний метод особливо ефективний для просторових приводів мікропереміщень. Застосування даного методу є основою встановлення можливих сингулярних положень просторової системи приводів. В окремих випадках для розрахунку геометрії і кінематики просторових систем приводів рекомендується використати спрощені розрахункові схеми просторових систем приводів у вигляді еквівалентних плоских механізмів, які є проєкціями просторових систем на деякі характерні осі або площини. В якості характерних вісей приймаються вісі симетрії системи приводів, лінії перетину площин, в яких розташовані два і більше приводи, миттєві вісі повороту при просторовому русі окремих елементів системи приводів. Характерними площинами є площина симетрії системи або перпендикулярна їй площина, площина розташування кількох приводів, площина, перпендикулярна миттєвій вісі обертання та інші особливі площини. Універсальними методами розрахунків просторових систем приводів можна вважати запропонований математичний апарат у вигляді просторових матриць, сформованих на основі методів Монте Карло. Відповідно даного методу формується набір випадкових положень просторової системи приводів із подальшою фільтрацією фізично нереальних співвідношень параметрів системи.

Мехатронні просторові системи приводів будуються на принципово новій елементній базі. Вона включає комплектні приводи та їх з'єднання. Поряд із традиційними лінійними і поворотними приводами типу пневмоциліндрів, запропоновано використати інші технічні рішення приводів. Це застосування сильфонних і шлангових пневмодвигунів (пневмом'язів) у різному конструктивному виконанні.

Основними складовими елементної бази просторової системи приводів є шарнірні вузли. Запропоновано ряд конструкцій сферичних шарнірів у тому числі безконтактні прецизійні регульовані аеростатичні та гідростатичні шарніри. Розроблено ряд оригінальних технічних рішень шарнірів підвищеної точності та демпфуючої здатності. Для реалізації прогресивних конструкцій шарнірів використані сучасні комп'ютерно інтегровані методи технології машинобудування, зокрема методи лазерної стереолітографії та методи формування деталей шарнірів із металополімерних композитів.

Нова елементна база має складні робочі процеси, які визначають характеристики розроблених пристроїв. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження гідродинамічних

процесів у шарнірах рідинного тертя. Встановлено розподіл гідродинамічних параметрів при течії рідкого середовища в шарнірах. Визначено траєкторії руху частинок рідини в зазорах, розподіл швидкостей та поля статичного тиску. Досліджено особливості вихроутворення, закономірності пристінних течій та течій в критичних областях контрольного об'єму рідини. Зокрема, визначено параметри течії в зазорах при наявності анізотропії властивостей робочих поверхонь шарнірів, виготовлених із застосуванням комп'ютерно-інтегрованих методів технології машинобудування. Встановлено, що наявність особливого мікропрофіля робочих поверхонь впливає на характеристики течії рідини. Запропоновано їх теоретичний опис тензорними величинами, зокрема тензорами гідравлічної провідності та тензором гідравлічного опору.

Розроблені і досліджені оригінальні конструкції магнітних шарнірів із феромагнітною рідиною. На основі розв'язку рівнянь магнітної гідродинаміки визначені особливості робочих процесів у магнітних сферичних шарнірах. Теоретичні результати підтверджені проведеними експериментальними дослідженнями. Визначено вплив індукції магнітного поля на розподіл швидкостей у феромагнітній рідині, що рухається в порожнинах шарнірів.

Проектні розрахунки мехатронних просторових систем приводів враховують особливості кінематичних та динамічних характеристик просторових систем приводів. Проведені теоретичні дослідження просторових, зокрема сферичних рухів у системах приводів. Розглянута взаємодія парціальних кінематичних та динамічних підсистем сферичного руху в просторових системах приводів. Теоретичні дослідження доповнені вимірами кінематичних та динамічних характеристик просторових систем приводів. Встановлено наявність ряду специфічних динамічних процесів у просторових системах приводів, це, зокрема, виникнення хвильових явищ, параметричних коливань та резонансів із просторовими модами. Запропоновані методи компенсації негативних наслідків окремих динамічних процесів і явищ. Для поліпшення динамічних характеристик просторових систем приводів в окремих випадках рекомендовано використати спеціально розроблені інерційні демпфери коливань пасивного та активного типу. Розроблені теоретичні основи проектних розрахунків послужили базою для подальшого розвитку наукових основ теорії проектування просторових систем приводів.

## **ОЦІНКА ВІДНОСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОЖЛИВИХ РІШЕНЬ**

Ткач В.О.

Херсонський національний технічний університет, Україна

**Вступ.** При обслуговуванні інтелектуальних систем управління необхідно враховувати, що вони повинні забезпечити автоматичне прийняття рішень на основі контекстного та ситуаційного аналізу об'єкта. Однак для ефективного управління необхідна велика кількість різних алгоритмів діяльності оператора, що приймає рішення, та при цьому необхідно враховувати, що більшу частину інформації він отримує візуально, а навантаження на оператора розподіляється нерівномірно.

Практика показує, що основні труднощі, що виникають при пошуку та виборі рішень, обумовлені, насамперед, недостатньо високою якістю та неповнотою наявної інформації, бо вона включає не тільки частини відображуваного зображення, а і величини, що не піддаються безпосередньому виміру, наприклад припущення про можливі рішення і їхні результати.

При виборі найкращого рішення ми нерідко стикаємося з багатозначністю узагальненого критерію, на основі якого можна зробити порівняння можливих рішень. Багатозначність, багатомірність і якісне розходження показників є серйозною перешкодою для одержання узагальненої оцінки відносної ефективності, важливості, цінності або корисності кожного з можливих рішень.

Структура розробки рішень залежить як від обсягу наявної інформації, так і від того, наскільки вся доступна інформація формалізована [1].



**Теоретичні дослідження.** Для розпізнавання об'єкти пред'являються як сукупність спостережень, яку записують у вигляді матриці:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{p1} & x_{p2} & \dots & x_{pn} \end{bmatrix}$$

Кожний стовпець  $\vec{x}_i = (x_{1i}, \dots, x_{pi})^T$ ,  $i = 1 \dots n$  матриці  $X$  являє собою  $p$ -мірний вектор спостережуваних значень  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , які є безрозмірними змінними. Сукупність значень повинна найбільшою мірою відображати ті властивості об'єктів, які важливі для класифікації. При цьому від розмірності  $p$  простору значень залежить обчислювальна складність процедур навчання та ухвалення рішення, вірогідність класифікації, витрати на вимір характеристик об'єктів.

Первiсний набір значень формується із числа доступних виміру характеристик об'єкта  $Y_1, \dots, Y_g$ , що відображають найбільш суттєві для класифікації властивості. На наступному етапі формується новий набір  $X_1, \dots, X_p$ ;  $p < g$ . Традиційні способи формування нових значень в умовах повного апріорного знання засновані на максимізації деякої функції  $J(Y_1, \dots, Y_g)$ , яку називають критерієм і звичайно розуміють як деяку відстань між класами, у просторі значень з координатами  $Y_1, \dots, Y_g$ . В інших випадках критерій  $J(Y_1, \dots, Y_g)$  виражає об'єм області, що займає клас у просторі значень, і нові значення формуються шляхом мінімізації критерію.

У теорії статистичних рішень всі види вирішальних правил для  $K \geq 2$  класів засновані на формуванні відношення правдоподібності  $L$  та його порівняння з певним порогом  $c$ , значення якого визначається обраним критерієм якості:

$$L = \frac{f_n(x_1, \dots, x_n | a_2)}{f_n(x_1, \dots, x_n | a_1)} \geq c, \quad (1)$$

де  $f_n(x_1, \dots, x_n | a_j)$  – умовна  $n$ -мірна щільність ймовірності вибірових значень  $x_1, \dots, x_n$  за умови їхньої приналежності до класу  $a_j$ . У статистичному розпізнаванні ці щільності, у принципі, невідомі, і в (1) підставляються їхні оцінки, одержувані в процесі навчання,  $\hat{f}_n(x_1, \dots, x_n | a_j)$ . Таким чином, у вирішальному правилі з порогом  $c$  порівнюється оцінка відносини правдоподібності  $\hat{L}$ .

Вирішальне правило при використанні байесовського критерію при  $K = 2$  має вигляд

$$L = \frac{f_n(x_1, \dots, x_n | a_2) \geq \frac{\Pi_{12} - \Pi_{11}}{\Pi_{21} - \Pi_{22}} \frac{P(a_1)}{P(a_2)}}{f_n(x_1, \dots, x_n | a_1) < \frac{\Pi_{12} - \Pi_{11}}{\Pi_{21} - \Pi_{22}} \frac{P(a_1)}{P(a_2)}}, \quad (2)$$

де  $\Pi = \begin{bmatrix} \Pi_{11} & \Pi_{12} \\ \Pi_{21} & \Pi_{22} \end{bmatrix}$  – матриця втрат, елемент  $\Pi_{kl}$  якої кількісно виражає втрати від ухваленого рішення на користь класу  $a_k$ , коли в дійсності вибірка належить класу  $a_l$ ;  $P(a_j)$  – апріорні ймовірності класів.

Критерій (2) мінімізує середній ризик

$$R = \sum_{k=1}^K P(a_k) \sum_{l=1}^K \Pi_{kl} P_{kl}, \quad (3)$$

де  $P_{kl}$  – ймовірність ухвалення рішення про приналежність вибірки класу  $a_k$ .

Визначимо для  $K \geq 2$  класів ймовірності помилкових рішень. Позначимо через  $\alpha_k$  ймовірність віднесення вибірки з  $n$  контрольних спостережень до кожного із класів  $a_1, a_2,$

...,  $a_{k-1}$ ,  $a_{k+1}$ , ...,  $a_k$ , відмінному від класу  $a_k$ , коли насправді вибірка ставиться саме до цього класу, а через  $\beta_k$  – ймовірність віднесення контрольної вибірки до класу  $a_k$ , коли вона йому не належить.

Віднесення вибірки не до того класу, до якого вона належить у дійсності – помилка 1-го роду. Віднесення вибірки до якого-небудь певного класу, до якого вона насправді не належить – помилка 2-го роду. При двох класах ( $K = 2$ ) виконуються очевидні рівності  $\alpha_1 = \beta_2$  й  $\alpha_2 = \beta_1$ , і ймовірності  $\alpha_1$  й  $\beta_1$  збігаються з ймовірностями помилок 1-го й 2-го роду [2,3].

Коли матриця втрат невідома або її важко задати чисельно, використовується критерій максимуму апостеріорної ймовірності, відповідно до якого спостереження  $x_n$  належить класу  $a_j$ , чия апостеріорна ймовірність перевищує апостеріорні ймовірності інших класів:

$$a = \begin{cases} a_2, \text{ якщо } L(x_n) \geq P(a_1)/P(a_2); \\ a_1, \text{ якщо } L(x_n) < P(a_1)/P(a_2). \end{cases} \quad (4)$$

При використанні критеріїв (2), (3) у вирішальне правило вводяться апріорні дані, але знання апріорних ймовірностей класів і функції втрат є в статистичному розпізнаванні скоріше виключенням, чим правилом. При відсутності апріорної інформації про ймовірності станів і втрати використовуються критерії Неймана-Пірсона, максимальної правдоподібності та ін.

Для  $K = 2$  вирішальне правило за критерієм Неймана-Пірсона має вигляд

$$a = \begin{cases} a_2, \text{ якщо } L(x_n) \geq c; \\ a_1, \text{ якщо } L(x_n) < c, \end{cases} \quad (5)$$

при цьому поріг  $c$  визначається таким чином, щоб ймовірність помилкового рішення  $P_{12}$  була не більше заданого значення  $\alpha$ :

$$P_{12} = \int_c^{\infty} f(L|a_1) dL \leq \alpha. \quad (6)$$

Використання критерію доцільно, якщо одну з ймовірностей помилок можна виділити як основну та зробити її рівну деякому необхідному значенню. Однак критерій несиметричний щодо ймовірностей помилок  $P_{12}$  і  $P_{21}$ , а при класифікації важливо забезпечити мінімальні або, принаймні, обмежені заданими межами обидві ймовірності помилкових рішень.

Критерій максимальної правдоподібності

$$a = \begin{cases} a_2, \text{ якщо } L(x_n) \geq 1; \\ a_1, \text{ якщо } L(x_n) < 1, \end{cases} \quad (7)$$

не вимагає знання апріорних ймовірностей класів і функції втрат, дозволяє оцінювати вірогідність рішень, узагальнюється на випадок багатьох класів, простий в обчисленнях. Тому критерій (7) широко застосовується в практичних завданнях розпізнавання образів.

На результат розпізнавання впливає як припущення про закон розподілу даних, так і обсяги контрольної та навчальної вибірок.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бешелев С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.

## **РЕГУЛЮВАННЯ РИЗИКУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ**

Коваленко І.В.

Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна

Вступ. Універсальним кількісним показником якості реалізації технологічних процесів і функціональних систем забезпечення якості може служити показник ризику, який визначається як частота або функція частоти гіпотетичних відхилень показників якості, що викликані порушеннями в ході технологічних процесів.

У словнику ЄОЯ (Європейська організація по якості) термінів, використовуваних в області загального управління якістю, ризик визначається як "сукупний фактор імовірності виникнення небажаної події і його наслідків". У найбільш загальній формі ризик – це частота (імовірність) небажаних наслідків у результаті настання певних подій. Під небажаною подією мається на увазі перевищення впливу випадкових факторів над адаптаційними здатностями системи або запізнюванням реакції на них. Таким чином, можна ввести поняття безпеки технологічних процесів відносно якості продукції.

Отже, і небезпека, і безпека систем визначаються безліччю функціональних властивостей і характером взаємозв'язків між ними в цей момент часу [1].

Постановка задачі. Завдання забезпечення безпеки функціонування систем зводиться до зменшення ризику до деякої межі, тобто зведенню до мінімуму можливості виникнення ситуацій, що негативно впливають на якість.

Результати досліджень. Введений показник безпеки носить імовірнісний характер і обчислюється з використанням статистичних методів. Застосування показників ризику і нова концепція "прийнятного ризику" викликали низку питань технічного та економічного характеру. У зв'язку із цим керівництво ІСО/МЕК 51 "Керівні положення по включенню аспектів безпеки в стандарти" у такий спосіб визначає принципи завдання вимог безпеки шляхом нормування ризику:

- з підвищенням технічної складності продукції зростає роль безпеки;
- абсолютна безпека не може бути забезпечена, об'єкт може бути тільки відносно безпечним;
- вимоги до рівня безпеки формуються на основі прийнятного ризику, пов'язані із соціально-економічним станом суспільства і є похідними цього стану;
- визначення ризику здійснюється шляхом виявлення різних факторів, що впливають на безпеку і їх кількісної оцінки.

Оптимальні норми безпеки, засновані на прийнятності для підприємств певних значень ризику, визначаються декількома факторами [2]:

- індивідуальне відношення до управління ризиком;
- можливі масштаби наслідків;
- звичність ризику;
- розподіл ризику.

Облік цих аспектів при нормуванні ризиків є складною функцією економічних, соціальних, технічних і інших аргументів [3].

Висновки. Таким чином, для технологічних систем індукційного нагріву, що проектуються можна рекомендувати наступні аспекти регулювання ризику:

- ризик не повинен перевищувати рівня, досягнутого для індукційно-нагрівальних установок;
- ризик повинен бути знижений настільки, наскільки це практично досяжне в рамках обмежень (насамперед економічних);
- не повинне бути складових ризику, що різко перевищують інші (аналог принципу рівної надійності, використовуваному при забезпеченні надійності виробів).

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ EN 614-2001 Безпечність машин. Основні поняття, загальні принципи проектування. Частина 1. Основна термінологія, методологія (EN 292-1:1991, IDT).
2. Красных Б.А., Сахарова Г.К., Смирнов В.Н. Об общесистемных правилах и процедурах сертификации в области потенциально опасных промышленных производств, объектов и работ // Стандарты и качество. –1996. – №3.
3. Слесарев М. Контроль качества и безопасности. Термины и документы. //Контроль. Диагностика. – 1999. – № 11. – С. 27 –33.

## АНАЛИЗ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПОРОШКА В ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФРАКЦИОННОГО ДИАПАЗОНА

Черный А.В., Фурман В.К., Смирнов И.В. Андрейцев А.Ю.

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический университет"

Государственный экономико-технологический университет транспорта

### Введение

В современных технологиях плазменного напыления в большинстве случаев отсутствует возможность оперативного контроля скорости и температуры напыляемых частиц порошка, что затрудняет обеспечение требуемого качества покрытий.

Как правило отработка процесса напыления осуществляется путем постановки ограниченного набора технологических экспериментов на конкретном оборудовании с использованием порошков определенного фракционного состава с последующим исследованием свойств напыленных покрытий. В основном используется фракция порошка в достаточно узком диапазоне 40–63 мкм, однако в ряде случаев приходится работать с порошками гораздо меньшего размера. До настоящего времени отсутствует какая-либо физически обоснованная и практически апробированная модель, позволяющая с единых позиций подойти к определению скорости и температуры частиц порошка в процессе полета в плазменной струе.

Большинство ученых для решения данной проблемы используют численные методы и компьютерное проектирование [1-3]. В работе [2] проводились расчеты по определению скорости и температуры для частицы SiO<sub>2</sub> диаметром 60 мкм. В [3] размеры напыляемых частиц никеля варьировались в диапазоне 20–40 мкм с шагом дискретизации 2 мкм при постоянной скорости напыления 120 м/с. В результате компьютерного моделирования определялись такие свойства покрытий как пористость, шероховатость, адгезионная и когезионная прочность. При этом, как пишут авторы, для проведения полномасштабного компьютерного эксперимента понадобится большое количество машинного времени.

Основу исследований данной работы представляют аналитические зависимости, позволяющие при использовании обычных компьютерных математических пакетов оценить температурно-скоростные параметры частиц при плазменном напылении, а также их адекватность в зависимости от фракционного состава порошка.

Цель исследования заключалась в определении диапазона применимости различных математических моделей для определения скорости частиц порошков в установленном размерном диапазоне при плазменном напылении.

### Основная часть

Движение частиц в струе газа описывается уравнением

$$m_p W_p \frac{dW_p}{dZ} = \sum F_i(W_p) \quad (1)$$

где  $F_i$  – силы, действующие на частицу;  $m_p$  и  $W_p$  – масса и скорость частицы соответственно. Наибольшее влияние на изменение скорости частицы оказывает сила аэродинамического сопротивления

$$F_a = 0,5C_D S_p \rho_g (W_g - W_p) |W_g - W_p| \quad (2)$$

где  $C_D$  – коэффициент аэродинамического сопротивления;  $S_p$  – площадь среднего сечения частицы;  $\rho_g$  и  $W_g$  – плотность и скорость газа соответственно. Действием остальных сил пренебрегаем, считая их влияние несущественным.

В [4] было показано, что скорость квазиламинарной ненагруженной плазменной струи может быть аппроксимирована экспоненциальной функцией  $W_g = B \exp(-AZ)$ , где коэффициенты  $A$  и  $B$  зависят от используемого плазмообразующего газа, его расхода и конструкторско-технологических параметров плазматрона. Там же были получены неявные решения уравнения (1), (2) на участке разгона:

$$Z = \frac{1}{2(D+A)} \ln \left| U^2 - \frac{2D}{D+A} U + \frac{D}{D+A} \right| + \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{A}(D+A)} \operatorname{arctg} \frac{(D+A)U - D}{\sqrt{AD}} + C \quad (3)$$

и на участке торможения:

$$Z = -\frac{1}{2(D-A)} \ln \left| U^2 - \frac{2DU}{D-A} + \frac{D}{D-A} \right| - \frac{\sqrt{D}}{2\sqrt{A}(D-A)} \ln \left| \frac{(D-A)U - D - \sqrt{DA}}{(D-A)U - D + \sqrt{DA}} \right| + C \quad (4)$$

Здесь  $U = B^{-1} \exp(AZ)W_p$ . На участке разгона  $U \in [0;1]$ , а на участке торможения  $U > 1$ ,  $C$  определяется из начальных условий.

Решения (3), (4) получены в предположении, что  $B = \text{const}$ . Однако, если потерей массы частицы и изменением ее диаметра можно пренебречь, то коэффициент аэродинамического сопротивления существенно меняется вдоль дистанции напыления.

В связи с этим, предложено разбить дистанцию напыления на небольшие отрезки, в пределах которых можно считать  $C_D$  постоянным.

Поскольку в начале дистанции напыления ( $Z=0$ ) все данные известны, то из (3) при  $Z=Z_1$  определяем  $W_p(Z_1)$  и рассчитываем значение коэффициента  $D1$  для следующего участка. Поступая аналогично, поэтапно достигаем значения  $Z_i$ , для которого  $U(Z_i)=1$  (начала участка торможения). После чего, для определения  $W_p(Z)$  используем (4), разбивая на несколько отрезков участок торможения.

При анализе движения полидисперсных частиц в струе высокотемпературного и высокоскоростного газа, важной проблемой является разделение их по скоростям при соударении с поверхностью подложки, перед которой, образуется приграничный сжатый слой газа, толщиной  $\Delta l$ . Крупные частицы не испытывают существенного сопротивления в этом слое и беспрепятственно долетают до поверхности. Мелкие частицы, диаметр которых составляет единицы и доли микрон, существенно изменяют свою траекторию и тормозятся в пограничном слое.

Полагая, что на участке торможения  $l \leq x \leq L = l + \Delta l$  скорость струи равна нулю, после интегрирования (1), (2) получим выражения для определения скорости частицы на участке торможения для частиц малого диаметра:

$$W_p = W_p(l) \exp \left( -\frac{3C_D \rho_g (Z-l)}{4\rho_p d} \right) \quad (5)$$

Здесь  $W_p(l) = W_p(Z_N)$  – скорость частицы, полученная из (5) на последнем участке её движения.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что для частиц оксидов диаметром 15-100 мкм и металлов диаметром 10-100 мкм скорость на участке разгона достаточно точно определяется по формуле (3), а на участке торможения – по формуле (4). Для частиц диаметром 5-15 мкм (оксиды) и 3-10 мкм (металлы) в начале

участка торможения целесообразно использовать формулу (4), а при достижении пограничного слоя – формулу (5).

Полученные в результате графические зависимости скорости частиц оксида алюминия от дистанции напыления представлены на рис.1.

Таким образом, графики на рис.1 демонстрируют различие в поведении частиц оксида алюминия разных диаметров. При расчете скорости движения массивных частиц скорость на участке разгона 1 достаточно точно определяется по формуле (3), а на участке торможения 2 – по формуле (4), мелкие частицы, существенно изменяют свою траекторию и тормозятся при достижении ими пограничного слоя 3, поэтому для получения корректных данных необходимо проводить расчет по формуле (5).

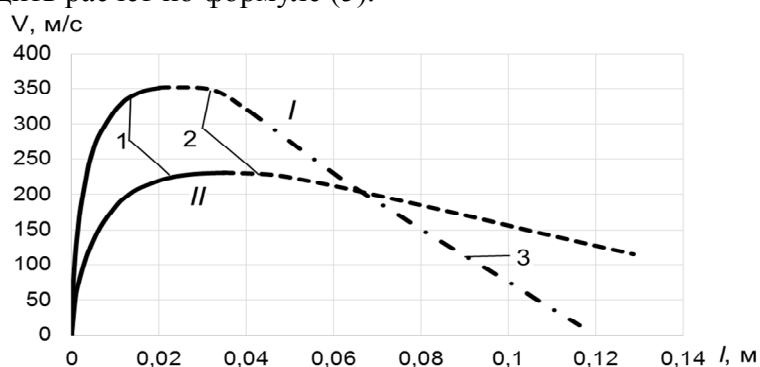


Рисунок 1 – Зависимость скорости частиц оксида алюминия  $Al_2O_3$  диаметром *I* – 10 мкм и *II* – 20 мкм от дистанции напыления. 1 – участок разгона; 2 – участок торможения; 3 – участок движение частицы малого диаметра в пограничном слое.

Существенным является, то, что скорость напыляемых частиц кроме физических параметров плазменной струи и дистанции напыления, во-многом определяется их диаметром. Для частиц меньшего диаметра предложенная модель не является адекватной, поскольку уже на участке разгона численные и экспериментальные результаты плохо согласуются. По нашему мнению это связано с тем, что в (1) не учтено действие таких сил, как: сила, обусловленная градиентом давления в потоке; сила тяготения; сила, обусловленная инерцией вытесненной частицей объёма газа; сила термофореза, которая обусловлена наличием температурного градиента в потоке; сила приобретенной массы, учитывающая ускорение слоев газа, вблизи поверхности частицы; сила Магнуса, учитывающая вращение частицы вследствие градиента скорости потока; сила Басее, учитывающая нестационарность процесса.

В случае массивных частиц действием этих сил можно пренебречь. Однако, они оказывают существенное влияние на динамику полёта ультрадисперсных частиц. Данная проблема требует дальнейших исследований.

#### Вывод

На основании проведенных расчетов по разработанным математическим моделям, установлено, что для частиц оксидов диаметром 15-100 мкм и металлов – 10-100 мкм, скорость движения на участке разгона и торможения достаточно точно определяется по полученным соответственным зависимостям. Для частиц диаметром 5-15 мкм (оксиды) и 3-10 мкм (металлы) в начале участка торможения целесообразно использовать зависимость, как и для крупных, а при достижении пограничного слоя выражение для скорости частицы малого диаметра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Remesh K. Computational Study and Experimental Comparison of the In-Flight Particle Behavior for an External Injection Plasma Spray Process // K. Remesh, S.C.M. Yu, H.W. Ng, C.C. Berndt // Journal of Thermal Spray Technology. – 2003. –Vol. 12(4). – P. 508-522.

2. Borisov Yu. Modeling of Motion and Heating of Powder Particles in Laser, Plasma, and Hybrid Spraying/ Yu. Borisov, A. Bushma, and I. Krivtsun //Journal of Thermal Spray Technology. – Vol. 15(4). – 2006. – 553-558.

3. Солоненко О.П. Компьютерное проектирование газотермических покрытий из порошков металлов / О.П. Солоненко, В.А. Бледнов, В.И. Иордан // Теплофизика и аэромеханика. – 2011. – том 18.– №2.– С. 265-283.

4. Смирнов И.В., Андрейцев А.Ю., Черный А.В. Аналитическое определение скорости и температуры частиц оксидной керамики в процессе плазменного напыления/ И.В. Смирнов, А.Ю. Андрейцев, А.В. Черный // Вестник ХНТУ. – 2009. – №2. – с. 403 – 410.

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАТИЧНОЇ ТА ДИНАМІЧНОЇ ЯКОСТІ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ "КАСКАД – 3"

Ремізов П.П., д.т.н., доц. Дмитрієв Д.О., к.т.н., доц. Русанов С.А., студ. Костерний О.С.

*Херсонський національний технічний університет*

В роботі було проведено дослідження відповідності якості малої вітроенергетичної установки "Каскад-3", принцип і компоновку якої запропонував замовник [1] Херсонському національному технічному університету (тема ГР № 2/2014 договір від 16.06.14 р.). Основні результати попередніх досліджень (рис.1) [2]:

1. Проведено розрахунок швидкості повітряного потоку без лопаток турбіни, підтверджено концепцію ЗАМОВНИКА щодо підвищення значення швидкості в просвіті між барабаном і стінкою конфузору до максимального у 3,9 разів при швидкості набігаючого потоку 12 м/с і до максимального значення у 2,5 разів при швидкості набігаючого потоку 6 м/с.

2. Середні значення коефіцієнту підвищення швидкості в просвіті лопатки турбіни за рахунок використання конфузору складає 1,8 – 3,2 рази в залежності від швидкості набігаючого потоку.

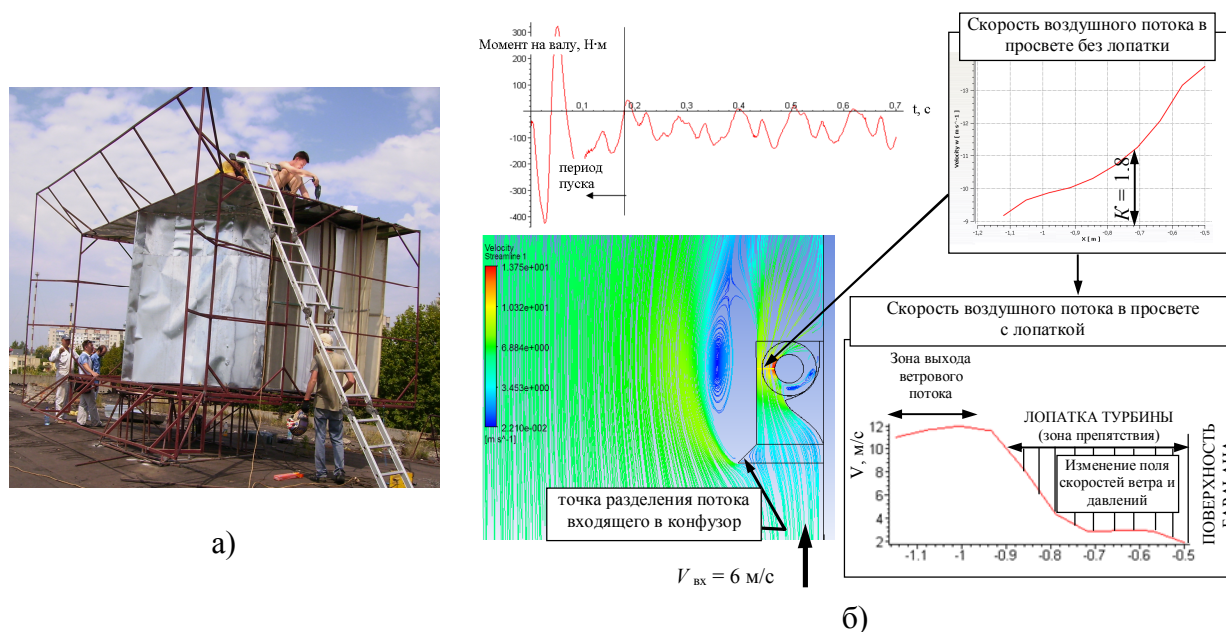


Рис.1. Загальний вигляд (а) та енергетичні параметри (б) виготовленої енергоустановки "КАСКАД -3"

3. Встановлено значний вплив наявності лопатки і миттєвого кута повороту турбіни як перепони складної форми на розподілення полів швидкості і тиску в зоні конфузору. Тобто, структура турбіни змінює швидкість в просвіті по п.1 і п.2.

4. Розрахунок крутних моментів і очікуваної потужності на осях турбін проведено для середньостатистичної швидкості навігаючого потоку в нашому регіоні 5 м/с і встановлено для наданої ЗАМОВНИКОМ компоновки ВЕУ «Каскад-3» на рівні від 1,2 кВт. Дані значення можна розцінювати як початкові, що забезпечує установка на мінімальних швидкостях повітря в Херсонській області.

Виготовлено стенд для вимірювань струмо-швидкостних характеристик генератора (рис.2).

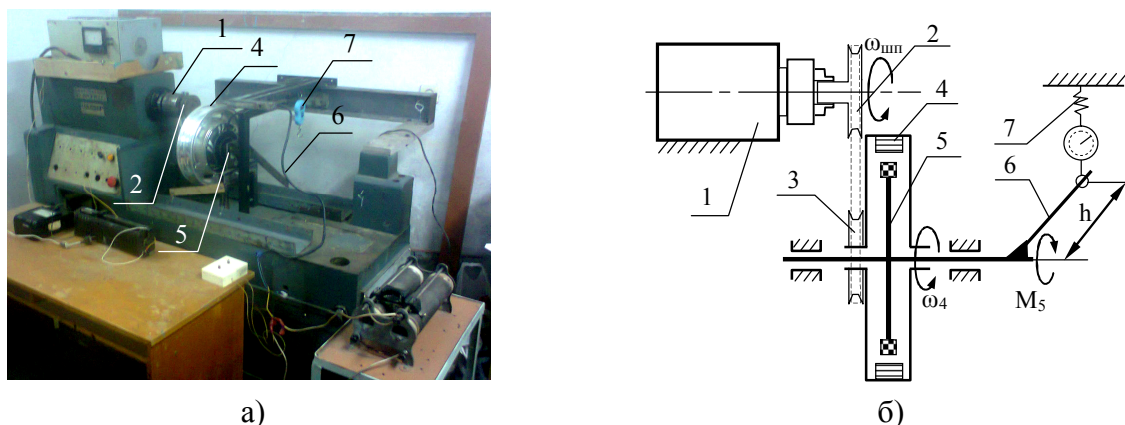


Рис. 2. Виготовлений дослідний стенд (а) і кінематична схема стенду по принципу мотор-терези (б) для вимірювання струмо-швидкостних характеристик електрогенератора: 1- шпиндель, 2 – ведучий шків клино-пасової передачі, 3 – ведений шків, закріплений на корпусі генератора 4 з обмотками, 5 – вісь генератора з високоенергетичними постійними магнітами, 6 – важіль, 7 - динамометр

Для енергоустановки обрано фрикційну передачу (рис.3).

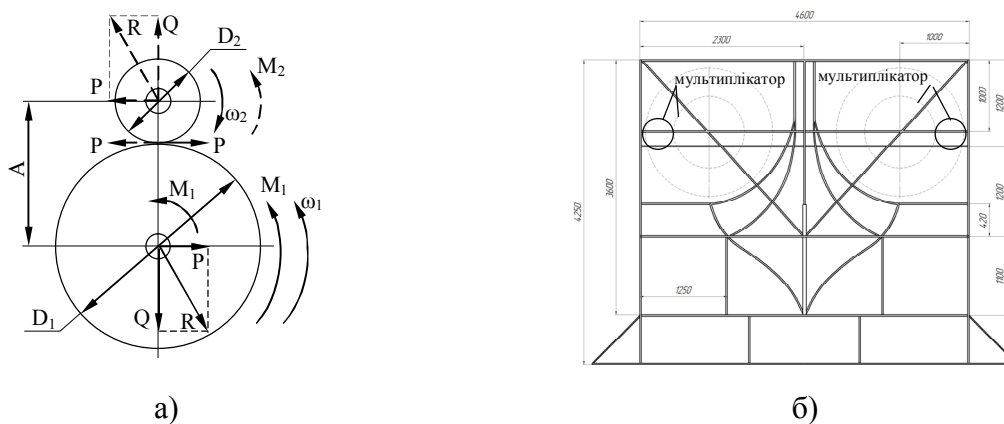


Рис.3. Силова схема фрикційної передачі мультиплікатора (а) і імовірне місце розташування осей і роликів фрикційної передачі на каркасі конфузору енергетичної установки (б)

Визначено силу притискання коліс (рис 4, а) і сили реакції на опорах валів фрикційної передачі (рис 4, б) Перевірку працездатності фрикційної передачі по критерію зносостійкості робочих поверхонь коліс визначено по формулі Герца-Беляєва (рис.5). Розрахунок осьового моменту інерції та геометричних параметрів валу поворотної осі конфузору подано на рис.6.

Імовірні значення контактних напружень на роликах поворотної опори визначено за формулою Герца-Беляєва для контакту циліндра з площиною (рис.7)



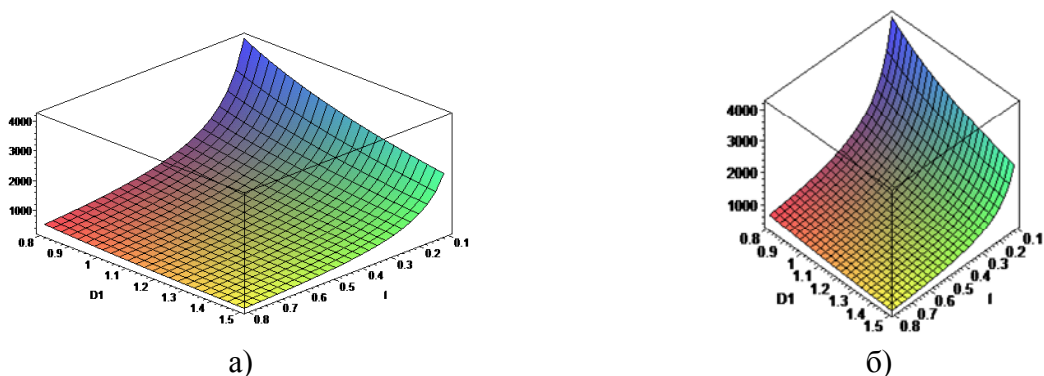


Рис. 4. Область проектних значень сили притискання  $Q$  роликів (а) та сили реакції  $R$  на валах (б) фрикційної передачі мультиплікатора

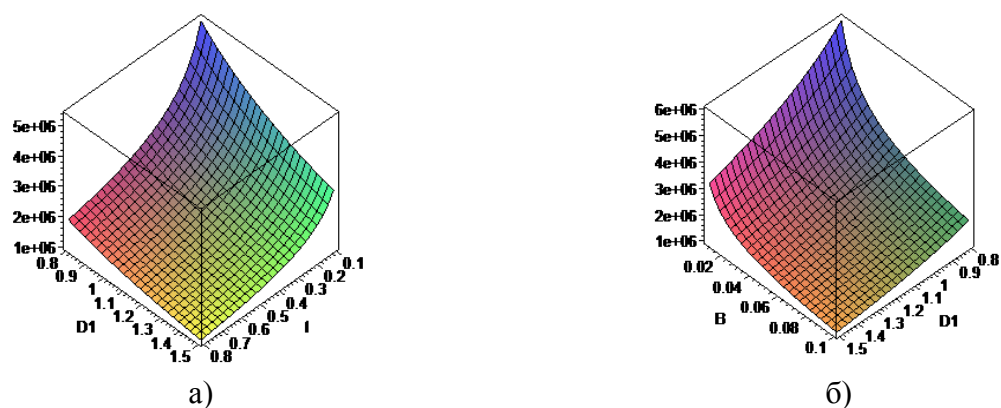


Рис.5. Контактні напруження на поверхні роликів фрикційної передачі мультиплікатора енергоустановки в залежності від діаметру  $D_1$  та коефіцієнту тертя  $f$  при  $B=0.05$  (а) та ширини роликів  $B$  при  $f=0.4$  (б).

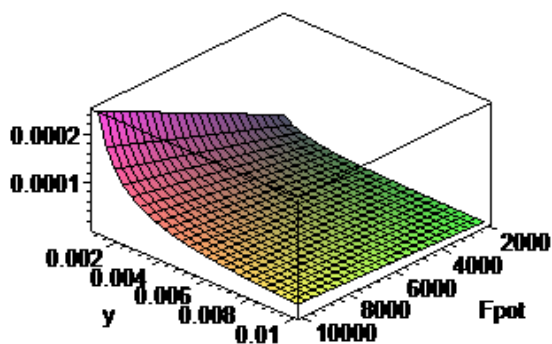


Рис.6. Область визначення осевого моменту інерції  $J$  в залежності від сили повітря набігаючого потоку  $F_{pot}$  (м/с) та граничного прогину  $y$  (м) еквівалентного плеча  $l$ .

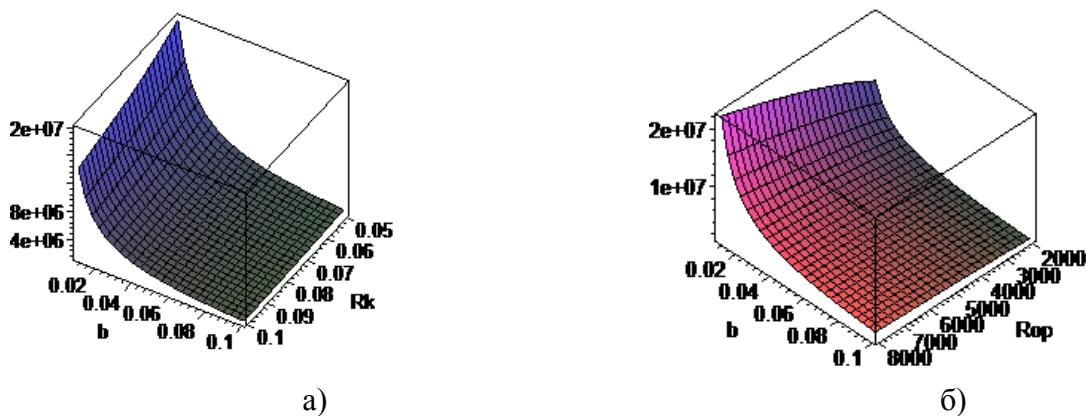
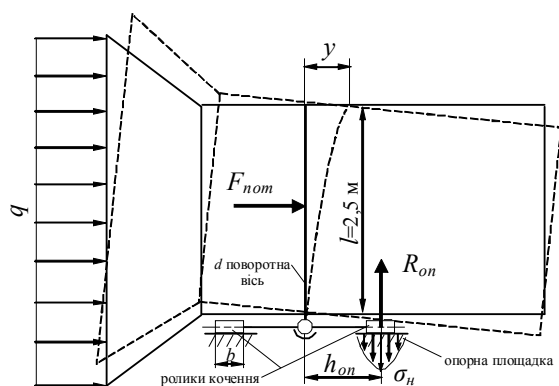
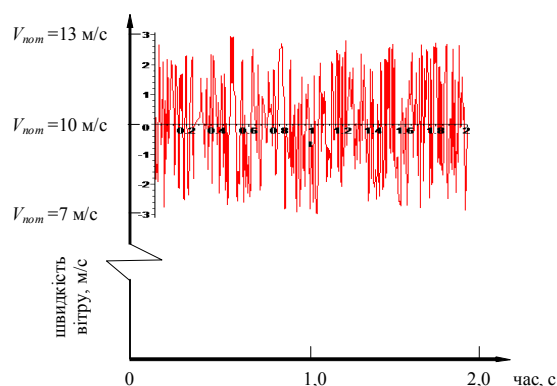


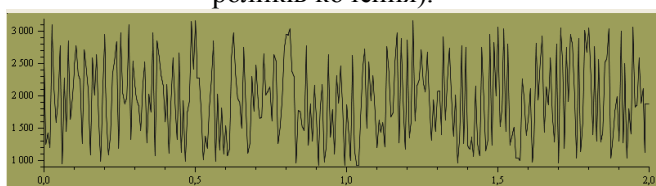
Рис.7. Контактні напруження ( $\delta_n$ , Па) поверхонь ролика і опорної площини при  $R_{op}=5406$  Н в залежності від ширини і радіусу ролика (а) та (б) в залежності від сили реакції  $R_{op}$  та ширини ролика  $b$  при радіусі ролика  $R_k=0.06$  м



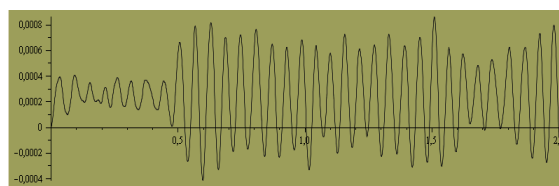
Розрахункова схема рівноваги конфузора для визначення приведеної жорсткості ланок енергоустановки (перетину осі  $d$ , динамічного прогину  $y$ , контактних напружень  $\sigma$  і розмірів роликів кочення).



випадкові зміни швидкості вітру (м/с)



закономірність зміни вітрового навантаження  $F_{пот}$  (Н);



переміщення еквівалентної осі конфузору (мм) в напрямку швидкості вітру.

Рис.8 Розрахунок динамічних коливань промислового зразка

Висновки: на основі теоретичних розрахунків крутного моменту на осях турбін енергетичної установки "Каскад 3" в залежності від швидкості та тиску набігаючого повітряного потоку визначено взаємозв'язок між параметрами повітря, механічної передачі (мультиплікатора) та електрогенератора; виготовлено дослідний стенд для випробувань струмо-швидкісних характеристик електрогенератора за схемою мотор-терези, що планується для використання в енергоустановці; визначено область проектних значень сил притискання роликів фрикційної передачі, сил реакцій на опорах валів фрикційної передачі; в залежності від діаметрів та матеріалів; визначено імовірні жорсткості та переріз поворотної осі конфузора по критерію міцності; визначено діапазон сил, що діють на опорні ролики поворотної частини конфузора та геометричні характеристики роликів кочення.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Пат. № 91379 Україна, МПК F03B 13/10. Енергетичний пристрій «КАСКАД-3»/ Ремізов П.П. - № а2013 11898; Заявлено 09.10.2013; Надрук. 10.07.2014; Бюл. №13/
2. Дмитрієв Д.О. Прогнозована потужність вітроенергетичної установки «КАСКАД – 3» / Д.О. Дмитрієв, П.П. Ремізов, С.А. Русанов, О.О. Лобов // Перспективні технології та прилади – 2014 - №5(2) – с. 41-46

## **ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В МАШИНОБУДІВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

Серьогіна М.Є., проф. Зенкін А.С.

Київський національний університет технологій та дизайну

Вступ. В сучасних технологіях машинобудівництва приділяють значну увагу інформаційному аспекту виробничого процесу виготовлення машини, так як інформація у виробничому процесі – це спосіб, що призводить, підтримує та направляє його дію. Обширна інформація, якою володіє технолог, переростає в рішення про побудову технологічних процесів виготовлення виробу, які охоплюють різноманітні аспекти виробничого процесу.

Високі технічні показники обробленої та інформації, що випускається, тобто, якісне інформаційне забезпечення, удосконалення всієї інформаційної системи, система пошуку інформації, джерела інформації неможливо без вирішення основних проблем використання нових методів її аналізу. Так як споживач інформації одержує необхідні відомості з певними затримками, тоді як інформація повинна бути попереджуючою, необхідно провести підвищення ефективності впливу інформації на процеси визначення якості машинобудівної продукції в умовах ринкових відносин, формування та збереження на певному рівні має принципове значення і залежить від безлічі факторів. Все це пов'язано, з одного боку інертністю науково-технічного прогресу, а з іншого боку, інертністю інформації.

Всі багатогранні інформації по управлінню якістю в машинобудівному виробництві можна розділити на умовно стабільні і змінні групи. У першу групу входять постійно використовувані незмінні цінності. У другу групу входять оперативні відомості управління якості продукції. До них відносяться відхилення, похибки в процесах управління, відомості про рівень похибки, про брак, про якість праці і т.д.

Існує ряд конкретних напрямків удосконалення інформаційного забезпечення управління якістю. Зокрема, використовують метод діаграми Парето. За допомогою цього методу можна отримати об'єктивні результати, в наслідок обробки статистичної інформації про якість. Метод діаграми Парето вважається дуже ефективним засобом для забезпечення рівня якості продукції, що проектується та розробляється, прийняття заходів у виробництві, розробки управляючих впливів з метою підвищення об'єктивності оцінки якості продукції. Поряд з цим, діаграми Парето дозволяють об'єктивно показувати фактичний стан виробництва по окремих галузях і вирішувати комплексні завдання за якістю.[1]

Найбільш відомим рішенням, які реалізують інформаційний контроль якості виробництва продукції, є MES-система Shopfloor-Online, яка дозволяє реєструвати параметри продукції на робочих місцях операторів виробничих дільниць, управляти контрольними межами контрольних карт параметрів з робочих місць технологів, проводити SPC аналіз і автоматизувати формування звітних документів. Реалізовані в системі методи статистичного управління якістю припускають дії після фактів виявлення відхилень.

Для вирішення завдання управління якістю виробничих процесів підприємства в тому числі застосовують і реалізують ідеї CALS -технологій. При вирішенні завдання інтеграції технологічних даних установлено, що проектні рішення та технологічні документи, що відображають результати технологічної підготовки виробництва, доцільно об'єднувати в єдиний ієрархічно структурований інформаційний об'єкт - технологічний проект виготовлення машини, який динамічно розвивається разом з проектом машини і детально описує технологічний аспект виробничого процесу її виготовлення. Для широкомасштабного впровадження CALS-технологій на підприємствах необхідно вирішити ряд проблем, пов'язаних в основному з інтеграцією великого обсягу різноманітних даних: конструкторських, технологічних, виробничих, експлуатаційних і даних про якість. Також для управління якістю промислових процесів широко використовується концепція «шість сигм». Основу методології вдосконалення процесів даної концепції становить цикл розвитку DMAIC (Define-Measurement-Analyze-Improve-Control) який отримав широке поширення в різних

областях промисловості. З ціллю забезпечення можливості управління якістю технологічного проектування і машини в цілому по циклу DMAIC розроблена методика кваліметричної оцінки технологічного проекту на різних етапах його життєвого циклу. Дана методика заснована на методі сервісного якості ServQual. Метод ServQual враховує сприйняття клієнтів щодо значущості параметрів сервісних послуг. Це дозволяє організації правильно розставляти пріоритети і використовувати свої ресурси для поліпшення найважливіших параметрів. До цього часу метод ServQual зазнав цілий ряд прогресивних удосконалень і розвинувся в багатьох аналогічних методів, деякі з яких по ряду своїх характеристик мають переваги по відношенню до базового методу.[2] Слід зазначити ряд недоліків інформаційного забезпечення, характерного для машинобудівних підприємств:

- в більшості випадків науково-технічні та економічні інформації про технічний рівень продукції, найкращих її аналогах за кордоном, витрати, понесені на якість, виявляються недостатніми;
- часто при проектуванні продукції не вся інформація, що надходить використовується повністю;
- інформаційне забезпечення не завжди регламентується достатньо повною нормативно-технічною документацією, в тому числі стандартами підприємства;
- система автоматизованого збору і обробки не задовольняє сучасним вимогам. В основному, автоматизується тільки індивідуальні питання якості праці, обліку втрат і рекламаций.[3]

Висновок. Таким чином, реалізація в практиці методів збирання, систематизування, узагальнення та обробки інформації про якість машинобудівної продукції сприяє поліпшенню технічно-економічного аналізу якості продукції, розширенню складу розв'язуваних в системі якості питань, підвищенню ефективності системи інформаційного забезпечення підприємств в цілому. Комплекс заходів щодо поліпшення інформаційного забезпечення управління якістю продукції машинобудівної промисловості необхідно включити в цільові науково-технічні програми якості. Установлено, що інформаційне забезпечення має особливе значення для ефективного функціонування системи менеджменту якості в машинобудівній промисловості. У зв'язку з цим, обґрунтовано значення інформації про якість продукції, а також необхідність підвищення ефективності впливу інформаційного забезпечення на процеси за визначенням, формуванню та змістом на необхідному рівні рівня якості, здатного задовольнити вимогам споживачів.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. А.С. Зенкін Кваліметрія / [А.С. Зенкін, В.П. Куценко, Г.І. Хімичева, М.Ф. Трегубов]. – Донецьк : ІПШ «Наука і освіта», 2013. – 340 с.
2. А.С. Зенкін Основи метрологічного забезпечення / [А.С. Зенкін, В.П. Куценко, Г.І. Хімичева, М.Ф. Трегубов]. – Донецьк : ІПШ «Наука і освіта», 2014. – 324 с.
3. Єфіменко Н.А., Зенкін А.С. Механізм формування покращення резервів якості продукції на машинобудівних підприємствах: монографія. – Черкаси: Вид. Від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2011. – 288 с.

## **ЧИСТКА ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ОТ ПАРОВ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ МЕТОДОМ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА: КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ**

Холмовой Ю.П.

Донецкий национальный медицинский университет им. М.Горького

Основанными источниками поступления паров органических растворителей в атмосферу являются химическая промышленность, в том числе производство лакокрасочных материалов, лакокрасочное производство, т.е. использование на производстве лакокрасочных материалов, а также процессы обезжиривания машин и механизмов в машиностроении и других отраслях промышленности. И наибольшая доля в выбросах в атмосферу среди растворителей принадлежит углеводородам [1, 2].

Задача очистки выбросов в атмосферу от паров органических растворителей в настоящее время решается, в основном, сорбционными, каталитическими и термическими методами или в их комбинации в различных вариантах технического и аппаратного оформления [3]. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и свои недостатки. Сорбционные методы позволяют произвести не только очистку выбросов, но и рекуперацию самих растворителей. Однако рекуперация индивидуальных компонентов из растворителей, представляющих собой смеси, становится невозможной. Кроме того, при низких концентрациях паров в газоздушных смесях эти методы становятся нерентабельными. Применение каталитических методов позволяет провести очистку до самых низких уровней примесей, но требует затрат на рекуперацию самих катализаторов. Термические методы требуют значительных затрат энергии. Поэтому поиск и разработка альтернативных методов очистки выбросов в атмосферу от паров органических растворителей остается актуальной.

Одним из таких методов может стать метод обработки загрязненного воздуха в плазме барьерного разряда. Метод барьерного разряда, или метод электронного удара, используется преимущественно для получения озона [4]. И если энергии электронного удара достаточно для ионизации столь прочной молекулы как  $O_2$  (потенциал ионизации 14,01 эВ [5]), то можно предположить, что более крупные и менее прочные молекулы органических растворителей в плазме барьерного разряда также будут подвергаться ионизации. А в присутствии озона, обладающего высокой реакционной способностью [6] и образующегося в той же плазме, будут подвергаться деструктивному окислению. Ранее было показано на примере гексана (потенциал ионизации 10,17 эВ [5]) – одного из компонентов многих растворителей, что его молекулы в таких условиях подвергаются деструкции, и ее степень достигает 80 % [7].

Тогда возникает вопрос чисто технического характера: какова должна быть конструкция разрядника, обладающего достаточной пропускной способностью значительных объемов загрязненного воздуха и обеспечивающего достаточно высокую степень его очистки. В основе самого простого решения лежит использование трубки Сименса (рис. 1а) [4] как разрядного элемента. В этом случае разрядник представляет собой блок из таких разрядных элементов (рис. 1б) с единым входом и единым выходом. Однако использование в промышленной установке стекла (традиционный материал для трубок Сименса) в качестве диэлектрического барьера было бы нерациональным. Наилучшим диэлектрическим барьером для этих целей была бы эмаль, покрывающая наружную часть высоковольтного электрода [8]. Внутренняя часть высоковольтного электрода и пространство между отдельными разрядными элементами в таком случае используется для водяного охлаждения установки, причем системы охлаждения низко- и высоковольтных электродов по понятным причинам должны быть отдельными.

Возможно также коаксиальное расположение чередующихся цилиндрических низко- и высоковольтных электродов (рис. 1в).

Однако такие конструкции оказываются очень неудобными из-за системы подключения электрических контактов к каждому из низко- и высоковольтных электродов. Кроме того, в коаксиальном расположении электродов возникают трудности при их центрировании, необходимом для соблюдения определенной величины межэлектродного расстояния.

Этих недостатков лишен разрядник с плоскопараллельным расположением чередующихся низко- и высоковольтных электродов (рис. 1г). Монтаж разрядника сводится к набору пакета из отдельных плоских электродов. Подключение электродов к источнику электропитания осуществляется через две шины: низко- и высоковольтную, проходящие в торцевых креплениях электродов.

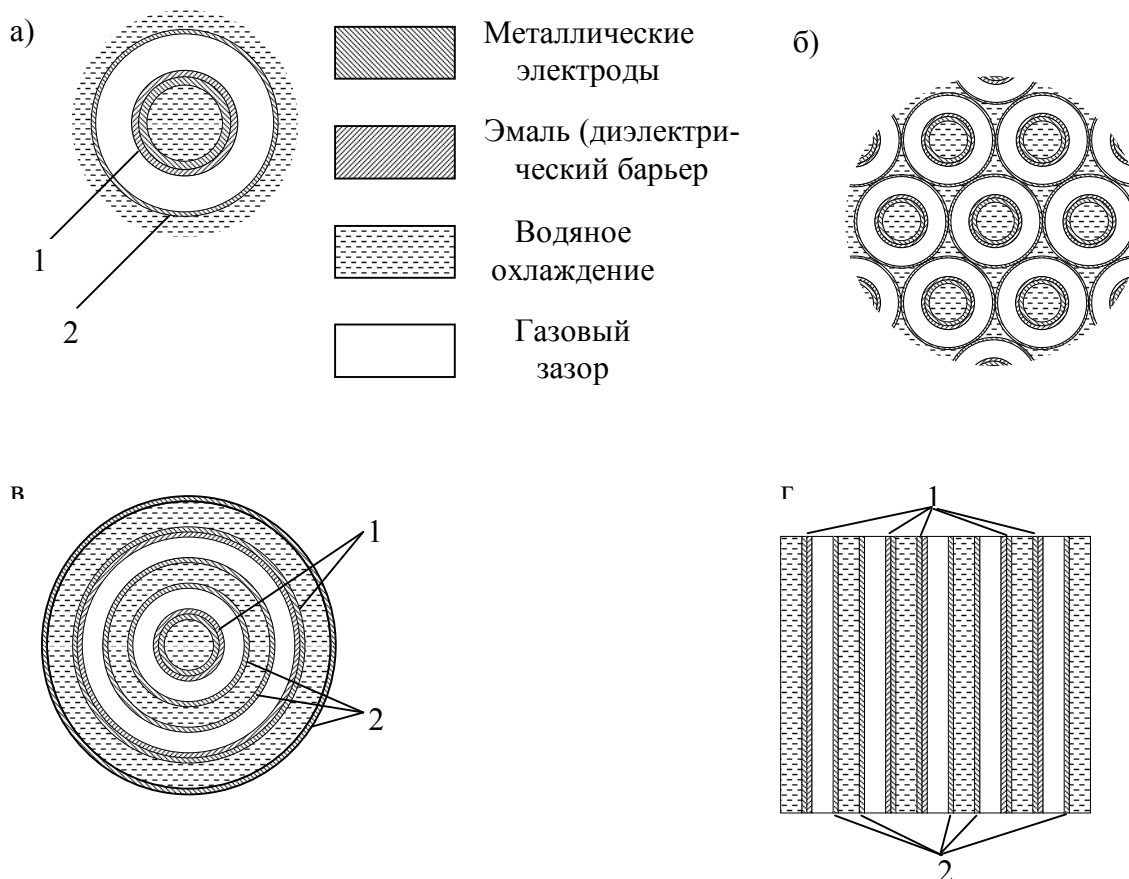


Рисунок 1 – Поперечный разрез трубки Сименса (а), фрагмента блока разрядных элементов (б), фрагмента (показаны только два первых газовых зазора) коаксиально-цилиндрического разрядника (в) и фрагмента плоскопараллельного разрядника (г)  
1 – высоковольтные электроды; 2 – низковольтные электроды

Таким образом, приняв за основу эту конструкцию, необходимо определить ее оптимальные параметры: величину газовых зазоров, напряжение разряда, динамические характеристики газовой смеси и охлаждающей воды, определяющие температурные режимы работы разрядника, выбор вида эмали и технологии ее нанесения на электроды и другие. Пропускная способность разрядника будет определяться объемом пакета электродных пар, а время обработки единицы объема газовой смеси – длиной электродов. От этого, в свою очередь, и будут зависеть габариты разрядника. Поэтому в программу дальнейших исследований должно быть включено определение этих и ряда других параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дринберг С.А. Растворители для лакокрасочных материалов: Справочное пособие. / С.А. Дринберг, Э.Ф. Ицко. – Л.: Химия, 1986. – 208 с.
2. Бедрик Б.Г. Растворители и составы для очистки машин и механизмов: Справочное издание. / Б.Г. Бедрик, П.В. Чулков, С.И. Калашников. – М.: Химия, 1989. – 176 с.
3. Бочкарев В.В. Теоретические основы технологических процессов охраны окружающей среды. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 320 с.
4. Филиппов Ю.В. Электросинтез озона. / Ю.В. Филиппов, В.А. Вобликова, В.И. Пантелеев – М.: Изд-во Московского университета, 1987. – 236 с.
5. Справочник химика: Том 1. – М.-Л.: Химия, 1966. – 1072 с.
6. Разумовский, С.Д. Озон и его реакции с органическими соединениями (кинетика и механизм) / С.Д. Разумовский, Г.Е. Заиков. – М.: Наука, 1974. – 322 с.
7. Холмовой Ю.П. Деструкция паров гексана в плазме барьерного разряда // Экология и промышленность. – 2014. – № 1. – С. 61-64.
8. Вобликова В.А. Электросинтез озона в высокочастотных озонаторах с эмалированными электродами: дис. на соиск. учен. степ. канд. хим. наук: спец. 02.00.04 «Физическая химия» / Вобликова Валентина Андреевна; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет. – М., 1982. – 220 с.

## ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ ВІБРАЦІЙНОЇ МЕХАНІКИ

Русанов С.А.

Херсонський національний технічний університет

Вібраційна техніка застосовується в ряді важливих виробництв: при видобутку й переробці корисних копалин, у хімічній технології, у металургії, у промисловості будівельних матеріалів, при будівництві споруджень, у машинобудуванні й приладобудуванні [1]. Усі вібраційні процеси можна розділити відповідно до узагальнюючих технологічних напрямків [2]:

- обмежене (точкове) впровадження віброуючих елементів у середовище (грунт, матеріал, порода);
- деформування й руйнування (різання);
- подрібнення матеріалів;
- видалення різного роду нашарувань (забруднень, покриттів та ін.), поверхнева обробка, мийка, очищення;
- вібровплив на суцільні середовища, насипні й дисперсні системи.

При цьому вирішуються такі технологічні задачі, як деформування й мікрорізання металевими й абразивними інструментами, руйнування й подрібнення, підвищення ефективності механічних, фізико-механічних процесів, інтенсифікація хімічних процесів, втомні випробування матеріалів, удосконалення процесів складання. Відповідно до зазначених напрямків, вібраційні машини й механізми використовують для зниження внутрішнього тертя в системі, що дозволяє проводити забивання паль і шпунтів, реалізувати вібраційне різання. Різні ступені подрібнення матеріалів досягаються у вібраційних дробарках і млинах. Реалізується поверхнева зачисна й зміцнювальна обробка, нанесення покриттів.

Більш широкий спектр задач охоплює останній напрямок – вібраційна обробка суцільних середовищ, насипних і дисперсних систем. Тут реалізується безліч процесів: створення віброзрідженого й віброкиплячого шарів, переміщення й транспортування, бункерування, інтенсифікація технологічних процесів – адсорбція, ректифікація, сушіння й інші процеси у вібраційних шарах, поділ (сепарація) насипних і багатофазних середовищ,

дозування, перемішування, щільне пакування дисперсних матеріалів, сполучення декількох технологічних операцій, наприклад, транспортної з тепло- масообмінними процесами тощо [3].

При теоретичному дослідженні вібраційних процесів виникаючий в системі під дією вібрації рух представляється у вигляді суми двох складових - повільної, що мало змінюється за один період коливань, і швидкої, "вібраційної", причому звичайно основний інтерес представляє саме повільний рух [4]. Повільний рух формує ті своєрідні явища, на основі яких реалізуються зазначені вище технологічні процеси і які властиві тільки нелінійним системам. До таких явищ належать:

1) ефект вібраційного переміщення (вібраційне транспортування окремих тіл і сипких матеріалів, поділ часток матеріалу по щільності, розмірах, вібраційне занурення паль, виникнення повільних плинів у рідинах, газах і сипких тілах);

2) зміна реологічних властивостей тіл стосовно до повільних рухів (зменшення ефективних коефіцієнтів сухого тертя, перетворення сил сухого тертя в сили в'язкого тертя, ефект псевдозрідження й віброкипіння сипких середовищ);

3) різка зміна поведінки твердих або пружних тіл і систем тіл, зокрема механізмів, під дією вібрації (наприклад, поява нових положень рівноваги й видів рухів).

Зазначені явища вивчаються в рамках вібраційної механіки, і, частково, віброреології [5]. У серіях наших публікацій, серед яких виділимо [6,7], була сформульована віброреологічна модель сипкого середовища, яке є граничним випадком моделі двофазного середовища газ – тверді частинки. За рахунок характерних властивостей віброшару задача була зведена до моделі напружено-деформованого стану суцільного середовища з особливою реологією. В умовах підведеної зовнішньої вібрації у вказаному середовищі поширюються нелінійні хвилі деформації з періодичними змінами щільного й розпушеного станів. Лагранжеве формулювання при описі рівнянь руху близьке до моделей сипких середовищ у рамках різномодульної теорії пружності [8], та завдяки цьому модель позбавлена недоліків, пов'язаних із чисельною дифузією [9] на границях в ейлеровій постановці для двофазних середовищ при чисельній реалізації. Шляхом наступного осереднення руху, нами були отримані [10] реологічні характеристики ламінарного стійкого плинну дисперсного шару по віброуючій поверхні (так звана друга задача віброреології [5]). Крім того в [10] нами уперше було показано, що плин віброкиплячого шару в певних умовах (без фонтанування) відповідає плинну псевдопластичних рідин.

На підставі зазначеної моделі була створена система автоматизованого моделювання віброкиплячих шарів «Виброслой» [11]. Зазначена система застосовується для прогнозування параметрів динаміки сипких середовищ у машинах і апаратах з наявністю шару сипкого матеріалу. У системі враховується можливість моделювання додаткових тепло- і масообмінних процесів, які проходять у шарі відповідно до технології, що розглядається. Тестові задачі показали відповідність експериментальним даним як в області віброзрідження, так і в області віброкипіння [12]. В [13] була сформульована проблема взаємодії вібраційних шарів з несучими віброуючими поверхнями. Значні динамічні навантаження, ударні у випадку розвиненого віброкипіння, можуть вплинути на форму коливань несучої поверхні, проявляючи при цьому ефект зворотнього зв'язку з віброуючим шаром. Система «Виброслой» останньої версії має можливість враховувати пружність несучих елементів віброуючих поверхонь і розраховувати поведінку шарів зі зворотнім зв'язком (Рис.1).

З рис. 1 видно, що відклик поверхні значно впливає на подальшу поведінку шару, форма руху якого починає суттєво відрізнятися від форми «зрізаного синусу», при цьому знижуються за модулем пікові значення стискаючих напруг.



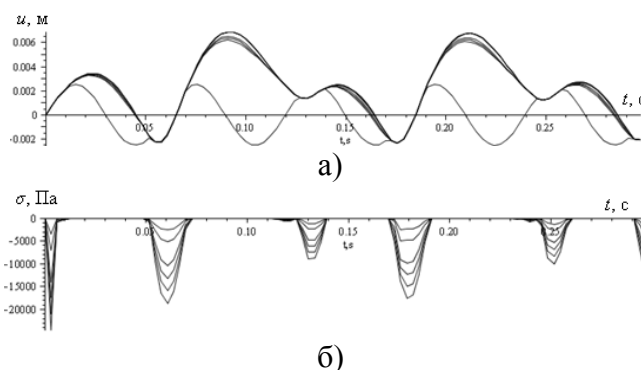


Рис. 1. Динаміка шару з врахуванням відклику несучої поверхні:

а) – вертикальні переміщення шару та платформи, б) – відповідні нормальні напруги в шарі.

Введення в код програми врахування розглянутого ефекту зворотнього зв'язку відкриває перспективи її використання не тільки для прогнозування динаміки віброшарів, але й для моделювання процесів, пов'язаних із суттєво нелінійними коливальними системами, як, наприклад, моделювання вібраційного різання з урахуванням ефекту автоколивань. Деякі можливі області використання системи перераховані нижче:

- вібраційні процеси в різномодульних матеріалах;
- динамічна взаємодія віброшарів з несучими поверхнями з урахуванням зворотнього зв'язку;
- застосування програмного продукту для дослідження автоколивань систем (різання, вібраційне різання)
- вібраційні процеси у фільтруючих матеріалах;
- віброкипіння із продувкою шару;
- вібраційна обробка матеріалів з аномальною порізністю (волокнисті, грубозернисті);
- тепло- й масообмін у віброшарах;
- віброкипіння й віброзрідження в рідинах.

Треба також зазначити про можливість та практику застосування «важких» CFD систем для моделювання процесів з вібраційним спонуканням середовищ. В [14] нами було застосовано ANSYS Fluent для моделювання тестової задачі підкидання шару сипкого матеріалу. В [15] було застосовано систему OpenFOAM для моделювання віброкипіння шару сипкого матеріалу на горизонтальній віброуючій поверхні. Але подібні застосування мають обмеження, серед яких найзначнішими є, насамперед, необхідність використання надвеликих комп'ютерних потужностей, зазначена вище проблема чисельної дифузії, що має місце в CFD системах, які в більшості використовують метод скінчених об'ємів та ейлерову постановку, та неповнота моделей динаміки двофазних середовищ стосовно до проблем адекватного врахування внутрішнього тертя тощо.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гончаревич И.Ф., Фролов К.В. Теория вибрационной техники и технологии. - М.: Наука, 1981. – 320 с.
2. Бабичев А.П., Лайуни А. Влияние условий виброабразивной обработки на шероховатость обработанной поверхности и интенсивность съема материала // Вибрации в технике и технологиях: Всеукр. науч.-техн. журн. - Винница. - 1996. - N1(3). - С. 58-60.
3. Членов В.А., Михайлов Н.В. Виброкипящий слой. - М.: Наука, 1972. – 343 с.
4. Блехман И.И. Вибрационная механика. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.
5. Овчинников П.Ф. Виброреология. – Киев.: Наукова думка, 1983. – 272с.
6. Русанов С., Луняка К., Михайлик В. Моделювання гідродинаміки віброкиплячих шарів // Вісник Тернопільського державного університету. - 2006. - № 3. - С. 188-195.

7. Русанов С.А., Луняка К.В., Ардашев В.А. Некоторые теоретические аспекты процесса виброкипения // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – №6/5(30). – С.23-25.
8. Садовский В. М. Реологические модели разномодульных и сыпучих сред // Дальневосточный математический журнал. – 2003. – Т. 4, № 2. – С. 252 - 263.
9. Бубенчиков М. А. Способ минимизации схемной диффузии в численной модели аэродинамики // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2011. – № 2. – С. 79-84.
10. S. A. Rusanov, K. V. Luniyaka, G. V. Nikitenko. Vibrorheological model of the vibrofluidized bed of dry substances // JOURNAL OF ENGINEERING PHYSICS AND THERMOPHYSICS, Volume 85, № 6 (2012), P. 1183–1188.
11. Система автоматизованого моделювання гідродинаміки віброкиплячих шарів "Виброслой 1.0". Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №25051. / С.А.Русанов. – №24961: Заявл. 14.04.2008; Опубл. 24.07.2008.
12. Русанов С.А. Моделювання гідродинаміки виброкиплячого шару з розробкою утилізатора тепла сипких матеріалів. Дис. ... к-та техн. наук. Херсон, 2008.
13. Русанов С. А., Луняка К. В., Глухов Г. М., Ключев О. І. Взаємодія виброкиплячого шару з несучими поверхнями // ВЕЖПТ . – 2009. – №5 (40). – С. 9-13.
14. Русанов С. А. Дослідження виброкипіння дисперсних середовищ з використанням сучасних CFD систем / С. А. Русанов, А. В. Біліченко, К. В. Луняка // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2014. - № 6. - С. 236-238.
15. Орлова Н.С., Качалкина Я.Н. Исследование режимов виброкипящего гранулированного слоя с использованием пакета OpenFOAM // Труды ИСП РАН. – 2014. - 26/5. – С. 143-151.

## **ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ ПРЕДПУСКОВОГО РАЗОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ**

Аппазов Э.С., Ключев О.И., Русанов С.А.  
Херсонский национальный технический университет

**Введение.** Значительными перспективами сегодня обладают методы предпусковой тепловой подготовки автомобильных двигателей, применяемые для улучшения показателей пуска в условиях открытой стоянки в зимнее время [1, 2]. Одним из решений, позволяющих минимизировать негативные последствия холодного пуска, является предпусковая тепловая подготовка двигателя, реализуемая при помощи предпусковых подогревателей, в частности, тепловых аккумуляторов [2]. Аккумуляирование тепловой энергии от различных источников и ее использование при пуске, как указывается в [1], может дать экономию топлива до  $15 \div 20 \%$ , по нашим же данным [3] до  $7 \div 10 \%$ .

Теплота в теплоаккумуляторах для предпускового разогрева двигателя запасается рабочими телами, хранящимися при заданной температуре в твердом или жидком состоянии в специальных емкостях. По типу процесса в аккумуляторах теплоты различают следующие основные типы теплоаккумуляирования [4]:

- тепловое аккумуляирование энергии твердыми и жидкими телами за счет изменения температуры вещества – теплоемкостная аккумуляция;
- тепловое аккумуляирование энергии посредством использования теплоты фазового перехода;
- термохимическое аккумуляирование тепловой энергии.

**Постановка задачи.** В [2,5] были рассмотрены результаты расчетных исследований гидродинамики и теплообмена двигателя с определением неравномерности прогрева блока

цилиндров и головки блока цилиндров, необходимым временем прогрева для заданных параметров окружающей среды применительно к аккумуляторам теплоты на фазовых переходах. Детальное согласование гидродинамической задачи в каналах двигателя и теплообмена с фазовым переходом в теплоаккумуляторе требует тщательной подготовки модели теплоаккумулятора, которая должна удовлетворять с одной стороны требованиям достаточной расчетной точности, и при этом иметь относительно простую и устойчивую численную реализацию.

**Изложение основного материала.** Как известно, на основе теплового баланса для поверхности раздела фаз обычно используется условие Стефана [6]:

$$\rho_{mv} q_n \frac{\partial s_n}{\partial \tau} = \lambda_{жс} \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{n \rightarrow +0} - \lambda_{мс} \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{n \rightarrow -0},$$

где  $s_n$  – перемещение границы раздела фаз в направлении нормали  $n$ ,  $\tau$  – время,  $T$  – температура,  $q_n$  – скрытая теплота плавления,  $\lambda_{жс}$  и  $\lambda_{мс}$  – коэффициенты теплопроводности жидкой и твердой фазы соответственно. Кроме указанного условия в подавляющем большинстве задач степеновского типа используется условие постоянства температуры на межфазной границе. Однако, в некоторых случаях моделирование процесса плавления – замораживания рабочего тела желательнее осуществлять с использованием метода эффективной теплоемкости [7] без явного выделения положения границ фазового перехода, с учетом конвективного теплопереноса в расплаве:

$$c_{эф} \rho \left( \frac{\partial T}{\partial \tau} + \mathbf{v} \nabla T \right) = \nabla (\lambda_{эф} \nabla T) + q,$$

где  $c_{эф}$ ,  $\lambda_{эф}$  – эффективные значения теплоёмкости и теплопроводности, которые учитывают теплоту плавления в задаче Стефана [7] и наличие конвективного теплопереноса,  $\mathbf{v}$  – поле скоростей (конвективные токи),  $q$  – мощность внутренних источников тепла, при их наличии. Для учета фазового перехода эффективная теплоёмкость включает в себя дельта-функцию и представляется в виде

$$c_{эф} = c(T) + q_n \delta(T - T^*),$$

где  $T^*$  – температура фазового перехода.

При численной реализации в конечном интервале температур  $\Delta T$  для точки фазового перехода второе слагаемое может быть заменено выражением  $q_n / \Delta T$ .

Некоторые теплоаккумулирующие вещества являются материалами с сильно размытыми границами фазовых превращений твердое тело – жидкость. В этих случаях температурный интервал фазовых превращений может растянуться на десятки градусов, поэтому используется температурная зависимость удельной теплоемкости  $c=c(T)$ , которая в области фазового перехода имеет один или несколько пиков, при этом область фазового перехода будет представлять собой не поверхность, а слой [8]. Возможно также наличие переохлаждения при кристаллизации, что, например, характерно для кристаллогидратов без зародышеобразующих присадок [9], однако на практике учет указанного явления производится редко.

Численные расчеты разогрева двигателя посредством разрядки теплового аккумулятора методом эффективной теплоемкости для веществ с размытым (парафины, рис. 1, а) и дельтаподобным фазовым переходом (кристаллогидраты, рис.1, б) имеют характерные области фазового перехода.

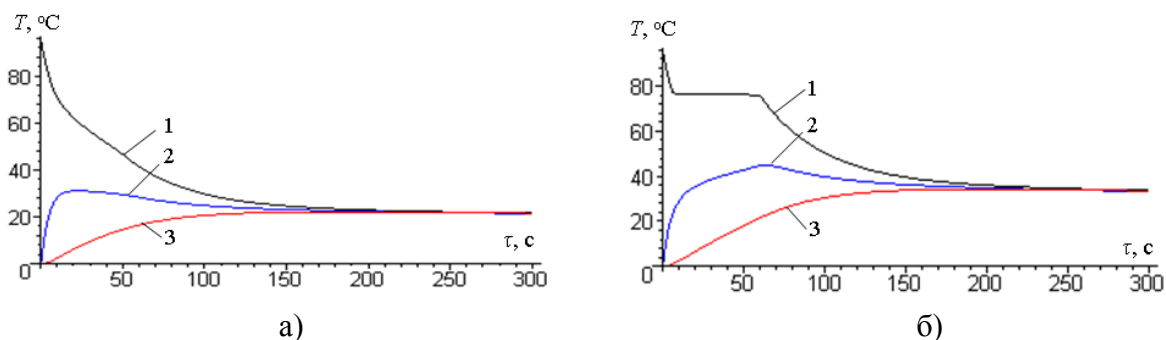


Рис. 1. Результаты численных расчетов разогрева двигателя посредством разрядки теплового аккумулятора для парафинов (а) и кристаллогидратов (б).

1 – разрядка теплоаккумулирующего вещества, 2 – прогрев охлаждающей жидкости, 3 – разогрев двигателя.

Результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными, опубликованными в [1], а модель может быть использована для выбора конструктивных параметров теплоаккумуляторов, обоснования применимости теплоаккумулирующих веществ и прогнозирования работы системы в различных условиях.

**Выводы.** Расчеты разогрева при предпусковой подготовке автомобильных двигателей целесообразно производить методом эффективной теплоемкости с использованием данных по фазовым переходам для модельных веществ, используемых в качестве теплоаккумуляторов. Данные по эффективным тепловым параметрам двигателя могут быть получены расчетным путем в современных CFD системах, как это сделано в [5], с возможной тарировкой модели по имеющимся натурным экспериментам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пыхтя В. А. Экспериментальные исследования системы предпускового разогрева двигателя с тепловым аккумулятором // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. - № 6 (148). – С. 246-251.
2. Косенков И.А. Результаты экспериментальных исследований системы предпусковой подготовки двигателей / А.П. Картошкин, И.А. Косенков, Д.С.Агапов // Сб. науч. трудов Международной научно-технической конференции «Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей», СПбГАУ, - СПб. - 2010. - С. 302 - 310.
3. Аппазов Э.С., Ключев О.И., Русанов С.А., Луняка К.В. Решения по использованию теплоаккумуляторов на основе фазового перехода твердое тело – жидкость для предпусковой подготовки автомобильных двигателей. // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Херсон: ВНЗ «ХДМІ», 2014. – С.52-54.
4. Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумуляирование тепла. - К.: «Техника», 1991. – 112 с.
5. Аппазов Е.С., Ключев О.И., Русанов С.А. Моделирование гидродинамических та тепловых процессов при передпусковой підготовці автомобільних двигунів // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. - Херсон: Вид-во ХДМА, 2014 - №1(10). – С. 131-136.
6. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена. - М.Л.: Госэнергоиздат, 1961. - 521 с.
7. Самарский А. А., Моисеенко Б. Д. Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана // Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 1965. – С. 816–827
8. Росихин Н.А. Расчет и проектирование аккумуляторов теплоты на фазовых переходах (капсульного типа). Методические указания. – Москва: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. - 33 с.
9. Мозговой А.Г., Шпильрайн Э.Э. и др. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты. – М.: ИВТАН СССР, 1990. – 106 с.

## СПОСІБ ХОЛОДНОГО ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ

Калін М.А., Ізотова К.О.

Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків

**Вступ.** Розроблений спосіб відноситься до області зварювання, зокрема до способів холодного зварювання чавуну електродуговим методом, і може бути використаний для виправлення дефектів чавунного литва і виготовлення зварних конструкцій з чавуну.

Відомі різні способи електродугового зварювання чавуну, наприклад сталевими електродами [1]. Проте при зварюванні сталевими електродами важко уникнути появи тріщин унаслідок утворення у шві і навколошовній зоні цементиту і мартенситу.

**Актуальність досліджень.** Відомий спосіб холодного зварювання чавуну [2], при якому зварювання проводять сталевим електродом, а зварювані кромки заздалегідь обробляють активним вуглецепоглиначем – негашеним вапном, а потім нагрівають до температури 400-600°C, і зварювання ведуть з примусовим охолодженням водою.

Недоліком вказаного способу зварювання є низька технологічність способу, що полягає у відсутності стабільності отримання якісного зневуглицювання чавуну на необхідну глибину, небезпека при роботі з негашеним вапном, необхідність високотемпературного нагріву деталей, а також незручність при зварюванні з примусовим охолодженням деталі у воді.

Найбільш близьким по технічній суті до описуваного способу є спосіб холодного зварювання сірого чавуну [3], при якому оброблення кромки виконують ступінчастого з максимальною шириною оброблення 0,5-0,7 товщини зварюваного металу і додатковим поглибленням усередині оброблення на 0,1-0,15 товщину зварюваного металу з подальшим наплавленням підготовчих шарів на всю поверхню оброблення паралельними валами, при цьому між підготовчими шарами залишають зазор, рівний 1,07-1,1 діаметру електроду, а після наплавлення валиків одержаний зазор заплавають.

Недоліком вказаного способу є необхідність застосування спеціальних електродів для наплавлення підготовчих шарів, а також практична неможливість витримати в процесі зварювання зазор між підготовчими шарами у вузькому діапазоні, заданому у формулі винаходу 1,07-1,1 діаметру електроду, що для електродів діаметром 3 мм складе всього 3,21-3,3 мм. Крім того, ступінчаста форма оброблення з додатковим поглибленням усередині оброблення вимагає спеціального устаткування і інструменту для її виконання, що не завжди можливо при зварюванні дефектів в реальних виробничих умовах.

Труднощі здійснення даного способу не дозволяють широко використовувати його при ремонті устаткування і заварці дефектів чавунного литва.

**Постановка задачі.** Мета нового способу зварювання – підвищення якості зварного шва і зниження твердості наплавленого металу при холодному зварюванні чавуну сталевими електродами.

Це досягається тим, що по чергово виконують зварювання сталевими електродами з наступним механічним видаленням 0,3-0,5 висоти наплавленого металу до заповнення розробки і забезпечення посилення шва.

На рисунку 1 зображена принципова схема виконання зварного з'єднання при використанні способу холодного зварювання чавуну, з обробленням основного металу, де 1 - основний метал, 2 - зварний шов. При зварюванні металу великої товщини і можливості виконання двостороннього Х-образного оброблення зварювання проводиться по аналогічній схемі з по черговим накладенням зварних швів і видаленням металу шва з двох сторін.

а – схема першого етапу заварки оброблення; б – схема першого видалення 0,3-0,5 висоти наплавленого металу; в – схема другого видалення 0,3-0,5 висоти наплавленого металу; г – схема третього видалення 0,3-0,5 висоти наплавленого металу; д – схема четвертого видалення 0,3-0,5 висоти наплавленого металу; е - схема остаточної заварки оброблення.

**Результати досліджень.** Дослідження проводили при холодному зварюванні сірого чавуну марки СЧ21 завтовшки 25 мм сталевими зварювальними електродами марки УОНИ-13/55 на постійному струмі зворотної полярності. Діаметр електродів складав 3 і 4 мм. Сила струму для електродів діаметром 3 мм складала 80-100 А, а для електродів діаметром 4 мм – 140-160 А.

Почергово виконували зварювання розробки сталевими електродами з наступним механічним видаленням 0,3-0,5 висоти наплавленого металу до заповнення розробки зварюваного металу товщиною 25 мм і забезпечення посилення шва 2-3 мм.

Зварювання проводили без попереднього підігріву. Перший шов зварювали електродами діаметром 3 мм., а наступні електродами діаметром 4 мм. В процесі зварювання контролювали температуру основного металу в навколошовній зоні, не допускаючи нагріву деталі вище 70°C. Видалення металу шва проводили електричною шліфувальною машинкою із застосуванням абразивного каменю завтовшки 6 мм.

Висоту видаленого шару наплавленого металу контролювали штангенциркулем, заміряючи висоту наплавленого металу після кожного зварювання і після видалення його частини. Глибина видалення була в межах 0,3-0,5 висоти наплавленого металу кожного шва.

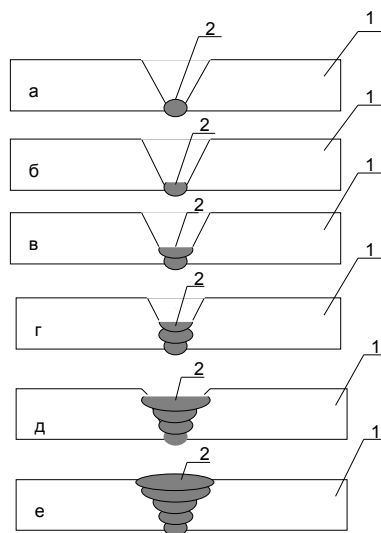


Рисунок 1 – Схема зварювання чавуну

В результаті металографічних досліджень і вимірювання твердості основного металу і зони термічного впливу встановлено, що мікроструктура основного металу типова для сірого ферито-перлітного чавуну. По лінії сплавлення спостерігається смуга шириною 0,2 мм, що має структуру перліт + ледебурит + голки цементиту. Твердість  $\leq 65$  HRc. Далі вглиб наплавленого металу - перліт + ділянки крупногоголкового мартенситу + аустеніт + графіт відпалу. Твердість цієї зони  $\leq 50$  HRc.

Мікроструктура на ширину 2 мм від лінії сплавлення, являє собою суміш мартенситу з троститом різної дисперсності. Твердість 46-50HRc. Біля самого сплавлення – крупні зерна тростито-мартенситу і грубі голки мартенситу. Твердість 54HRc. Далі на ширину 2,5 мм структура характеризується наявністю феритних зерен, невеликої кількості перлітних зерен і включень третичного цементиту. Твердість 250-274 НВ. Верхній шар – основа феритна. Незначні включення перліту і третичного цементиту. Твердість 170-206 НВ.

В результаті досліджень зварних швів пор, тріщин і інших дефектів в зварних швах і зоні термічного впливу не виявлено. Твердість металу шва не перевищувала 180-200 НВ і дозволяла легко проводити механічну обробку зварних швів звичайним металоріжучим інструментом.

## Висновки

1. Здійснення способу холодного зварювання чавуну, що захищений патентом на корисну модель [4], дозволяє видалити з шва надмірну кількість вуглецю у складі об'ємів зварного шва, що видаляються, а це приводить до підвищення якості зварного шва і зниження твердості наплавленого металу без застосування дорогих спеціальних електродів і складних технологічних прийомів.

2. Впровадження способу холодного зварювання чавуну в промисловість дасть значний економічний ефект за рахунок використання недефіцитних і відносно дешевих сталених електродів марки УОНИ-13/55, при високій якості зварних з'єднань.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Иванов Б.Г, Журавицкий Ю.И., Левченков В.И. Сварка и резка чугуна. М., «Машиностроение», 1977. стр. 56-65.
2. Авторское свидетельство СССР №339358, кл. В 23 к 9/14, 1972.
3. Авторское свидетельство СССР №531694, кл. В 23 к 33/00, 1976.
4. Патент на корисну модель UA. №25428, кл. В 23 к 33/00, 2007.

### НАПЛАВКА КОМПЛЕКСНОЛЕГИРОВАННЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ ЛЕГИРОВАННЫХ АЗОТОМ

Петренко А. Н.

Украинская инженерно-педагогическая академия

**Вступление.** Вопросам влияния азота на свойства сталей, его растворимости и поведения в металле уделялось много внимания, как в нашей стране, так и за рубежом. В настоящее время в промышленности используется более 200 марок сталей, легированных азотом.

Стали, легированные азотом, принято подразделять на две категории:

-стали с содержанием азота ниже равновесного;

-стали с содержанием азота выше равновесного ("сверхравновесные").

Первые получают в условиях при атмосферном давлении азота. Вторые – при повышенном давлении азота, позволяющем сохранить большее его содержание в металле, чем при открытой выплавке.

**Актуальность.** Легирование азотом дисперсионно-твердеющих сталей приводит к образованию мелкодисперсных нитридов по границам зерен, препятствующих их росту, позволяет повысить предел текучести и ударную вязкость металла.

Совершенствование азотистых сталей, как с равновесным, так и с сверхравновесным (до 2%) содержанием азота обеспечивает получение ресурсосберегающих конструкционных и функциональных материалов, имеющих при соответствующем легировании высокие показатели прочности, стойкости к различным видам коррозии, износостойкости.

Легирование азотом нержавеющей сталей, позволяет уменьшить в них содержание никеля и марганца в полтора – два раза, а в некоторых случаях вообще исключить эти элементы. Нержавеющие стали, легированные азотом, превосходят по прочности, вязкости и коррозионной стойкости традиционные нержавеющей стали. Обладают улучшенной технологической пластичностью при высоких и низких температурах.

**Постановка проблемы.** Как наплавочные материалы, жаропрочные и жаростойкие аустенитные стали используются относительно давно. Заметное повышение стойкости прокатных валков обжимных и пилигримовых станов достигалось наплавкой сталями 10X20N10Г6Т, 10X20N10Г6В; стали 0X18N9, 10X18N9Т применялись для наплавки поверхностей арматуры, лопастей гидротурбин, деталей гидросооружений и т.п.

В настоящее время ряд деталей дополнительно наплавляют жаростойкими сплавами ВЗК и ВХН-1. С учетом возможности появления пор вследствие образования легкоплавкого летучего окисла молибдена  $MoO_3$ , для проверки качества наплавленного жаростойкого сплава была выбрана сталь 50X25H4AG9M4B.

Увеличение прочностных характеристик и показателей запаса пластичности способствует росту износостойкости. Исходя из отмеченного, стали системы С-Cr-Mn-N-Ni-Mo-Nb повышенной жаропрочности [1], заметно превосходящие по этому показателю широко применяемые аустенитные стали являются перспективными как износоустойчивый материал. Сталь указанной системы 50X25H4AG9M4B (разработка НАМИ и з-да «Электросталь») относится к сплавам с карбонитридным упрочнением, ее механические характеристики заметно изменяются после старения, в частности, повышается прочность (при кратковременных испытаниях) до значений 1150...1290 МПа (таблица 1).

Так как изготовление проволоки сплошного сечения из рассматриваемой стали практически невозможно, а порошковых электродов (исключая ленточные) – затруднительно, исследовались возможности сварки трением рабочей части детали из жаропрочной стали с несущей частью (материалом которой обычно являются низколегированные стали), ванношлаковой наплавки и электрошлакового литья.

Таблица 1 – Длительная прочность.

Температура, °С	700		750		800			850		
Напряжение, МПа	90	160	70	160	100	150	200	50	70	100
50X25H4AG9M4B	-	-	-	338	258	51	10	545	270	60
40X14H14B2M	-	100	244	-	40*	-	-	94	-	-

С учетом заметного влияния карбонитридной строчечности на показатели запаса пластичности (особенно – ударную вязкость) проводились эксперименты по ванношлаковой наплавке и отливке, как для получения конкретных деталей, так и для заготовок для экструдирования.

**Результаты исследований.** Свойства сварных соединений 50X25H4AG9M4B + 40X сопоставлялись с характеристикам и соединения 40X14H14B2M + 40X.

Сваривались образцы диаметром 20, 22, 32 мм. Основная термическая обработка проводилась до сварки, что облегчало ее выполнение по резко различным для свариваемых сталей режимам и уменьшало возможность образования обезуглероженной прослойки и карбидной гряды в сварном соединении.

При сварке на «мягких» режимах, характеризующихся невысокими значениями давления нагрева и проковки и относительно большой продолжительности нагрева, отмечался кольцевой непровар в сварных стыках, особенно для пары 50X25H4AG9M4B + 40X. Суммарная осадка заметно увеличивалась с повышением удельного давления при нагреве, ее величина зависит от состава и жаропрочности высоколегированных сталей, минимальные значения осадки отмечены при сварке сталей 50X25H4AG9M4B + 40X.

Таблица 2 – Влияние состава свариваемых сталей и давления нагрева на суммарную осадку

Наименование свариваемых материалов	Параметры режима сварки				
	Удельное давление, МПа		Время нагрева, с	Скорость вращения, об/мин	Суммарная осадка, мм
	нагрева	проковки			
40X14H14B2M + 40X	80	200	8...9	1000	8...10
50X25H4AG9M4B + 40X	50	200	9...10	1000	0,6...1,0
То же	80	200	9...10	1000	1,5...2,5
То же	120	200	9...10	1000	2,9...3,5



Образцы для определения усталостной прочности сваривались на жестких режимах.

В отличие от сварки плавлением при сварке трением не протекает (в связи с малым временем и значительно более низкими температурами) заметная диффузия из перлитной стали в аустенитную. Всплески концентраций углерода и ниобия совмещены, т.е. единичные участки резкого повышения содержания указанных элементов совпадают с расположением карбидов ниобия.

Протяженность зоны переменного состава в соединении 50X25H4AG9M4B + 40X по хрому, никелю и молибдену составила 280...330 мкм. В пределах зоны переменного состава отмечаются заметные колебания концентрации хрома и никеля, особенно до отпуска.

Опытные наплавки на торец стержневой заготовки из стали 40X проводились стержнями диаметром 26...32 мм по одноэлектродной схеме. Ванношлаковая наплавка велась в интенсивно охлаждаемой медной форме под флюсом АНФ-6. Процесс начинался как возбуждением дуги между электродом и торцом вертикально установленного стержня-заготовки, так и "горячим" стартом. Средние значения тока и напряжения, обеспечивших получение плотного наплавленного металла, составляли 1200 А и 36 В.

Наличие примесей и загрязнений, скапливающихся по границам зёрен, снижает жаропрочность, твёрдость, жаростойкость. Предполагалось заметное повышение общей чистоты металла и снижение в нём концентрации вредных примесей (прежде всего - серы), обеспечение направленной кристаллизации металла и уменьшение физической и химической неоднородности.

Содержание серы после ванношлаковой наплавки уменьшилось (с 0,018% до 0,008%), а концентрация остальных элементов практически не изменилась. Загрязнённость металла неметаллическими включениями до наплавки соответствовала баллу 5а, а после – 1а.

Так как сталь 45X14H14B2M не содержит модифицирующих добавок, наплавленный металл имел большую величину зерна по сравнению с катаной сталью, ударная вязкость относительно невысока (таблица 3).

Структура наплавленного металла марки 50X25H4AG9M4B аустенитная, мелкозернистая с равномерно расположенными как по границам зёрен, так и внутри них дисперсными карбидами и нитридами. Равномерное распределение упрочняющей карбонитридной фазы способствует повышению характеристик запаса пластичности (особенно ударной вязкости) и прочности (таблица 3).

Таблица 3 – Механические свойства сталей 45X14H14B2M и 50X25H4AG9M4B в исходном состоянии и после ванношлаковой наплавки

Марка стали	Вид	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Твердость НВ, МПа	Ударная вязкость при T, K (МДж/м <sup>2</sup> )		
					293	873	1023
45X14H-14B2M	прокат	320	820	1700...2100	-	-	-
	ЭШП	510-530	750-770	<u>1650-1850</u> 2050-2350 *	0,2-0,28	0,2-0,55	0,33-0,52
50X25H4-AG9M4B	прокат	-	1060-1080	3100-3300	0,15-0,20	-	-
	ЭШП	-	<u>1080-1100</u> 1150-1200*	<u>3000-3200</u> 3700-4000**	<u>0,35-0,5</u> 0,40-0,6**	-	-

\* – в числителе – после переплава, в знаменателе – после переплава и старения (1053 К, 16 ч) поперечные образцы.

\*\* – в числителе – после переплава, в знаменателе – после переплава и закалки (1453 К, 50 мин в воду), поперечные образцы.

Дуговая наплавка проволоками (сплошного сечения или порошковыми) осуществляется под флюсом либо в среде азота. Применение азота как защитно-легирующей среды при наплавке аустенитными проволоками на прямой полярности обеспечивает

снижение доли участия основного металла до значения, при которых сплав первого слоя близок составу проволоки (Св-04Х18Н9, Св-08Х18Н9Т, Св-08Х20Н10Г7Т).

Легирование металла азотом на стадиях образования капли  $[N]_к$ , после прохождения через дугу и в однослойном валике  $[N]_н$ , зависит от параметров режима, полярности, состава проволок (и основного металла – для  $[N]_н$ ) [2]. При наплавке на обратной полярности  $[N]_к$  и, особенно,  $[N]_н$  ниже по сравнению с их величинами для прямой полярности.

Качественно зависимость  $[N]_н$  от параметров режима примерно одинакова как при наплавке аустенитными, так и порошковыми проволоками. Плотный аустенитный металл получен при  $[N] \leq 0,20 \dots 0,27\%$ . С увеличением  $[N]_н$  повышается твердость и прочность, (особенно при замене хромоникелевой и хромоникельванадиевой проволоки, хромоникельмарганцевой Св-08Х20Н9Г7Т), снижается доля высокотемпературного феррита. В мартенситно-бейнитных сплавах легирование азотом влияет на механические характеристики, снижает остаточные напряжения вследствие понижения температурного интервала мартенситного превращения.

**Выводы.** Зона переменного состава при сварке трением имеет малую протяженность. В пределах зоны переменного состава отмечаются заметные колебания концентрации хрома и никеля, особенно до отпуска.

Благоприятная для повышения износостойкости направленность кристаллитов (при ванношлаковой наплавке), наличие дисперсных термодинамически стойких карбидов и карбонитридов, довольно высокая красностойкость способствуют повышению долговечности наплавленных и литых методом ЭШЛ деталей.

Улучшение формирования валиков для наплавки на прямой полярности (особенно – широкослойной) может достигаться многоэлектродным вариантом, сочетанием циклического переключения дуги прямого действия на дугу косвенного действия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патон Б.Е., Медовар Б.И., Саенко В.Я. Современные процессы производства высокоазотистых сталей и сплавов и перспективы применения дугошлакового переплава под давлением для их получения // Проблемы спецэлектротехнологии. – 1992. №2. – С. 5-23.
2. Кальянов В.Н., Багров В.А., Петренко А.Н. Ресурсосберегающие сплавы и технологии износостойкой наплавки [Текст]: Монография. – Х.: Издательство «НТНТ», 2009. – 130 с.

#### ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Cr-Mn-Mo-Ti С ОГРАНИЧЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ХРОМА И МОЛИБДЕНА

Багров В.А., Дерябкина Е.С.

Украинская инженерно-педагогическая академия

Введение. Наличие в структуре наплавленного металла карбидов тугоплавких металлов (TiC, VC, NbC, WC и др.) повышает износостойкость металла, работающего при различных видах износа. Перераспределение легирующих элементов между карбидной фазой и матрицей сплава зависит от многих факторов, регулировать которые очень трудно, а во многих случаях невозможно. Важное значение при этом имеет количество и распределение твердых карбидных включений в матрице, их формы и размеры. Для восстановления штампов широкое применение получила наплавка.

Служебные характеристики наплавленного металла, предназначенного для работы в различных условиях износа, определяются прежде всего системой легирования и как следствием этого, различным фазовым составом и структурой. При этом наименее благоприятной фазовой составляющей является феррит, поскольку имеет невысокий уровень твердости, износостойкости, вязкости и сопротивляемости разрушению.

Весьма перспективными по своим технологическим и механическим свойствам являются мартенситно-стареющие стали. Их применение имеет ряд преимуществ перед металлом мартенситного класса: возможность наплавки без предварительного и сопутствующего подогрева; сравнительно невысокая исходная твердость, позволяющая производить механическую обработку наплавлениях изделий резанием; простота термической обработки.

Однако высокая стоимость и дефицитность таких легирующих элементов, как никель и кобальт, ограничивают широкое применение этих сплавов. Поэтому особое внимание заслуживают так называемые экономнолегированные мартенситно-стареющие стали, получившие применение для инструментов. Особенностью этих сталей является содержание никеля в интервале концентраций 6-12% при дополнительном легировании хромом, марганцем, молибденом, вольфрамом и ванадием. В случае применения сплавов с меньшим содержанием никеля (до 3 %) в качестве элемента замещения используют медь до 2%.

Наличие в структуре наплавленного металла карбидов тугоплавких металлов (TiC, VC, NbC, WC и др.) повышает износостойкость металла, работающего при различных видах износа. Перераспределение легирующих элементов междукарбидной фазой и матрицей сплава зависит от многих факторов, регулировать которые очень трудно, а во многих случаях невозможно. Важное значение при этом имеет количество и распределение твердых карбидных включений в матрице, их формы и размеры.

Актуальность и исследования.

Исследования, направленные на снижение энерго- и ресурсозатрат при восстановительной наплавке обрабатываемого инструмента и одновременном повышении его надежности и долговечности, в последнее время стали особенно актуальны. Практическое решение задачи осуществляется путем разработки новых и совершенствования имеющихся наплавочных материалов с экономно легированными покрытиями и шихтой, применением оптимального способа их наплавки с учетом особенностей поведения материалов в реальных условиях [1]. Для наплавки инструмента горячего деформирования металла регулирование структуры и фазового состава как в доэвтектоидных, так и в заэвтектоидных сталях можно добиться изменением содержания марганца, как аустенизатора и титана, как активного карби до образующего элемента

Постановка задачи.

Исследовать влияние температуры отпуска и повышенных температур на твердость и пластичность наплавленного металла систем Cr-Mn-Mo-Ti и Cr-Mn-Ti на основе железа регулированием структуры и фазового состава.

Результаты исследования.

Существенного повышения прочности и снижения энергоемкости производства восстанавливаемых деталей наплавкой позволяет достичь применение дисперсионно твердеющих сплавов [2-4]. Хорошей комбинацией свойств – твердости, прочности и пластичности – обладают никелевые мартенситно-стареющие сплавы, упрочняемые при старении за счет введения Al или Mo [2]. Введение Mo и значительное содержание активных карбидообразующих элементов (Ti, Cr) дает возможность снизить содержание несвязанного углерода до 0,05-0,3 %. Это весьма важно при использовании в качестве наплавочных материалов порошковых проволок из низкоуглеродистой ленты. В исследуемой системе легирования (Cr-Mn-Ti-Si) отсутствие Ni компенсировалось увеличением содержания Mn до 10...12 % и введением Al из ферротитана (компонент шихты порошковой проволоки). Влияние количества Ti при наплавке под керамическим флюсом и с обесточенной присадкой [β] на химический состав наплавленного металла приведены в табл. 1.

Послойный анализ химического состава показывает, что применение дополнительной присадочной проволоки дает относительно равномерное распределение легирующих элементов по высоте наплавленного металла. Исследование влияния относительной массы присадки на микроструктуру наплавленного металла показало, что с ее увеличением стабилизируется структурный и фазовый состав многослойной наплавки.

Таблиця 1 - Влияние [Ti] и [β] на химический состав наплавленного металла

Химический состав наплавленного металла под керамическим флюсом					
Химический элемент	Содержание [Ti] в наплавленном металле, %				
	0,22	1,62	2,04	2,25	2,41
Cr	8,20...9,00	7,21...8,10	6,42...7,80	6,00...7,60	5,56...7,50
Mn	1,03...1,50	1,20...1,60	1,10...1,56	1,20...1,55	1,30...1,50
Si	0,80...1,40	1,25...1,50	1,30...1,70	1,38...1,80	1,42...1,73
Al	0,02...0,04	0,05...0,09	0,09...0,13	0,14...0,17	0,19...0,23
Химический состав наплавленного металла при наплавке порошковыми проволоками					
Количество ввода обесточенной присадки, %	Содержание химических элементов в наплавленном металле				
	Ti	Cr	Mn	C	Si
0	1,33	2,64	4,6	0,4	1,08
25	1,62	3,28	5,72	0,48	1,11
50	2,19	4,36	7,60	0,53	1,10
75	2,38	4,72	8,22	0,57	1,12

Влияние температуры отпуска и повышенных температур на твердость наплавленного металла сплавов систем Cr-Mn-Mo-Ti и Cr-Mn-Ti на основе железа показано на рис. 1,2.

Твердость исследуемой стали 20X3Г9М5Т2С после наплавки составляла 37...40 HRC. После старения при T=850 К, τ=2 ч твердость составила 49...55 HRC, что можно объяснить увеличением количества вторичных карбидов. Увеличение выдержки при этой температуре, а также повышение температуры старения до 920 К не привело к заметному повышению твердости, а способствовало ее снижению.

Исследования влияния температуры на твердость сплавов показали, что в интервале температур 293...870 К твердость снижается незначительно. Снижение твердости на 8...10 HRC в данном интервале температур свидетельствует о высокой теплостойкости сплавов систем Cr-Mn-Ti и Cr-Mn-Mo-Ti.

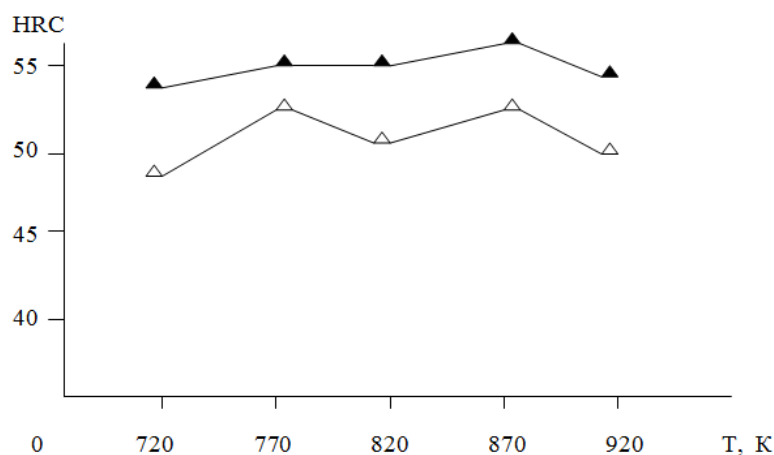


Рисунок 1 - Влияние температуры отпуска на твердость исследуемых сталей (время выдержки τ=2 ч, охлаждение на воздухе)

△ - 40X4Г8Т2С; ▲ - 20X3Г9М5Т2С

Одним из показателей теплостойкости сталей является пластичность. Анализ пластичности этих сталей после вторичного твердения показал, что она выше, чем у сталей 50ХНМ и 35Х4В3М3Ф, и не уступает никелевым мартенситностареющим сплавам. Зависимость относительного удлинения от твердости исследуемых сталей приведена на рис 3

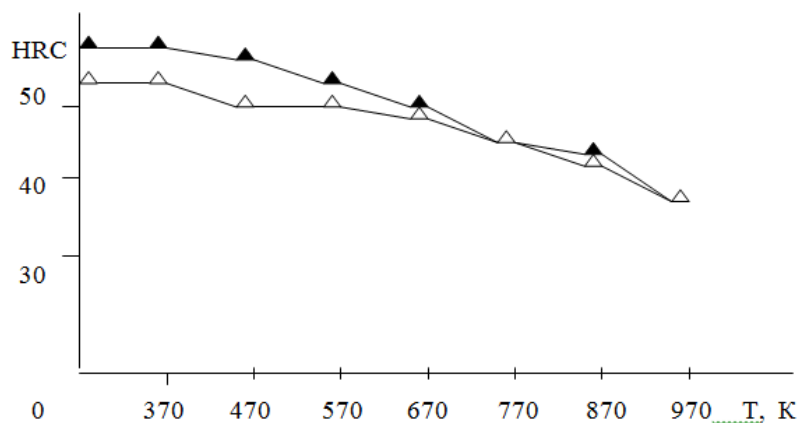


Рисунок 2 - Влияние температуры на твердость исследуемых сталей после отпуска ( $T_{\text{отп.}}=850 \text{ K}$ ,  $\tau=2$  часа, охлаждение на воздухе)  
 $\triangle$  - 40X4Г8Т2С;  $\blacktriangle$  - 20X3Г9М5Т2С

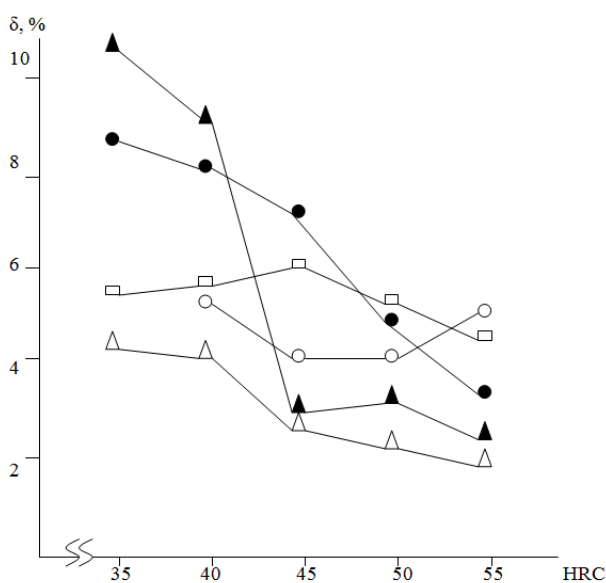


Рисунок 3 - Зависимость относительного удлинения от твердости исследуемых сталей при повышенных температурах:  
 $\triangle$  - 50ХНМ;  $\circ$  - 35Х4В3М3Ф;  $\square$  - 10Х6Н8М7С;  $\blacktriangle$  - 40X4Г8Т2С;  $\bullet$  - 20X3Г9М5Т2С.

#### Выводы.

1. Повышению теплостойкости сплавов системы Cr-Mn-Ti на основе железа способствует увеличение содержания фазы [TiC]; введение [Mo] стабилизирует значения твердости при повышенных температурах, повышает теплостойкость и твердость при дисперсионном твердении.

2. Повышение износостойкости стали 20X3Г9М5Т2С достигнуто за счет дополнительного диффузионного образования карбидной фазы при старении, снижения адгезионной составляющей силы трения, повышения контактной прочности и микропластичности поверхностного слоя, значительного количества и равномерного распределения в объеме наплавленного металла карбидной фазы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патон Б.Е. Проблемы сварки на рубеже веков / Сварка и родственные технологии – в XXI век: Сб. тр. междунар. конф. «Сварка и родственные технологии – в XXI веке». - Киев. ИЭС им. Е.О.Патона, 1998. - С. 7.
2. Бирман С.Р. Экономно легированные мартенситностареющие стали. – М.: Металлургия, 1974. – 207.
3. Кондратьев А.А. Самозащитная порошковая проволока для наплавки слоя мартенситностареющей стали. // Автомат. сварка. – 1994. - №1. – С. 49-51.

4. Каковкин О.С., Дарахвелидзе Ю.Д., Старченко Г.Г. Особенности легирования наплавленного металла карбидом титана при дуговой износостойкой наплавке. // Сварочное производство. – 1999. - №5. – С.41-42.

## **ВИСОКОШВИДКІСНИЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЗАТИСКНИЙ ПАТРОН З ГІДРОПЛАСТОМ**

Кузнецов Ю.М., Цвид Т.А.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Однією з світових тенденцій розвитку машинобудування є високошвидкісна (High Speed Cutting) обробка за рахунок використання прогресивного ріжучого інструменту і високооборотних мотор-шпинделів [1]. Це висуває додаткові вимоги до затискних механізмів і, зокрема, до інструментальних затискних патронів (ІЗП) для інструментів з циліндричним хвостовиком (свердл, фрез, тощо).

На кафедрі конструювання верстатів та машин НТУУ «КПІ» проводяться дослідно-конструкторські і науково-дослідні роботи зі створення, дослідження і розрахунку високошвидкісних ІЗП для верстатів нового покоління, в тому числі з механізмами паралельної структури.

З використанням генетико-морфологічного підходу створений ІЗП, в якому реалізований на хромосомному рівні силовий потік  $M_{\alpha 1} - F_{r2}$  (батьківська хромосома), де входом є крутний момент  $M_{\alpha 1}$  навколо осі обертання, а виходом радіальна сила затиску  $F_{r2}$  [2].

Аналіз патентно-інформаційних джерел показав, що вже існують затискні патрони з батьківською хромосомою  $M_{\alpha 1} - F_{r2}$ .

Найбільш близьким по технічній суті та досягаемому ефекту є затискний патрон з гідропластовим наповненням [3]. Тонкостінна втулка і корпус приводу утворюють робочу порожнину, кінці втулки запресовані в корпус, крім того, один кінець якої, виконаний у вигляді фланця, закріплений гвинтами, робоча порожнина з'єднана з плунжерною камерою. При переміщенні плунжера створюється високий гідростатичний тиск, який пружно деформує тонкостінну оболонку втулки в радіальному напрямку і затискає хвостовик інструмента або заготовку. Недоліком цього патрона є те, що для створення гідростатичного тиску на втулку, потрібна додаткова плунжерна камера, яка обумовлює застосування гнучких трубопроводів для підведення тиску живлення, що ускладнює його конструкцію і для створення необхідної сили затиску витрачається достатньо допоміжного часу, а також ускладнюється статичне і динамічне балансування при роботі на високих частотах обертання.

Запропонований ІЗП дозволяє спростити конструкцію, відмовившись від використання барометричних камер, для підтримки високого гідростатичного тиску, а також підвищити швидкість затиску і надійність балансування патрону при роботі на високих частотах обертання завдяки поворотній обоймі.

Затискний патрон складається з корпусу 1 (рис. 1), на який встановлено поворотну обойму 2 на двох голчастих підшипниках кочення 3. В корпусі 1 виконані радіальні отвори, в яких розташовані циліндричні плунжери 4, які стискають плинне середовище 5, наприклад, гідропласт. В середині корпусу 1 запресована циліндрична втулка 6, на зовнішній поверхні якої виточені канавки (рис.1, в), що утворюють тонкостінну циліндричну оболонку 7. У робочу порожнину А заливається плинне середовище 5 через канали В, які після заповнення робочої порожнини А, закриваються гвинтами 8. Внутрішня поверхня поворотної обойми 2 між голчастими підшипниками 3 виконана у вигляді трикутноподібного профілю з дугоподібними сторонами, дотичні до них і до вписаного в трикутник кола утворюють кут

підйому  $\alpha$ , що не перевищує кут самогальмування і знаходиться в межах  $1^\circ$ - $3^\circ$  при умові що  $\alpha < \varphi$  (де  $\varphi$  – кут тертя ковзання).

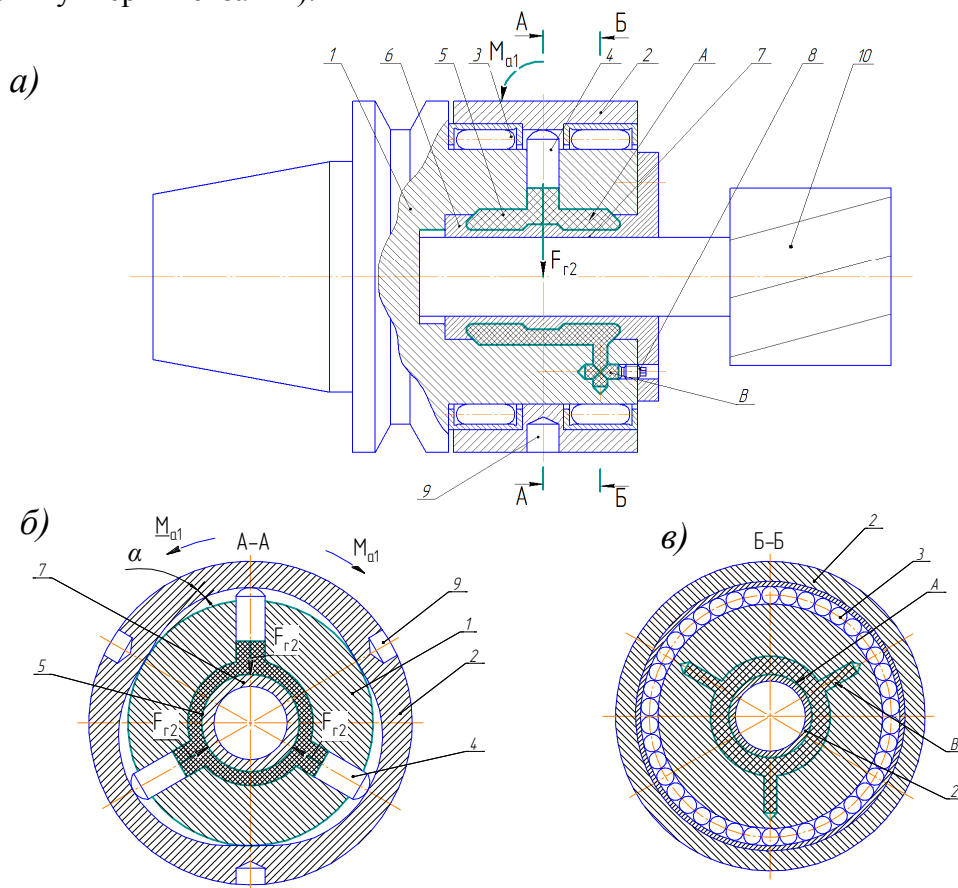


Рисунок 1 – Високошвидкісний інструментальний затискний патрон з гідропластом: *а* – поздовжній переріз; *б, в* – поперечні перерізи А-А, Б-Б

Затискний патрон працює наступним чином. При повороті обойми 2 з положення, зображеного на рис. 1, б, за допомогою радіальних отворів 9 і стрижня (не показаний) в ту чи іншу сторону створюється крутний момент  $M_{a1}$  (за годинниковою стрілкою) або  $\underline{M}_{a1}$  (проти годинникової стрілки) і за рахунок кута підйому  $\alpha$  плунжери 4 занурюються в напрямку осі патрону, створюючи тиск, який викликає радіальну силу затиску  $F_{r2}$ , що стискає гідропласт 5. В результаті відбувається радіально-пружна деформація оболонки 7 тонкостінної втулки 6, яка стискає циліндричний хвостовик різального інструменту 10. Розтиск здійснюється при зворотньому повороті обойми 2 у вихідне положення (рис. 1, б).

Створений ІЗП можна використовувати не тільки у свердлильно-фрезерних і багатоцільових верстатах, а і в токарних і шліфувальних верстатах з ЧПК.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Фіранський В.Б., Гуменюк О.А. Инструментальные зажимные патроны. – К.: ООО "ГНОЗИС". 2012. – 286с.

2. Кузнецов Ю.Н., Хамуйела Жоаким А.Г., Ангел Попаров. Генетико-морфологический подход к созданию и прогнозированию развития зажимных механизмов для вращающихся деталей // Journal of the Technical University – Sofia. – Plovdiv branch, Bulgaria “Fundamental Sciences and Applications”. – Bulgaria, vol. 19, Book 2, 2013. – pp. П7–13.

Свириденко С.Х. «Элементы автоматизации металлорежущих станков» /С.Х. Свириденко, Л.С. Ахмечет, А.А. Волков и др. – «Машиностроение», Москва, 1964. – 183 с.

## ВИЛИВНИЦЯ ДЛЯ ВІДЛИВАННЯ ПУСТОТІЛИХ ЗЛИТКІВ

Марков О.Є., Руденко Н.О.  
Донбаська державна машинобудівна академія

Однією з основних проблем важкого машинобудування є виготовлення якісних виробів. Особливо це стосується крупних поковок, які виготовляють куванням злитків. Характерними дефектами для крупних поковок є несуцільності і рихлоти у центральній зоні злитка. Також тип злитка, що використовується залежить від типу поковок, що виготовляються. Для порожнистих поковок типу труб або кілець (бандажів) бажано використовувати порожні злитки, щоб також виключити операцію прошивання за рахунок одержання наскрізного отвору, що зменшить витрати металу.

Для отримання таких злитків використовують виливниці зі стрижнями, які кріпляться в прибутковій частині виливниці [1]. Недоліком такої конструкції є те, що стрижень є одноразовим, виготовляється з вогнетривких матеріалів, які будуть потрапляти в розплавлену сталь і будуть забруднювати злиток. Кріплення в прибутковій частині злитка та заливання знизу крізь центральний отвір призведе до отримання злитків з глухим дном [2].

Конструкція виливниці (рис. 1) складається з корпусу 1, який установлюється на піддон 2, в центральний отвір якого вставляється металевий стрижень 3 для формування внутрішньої порожнини злитка. Між корпусом 1 та стрижнем 3 утворюється зазор  $z$ . В цей зазор зверху заливається рідка сталь на задану висоту  $H_{зл}$ , яка визначається об'ємом (вагою) злитка. Кристалізація злитка відбувається від стінок виливниці та поширюється до металевого стрижня. В верхній частині злитка утворюється усадочна раковина, яка видаляється в процесі кування. Розпресовування стрижня здійснюють під пресом при досягненні температури поверхні нижнього кінця 600...650 °С для виключення деформації його при випресовуванні. Металевий стрижень 3 виключить забруднення сталі вогнетривкими матеріалами і може бути використаний для виготовлення інших злитків. Діаметр стрижня повинен бути більшим або дорівнювати діаметру оправки, на якій у подальшому буде деформуватися злиток.

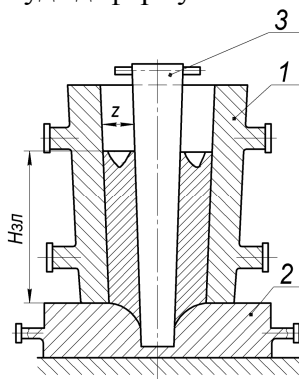


Рисунок 1 – Виливниця для відливання порожнистих злитків

Запропонована конструкція виливниці забезпечує підвищення якості металу злитка за рахунок зменшення забруднення його вогнетривкими матеріалами, а також виключення операції прошивання дна за рахунок одержання наскрізного отвору, що зменшить витрати металу, а також дозволить підвищити стійкість центрального стрижня і зробити його багаторазовим.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Соколов Л. Н. Теория и технологияковки / Л. Н. Соколов, И. К. Голубятников, В. Н. Ефимов, И. П. Шелаев; Под ред. Соколова Л. Н. - К. :Выща школа, 1989. – 317с.

2. Пат 13747 Україна, В 22 D 7/06. Виливниця для відливання порожнистих злитків // І. С. Алієв, О. Є. Марков, О. В. Шульженко; заявник і патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – u200509944; заявл. 21.10.2005; опубл. 17.04.2006; Бюл. № 4/2006. – 2 с. : ил.



## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОКООРДИНАТНОГО ВЕРСТАТА ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ «ПЕНТАПОД»

Шелепко О.В., Кириченко А.М.  
Кіровоградський національний технічний університет

Розвиток сучасного машинобудування неможливий без впровадження передового технологічного обладнання, до якого можна віднести багатокоординатні верстати паралельної структури. За рахунок їх використання стає можливим підвищення показників продуктивності та гнучкості виробництва, оскільки дане обладнання забезпечує високі прискорення (до  $120 \text{ м/с}^2$ ), завдяки переміщенню малих мас та здатність комбінування на одному верстаті різних методів обробки (фрезерування, лазерної та токарної). Одною з перспективних конструкцій верстатів паралельної структури для багатокоординатної обробки є «пентапод» [1, 2], що забезпечує поворот робочого органа на кут більше  $90^\circ$ , порівняно з  $30^\circ$  для схеми «гексапод».

При виготовленні верстатів одним з найважливіших показників є жорсткість, що визначає точність обробки, якість обробленої поверхні та динамічні характеристики обладнання. Матриця просторової жорсткості верстата паралельної структури «пентапод» (рис. 1) [3] включає величини жорсткості компонентів верстата, зокрема шарнірних опор і робочого органа. Експериментальні вимірювання жорсткості багатокоординатних верстатів паралельної структури наведено у [4].

Таким чином, метою роботи є визначення пружних деформацій шарнірних опор робочого органа від силового навантаження.

Для проведення вимірювань розроблено і виготовлено робочий орган багатокоординатного верстата паралельної структури «пентапод» (рис. 2), що складається з мотор-шпинделя 1 потужністю 2,2 кВт та п'яти шарнірів 2 із радіально-упорними підшипниками, спільна вісь яких співпадає з віссю шпинделя. Для сприйняття осьового навантаження між шарнірами розміщені упорні роликові підшипники.

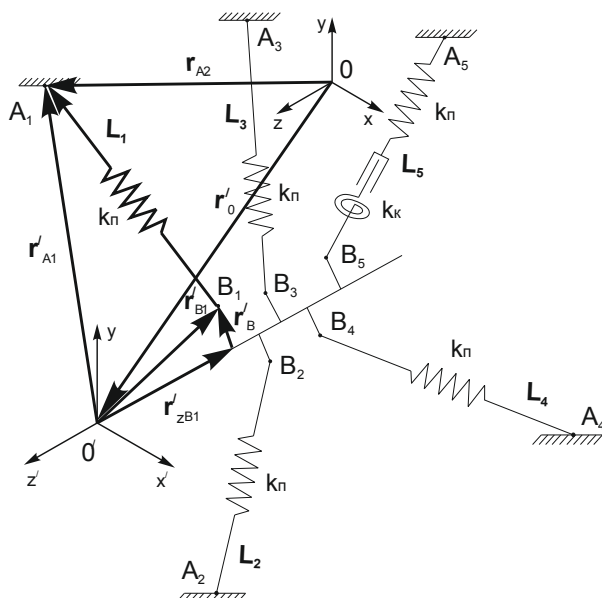


Рисунок 1 – Розрахункова схема механізму «пентапод» для визначення кінематики і жорсткості

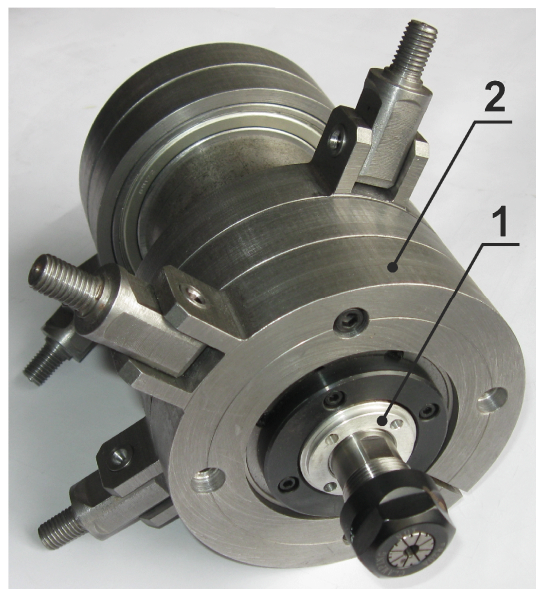


Рисунок 2– Робочий орган багатокоординатного верстата паралельної структури типу «пентапод»

Зміна орієнтації робочого органа у просторі відбувається при зміні положення шарнірів 2 завдяки радіально-упорним підшипникам, які здійснюють одночасний рух відносно корпусу шарніра 2 і шпинделя робочого органа 1.

Вимірювання переміщень виконувалось на столі фрезерного верстата (рис. 3). Робочий орган 1 та стійка 3 з вимірювальним індикатором 4 нерухомо закріплені на столі 5. Навантажувальна планка 6 безпосередньо закріплюється на вилці 7 шарнірів 2. Навантаження створювалось за допомогою переміщення шпинделя верстата, зусилля контролювалось за допомогою динамометра 8. У якості вимірювального пристрою 4 використано індикатор Mitutoyo 513 з ціною поділки 0,002 мм.

Графік залежності переміщення шарнірів робочого органа від величини прикладеного навантаження (рис. 4) показує, що максимальне переміщення спостерігається у шарнірі 3, а мінімальне – у шарнірі 1.

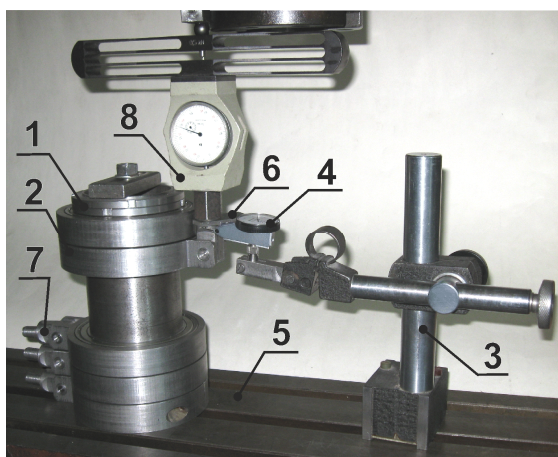
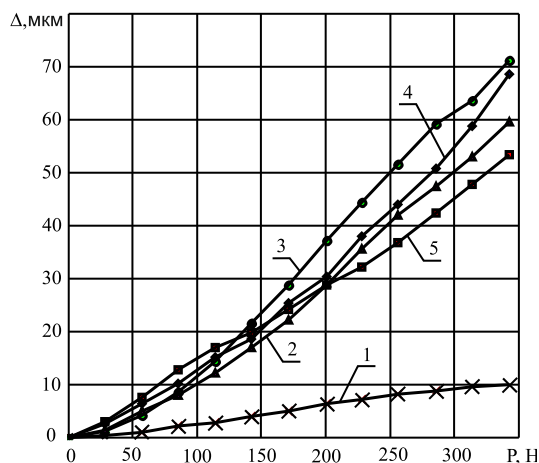


Рисунок 3 – Дослідний стенд для вимірювання жорсткості шарнірів робочого органа



1-5 – номер шарніра  
Рисунок 4 – Залежність пружного переміщення від навантаження

Висновки. Розроблено конструкцію робочого органа верстата паралельної структури «пентапод» з підшипниковими опорами. Експериментальні вимірювання показали, що жорсткість шарнірів з підшипниками дорівнює 5...6 Н/мкм, тоді як жорсткість шарніру без підшипника – 35 Н/мкм. Таким чином, жорсткість шарнірів робочого органа запропонованої конструкції в основному визначається жорсткістю радіально-упорних підшипників.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Bär G. F. Kinematic Analysis of a Pentapod Robot / Gert F. Bär, Gunter Weiß // Journal for Geometry and Graphics 10 (2006). – No. 2. – P. 173-182.
2. Кириченко А.М. Кінематика п'ятикоординатного верстата з паралельною структурою / А.М. Кириченко, О.В. Шелепко, С.П. Сапон // Вісник ЧДТУ. Серія ТН. – Чернігів, 2013. – №67 (3). – С. 100-104.
3. Кириченко А.М. Просторова жорсткість верстата з механізмом паралельної структури «пентапод» / А.М. Кириченко, О.В. Шелепко, М.І. Черновол // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Вип. 42, ч. II. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 187-190.
4. Струтинський В. Б. Експериментальне визначення матриці жорсткості моделі гексапода / В. Б. Струтинський, А. М. Кириченко // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград : КНТУ, 2011. – Вип. 40, ч. I. – С. 133-141.

## **ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ БАЗОВИХ ПРОЦЕСІВ ОДЕРЖАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Колосов О.Є.

НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

Розроблено комплексний підхід до наукового обґрунтування енергоощадних процесів та обладнання для одержання реактопластичних виробів покращеної якості на основі композицій епоксидних полімерів (ЕП), армованих волокнистими наповнювачами (ВН), в акустичному полі ультразвукової (УЗ) частоти, а також з прогнозуванням фізико-механічних властивостей одержуваних виробів [1]. Зокрема:

1. Розроблено уточнене прогностичне кінетичне рівняння процесу просочування ВН ЕЗ з використанням класичної теорії фільтрації для ламінарної течії в'язкої не ньютонівської рідини, що не стискується, з урахуванням структурних характеристик ВН як капілярно-пористого тіла, а саме: пористості, питомої внутрішньої поверхні, ефективного (еквівалентного) капілярного радіуса.

2. Вперше розроблено ряд розрахунково-експериментальних методик визначення ефективного капілярного радіуса ВН на основі аналізу сімейства характерних експериментальних кінетичних кривих процесу просочування, з урахуванням зусилля натягнення ВН при просочуванні, а також розрахунковим шляхом для гексагонального упакування волокон у структурі ВН.

3. Розроблені удосконалені методики дослідження кінетичних параметрів процесу просочування з використанням оптичного методу світло-пропускання. Вперше створені адекватні експериментально-статистичні моделі для визначення ефективного капілярного радіуса у залежності від зусилля натягнення ВН при просочуванні, які дозволяють оптимізувати режими і конструктивні параметри реалізуючого їх технологічного обладнання, а також спрямовано регулювати склад і кінцеві властивості препрегів.

4. На основі використання математичних методів планування експериментів вперше створено комплекс адекватних статистичних моделей, які описують вихідні змінні у залежності від вхідних змінних, що отримані при розв'язанні наступних задач: визначення ефективного складу епоксидної клейової композиції (ЕКК), модифікованої карбоксилвміщуючими каучуками; визначення вмісту коротковолокнистого наповнювача у складі ЕК; прогнозування експлуатаційних властивостей ремонтної ЕКК на основі пластифікатора у вигляді ДЕГ-1 та карбоксилвміщуючих каучуків, одержаних УЗ-модифікацією за атмосферного тиску; прогнозування експлуатаційних властивостей ЕК, наповненої коротковолокнистими наповнювачами, одержаної в процесі УЗ-модифікації за надлишкового тиску.

5. Отримані математичні залежності дозволяють прогнозувати властивості ЕП на їх ЕК, а також спрямовано регулювати склад вихідних ЕК при здійсненні процесу УЗ-модифікації.

Практична реалізація результатів досліджень дозволить значно підвищити продуктивність цих процесів та ефективність реалізуючого технологічного обладнання, забезпечити значну економію енергоресурсів, а також суттєво поліпшити екологічну обстановку та умови техніки безпеки при їх одержанні. Усе це в кінцевому результаті буде сприяти економічному і соціальному прогресу в Україні.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Колосов О.Є. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, Є.М. Панов та ін. – К.: ВД «Едельвейс», 2012. □ 268 с.

## ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИЧНОГО І МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ ТІЛ

Колосов О.Є.

НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

Для розуміння механізму й успішної розробки просочувальних і сушильних операцій та реалізуючого їх технологічного устаткування при одержанні намотувальних конструкцій із армованих полімерних композитів на основі полімерних матриць і орієнтованих волокнистих наповнювачів (ОВН) як капілярно-пористих тіл у вигляді ровінгів, джгутів, тканин тощо, первинне значення має вивчення всього комплексу «елементарних» явищ перенесення рідини і вологи, складаючих фізичну сутність реальних операцій просочення і сушіння капілярно-пористих середовищ (тіл) [1].

Що стосується аспектів моделювання параметрів технологічних операцій, а саме технології просочення, то окрім прямих фізико-хімічних методів, для опису процесів перенесення просочувальної рідини і вологи в цих технологіях використовуються і розвиваються нові модельні фізико-математичні і процедурно-комп'ютеризовані підходи, що реалізуються, зокрема, з використанням фізичних (структурних) моделей. Перш за все це:

1) структурно-мережеві моделі пористого і корпускулярного середовища різних структур – «Pore Network Models» (випадкові, регулярні й ін. решітки і упаковки);

2) методологія і математичний апарат теорії перколяції (percolation – просочування); для наших завдань – це розгляд умов протікання – перенесення рідини або газу залежно від статистичних характеристик решіток, що моделюють дисперсне або пористе середовище (перколяція по зв'язках, перколяція по вузлах);

3) кластерний аналіз (cluster – пучок, зв'язка) – статистичне виявлення відособлених структур; у задачах перенесення вивчаються об'єднання –кластери провідних ділянок, часток, молекул й ін., їх розміри, характеристики і зв'язок з переносними властивостями середовища; різновиди кластерного підходу давно використовувалися в завданнях класифікаційного аналізу; зараз термін «кластер» став модним і застосовується в самих різних галузях – від молекулярних процесів до економіки і політики;

4) фрактальний аналіз – «Fractal Theory» (fractus – дроблений) – моделювання і вивчення властивостей геометричних елементів (ліній, поверхонь, об'ємних утворень), що враховує зміну довжини, площі, об'єму при зміні масштабу виміру.

Причому всі вищеперелічені 4 підходи часто використовуються спільно, або у довільній комбінації. Що стосується аспектів детерміації фізичної моделі капілярно-пористих тіл на основі ОВН, то слід зазначити, що волокнисту структуру таких тіл в загальному випадку не можна розглядати як просту суму лінійних капілярів з однаковим поперечним перетином, оскільки капіляри у волокнистих системах істотно відрізняються від циліндричних трубок. До того ж, як правило, капіляр не буде круглим, а його стінки гладкими.

Форма і площа поперечного перетину капілярів можуть змінюватись у широких межах по його довжині для реальних наповнювачів. Крім того, капіляри можуть розгалужуватися, змикатися, закінчуватися тупиками (при просочуванні таких капілярів утворюється так званий "пляшковий ефект"), або порами великого об'єму.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Колосов О.Є. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, Є.М. Панов та ін. – К.: ВД «Едельвейс», 2012. □ 268 с.

**МАТЕМАТИЧНЕ ТА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ РЕАКТОПЛАСТИЧНИХ  
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Колосова О.П.

НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

Для розробників сучасного полімерпереробного обладнання актуальним завданням є обґрунтований вибір ефективних конструкторсько-технологічних параметрів технічних засобів, призначених для одержання широкого спектру реактопластичних композиційно-волокнистих матеріалів (КВМ).

Серед останніх тенденцій розвитку проектування технологічних процесів та обладнання можна виділити підхід, пов'язаний із застосуванням принципів автоматизованого проектування на базі методології структурно-параметричного геометричного моделювання (СПГМ) для виготовлення реактопластичних КВМ, у тому числі з використанням низькочастотного ультразвуку (УЗ) як домінуючого інтенсифікуючого методу.

Безперечною перевагою використання методології СПГМ є можливість при відносно невеликих часових витратах отримання досить точних математичних залежностей, що описують багатоваріантні взаємозв'язки між параметрами та характеристиками проєктованих технічних об'єктів. При цьому в рамках СПГМ ключовим є застосування системного підходу, який передбачає подання будь-якого досліджуваного об'єкта або процесу його формоутворення як певної впорядкованої сукупності деяких окремих складових компонентів, які, у свою чергу, можуть включати в себе й інші елементи.

Виходячи з принципу системного підходу, що передбачає аналіз досліджуваного об'єкта одночасно і як певних взаємопов'язаних між собою елементів, і як потенційного компонента вищого ієрархічного рівня, уявляється доцільним поділити стандартну технологію одержання КВМ на такі укрупнені блоки I-III: I – блок УЗ-оброблення епоксидної смоли та приготування просочувальної композиції; II – блок просочення довгомірного волокнистого матеріалу полімерним зв'язуючим; III – блок дозованого нанесу рідкого полімерного зв'язуючого на просочений довгомірний волокнистий матеріал.

Наступний крок полягає в детальному аналізі вищевказаних укрупнених (базових) блоків та складаючих їх структурних елементів, а також взаємозв'язків між ними в рамках проведення синтезу. Це обумовлено тим, що дослідження всього технологічного процесу одержання КВМ та технологічного устаткування, що його реалізує, є виключно складним завданням, яке досі в повному обсязі ще не вирішено.

Декомпозиція у процесі розробки досліджуваної технології має, як правило, ієрархічний характер. Це означає, що для кожної її частини може бути створена певна структурна модель. Зазначеним чином додається новий ієрархічний рівень, який більш докладно описує досліджуваний об'єкт або процес. Слід зауважити, що на практиці вищенаведена декомпозиція проводиться в багатьох аспектах, зокрема, енергозбереження, міцності, продуктивності, а також має значно більше, ніж розглянуто, ієрархічних рівнів.

Наступним етапом структурно-параметричного моделювання, після розробки декомпозиції проєктованого об'єкта, є створення механізму його синтезу з окремих складових. У процесі вирішення цього завдання визначається порядок об'єднання елементів, можливий їх взаємозв'язок, загальна кількість варіантів об'єкта та їх структура.

**ЛІТЕРАТУРА**

2. Колосов О.Є. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, Є.М. Панов та ін. – К.: ВД «Едельвейс», 2012. □ 268 с.

## ГЕОМЕТРИЧНЕ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОСОЧЕННЯ ОРІЄНТОВАНИХ ВОЛОКНИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ РІДКИМИ ПОЛІМЕРНИМИ ЗВ'ЯЗУЮЧИМИ

Колосова О.П.

НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

Відомо, що просочувально-сушильне обладнання широко застосовується при виготовленні реактопластичних армованих полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) [1]. Власне процес просочування включає в себе наступні основні стадії [1]: нанесення просочувального складу на поверхню армуючого волокнистого наповнювача (ВН) чи занурення ВН у просочувальну ванну; проникнення просочувального складу в макропори ВН; дифузію просочувального складу до поверхні волокон; дифузію просочувального складу всередину волокон.

При цьому використання геометричного та математичного моделювання при проектуванні технологічного процесу просочування уявляється головною ланкою в підвищенні продуктивності проектування й техніко-економічних показників будь-якого виду обладнання цього типу загалом.

У загальному випадку структуру армованого полімерного композиту уявляють як капілярно-пористе середовище (тіло). Рушійними силами процесу просочування є саме капілярне всмоктування, а також сили, що впливають на розчин полімерного зв'язуючого (ПЗ) і прискорюють його рух усередину ВН, або орієнтованого чи односпрямованого волокнистого наповнювача (ОВН). Цим силам перешкоджають опір течії розчину ПЗ у порах ВН і поверхневе натягнення розчину ПЗ. Оскільки просочування ВН розчином ПЗ можна розглядати як витіснення повітря з пор і капілярів ВН та заміну його розчином ПЗ [1], цей процес можна класифікувати як один з прикладів капілярних явищ.

Базовим питанням при детермінуванні параметрів кінетичного рівняння процесу просочування є коректне знаходження характеристик геометричної (фізичної) моделі структури ОВН, на основі якої отримують це рівняння, а саме пористості  $\varepsilon$ , питомої внутрішньої поверхні  $S_{num}$  та ефективного (гідралічного) капілярного радіусу  $r_{ef}$  того чи іншого типу використовуваного для просочування типу ОВН.

При цьому найбільш адекватним уявленням структури ОВН є структура капілярно-пористого тіла. Остання складається із системи паралельно-звивистих капілярів різних радіусів, яку для випадкової (стохастичної) величини їх розміщення можна адекватно описати за допомогою функції розподілу пор радіусу  $\rho$  по розмірах  $\varphi(\rho)$  [1].

Після затвердіння просоченого ОВН за визначеного зусилля натягнення ОВН при просочуванні роблять мікрошліф його перетину у поперечному до волокон напрямі. Далі у перетині мікрошліфу експериментально досліджують розподіл довжин екстхорд волокон (відстаней між суміжними волокнами), або функцію розподілу  $\varphi(\rho) = G(\ell)$  випадкових пор за розмірами  $\ell$ . При цьому екстхорди являють у нашому випадку еквівалентний (ефективний) діаметр (чи подвійний радіус  $r_{ef}$ ) пор, причому довжини екстхорд носять випадковий характер.

Детермінацію теоретичної кривої розподілу  $\varphi(\rho) = G(\ell)$  проводять за умови найкращого наближення (тобто мінімального відхилення) теоретичної кривої розподілу до експериментальних ординат. Надалі за допомогою знайденої функції розподілу довжин екстхорд  $\varphi(\rho) = G(\ell)$  обчислюють пористість  $\varepsilon$ , питому внутрішню поверхню  $S_{num}$  та ефективний (або еквівалентний) капілярний радіус  $r_{ef}$  шуканого ОВН як капілярно-пористого тіла.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Колосов О.Є. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, Є.М. Панов та ін. – К.: ВД «Едельвейс», 2012. □ 268 с.

## ЗМІСТ

<b>Розов Ю.Г.</b> Расчет осевой устойчивости трубчатой заготовки на оправке при обжати с проталкиванием	<b>3</b>
<b>Алиев И.С., Абхари П.Б., Ерѐмина А.А.</b> Моделирование процесса бокового выдавливания отростка в разъемных матрицах	<b>7</b>
<b>Шинкаренко В.Ф., Кузнецов Ю.Н.</b> Междисциплинарный подход к моделированию и созданию сложных электромеханических систем на примере мотор-шпинделей	<b>8</b>
<b>Майборода В.С., Emmer T., Джулій Д.Ю., Ткачук І.В.</b> Підвищення твердості робочих поверхонь зубонарізних зубків методом магнітно-абразивного оброблення	<b>13</b>
<b>Шевченко О.В.</b> Розширення технологічних можливостей інструментального оснащення верстатів токарної групи	<b>15</b>
<b>Сєліверстов І.А., Смирнов І.В</b> Технологічні аспекти іонно-плазмового плакування порошкових матеріалів	<b>19</b>
<b>Дядюра К.О., Майдан В.С.</b> Вимоги до компетентності атестованих лабораторій при проведенні вимірювань	<b>21</b>
<b>Пальчевський Б.О.</b> Інтегрована система автоматизованого проектування технологічних машин	<b>25</b>
<b>Яглінський В.П., Обайді А.С., Москвичов М.М., Козерацький Г.В.</b> Визначення технічного рівня тренажера-гексапода	<b>26</b>
<b>Струтинський В.Б., Дем'яненко А.С.</b> Визначення похибки виходу робочого органу верстата з механізмами паралельної структури в позицію	<b>30</b>
<b>Алиева Л.И., Шкира А.В., Гончарук К.В.</b> Холодное выдавливание прецизионных деталей сложной формы	<b>33</b>
<b>Алиев И.С., Гнездилов П.В.</b> Определение параметров комбинированного выдавливания полых конических деталей	<b>34</b>
<b>Ю.М. Кузнецов, Ю.М. Бардачов, Д.О. Дмитрієв</b> Оцінка динамічної якості обладнання з робочими органами змінної жорсткості	<b>36</b>
<b>Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М.</b> Моделювання впливу силових факторів на похибку форми кільцевих деталей при розточуванні адаптивним багатолезовим оснащенням	<b>38</b>
<b>Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І.</b> Аналіз процесу затиску-розтиску тіл обертання в затискному механізмі з електромеханічним приводом	<b>42</b>
<b>Сапон С.П., Федориненко Д.Ю., Цеков Б.В.</b> Синтез конструкцій регульованих гідравлічних опор високошвидкісних шпиндельних вузлів	<b>46</b>
<b>Марков О. Е.</b> Схемы ковки крупных поковок с интенсивными пластическими деформациями	<b>50</b>
<b>Жбанков Я. Г., Таган Л. В.</b> Проблема образования поверхностных трещин при протяжке	<b>51</b>
<b>Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я.</b> Контроль точності багатокординатних верстатів із паралельними кінематичними структурами за результатами вимірів параметрів оброблених поверхонь	<b>52</b>
<b>Н.Р.Веселовська</b> Актуальні завдання розробки верстатних комплексів із підвищеною надійністю	<b>53</b>
<b>Мироненко Е.В., Миранцов С.Л., Аносов В.Л.</b> Повышение эффективности процессов механообработки на тяжелых станках фрезерно-расточной группы	<b>55</b>
<b>Москвичев Н.Н., Яглинский В.П., Обайди А.С., Козерацкий Г.В</b> Спектр частот тренажера-гексапода при маневре	<b>58</b>

<b>Копилов В. І., Семенов М. І.</b> Визначення відновлювальної здатності вуглецевої плазми за атмосферних умов для утворення високодисперсних метало-вуглецевих структур	<b>61</b>
<b>Копылов В.И., Антоненко Д.А.</b> Сравнительная характеристика методов оценки прочности газотермических покрытий	<b>62</b>
<b>Симонюк В.П., Панасюк В.І.</b> Особливості обробки деталей за допомогою корисних вібрацій	<b>64</b>
<b>Бергер Е.Э.</b> Формообразующие устройства в машиностроении	<b>65</b>
<b>Симонюк В.П., Будь Л.В.</b> Актуальність віброобробки	<b>67</b>
<b>Симутенков И.В.</b> Технология автоматической наплавки под флюсом с высокочастотными колебаниями электрода	<b>68</b>
<b>Одінцов В.В., Корінь О.В.</b> Кубічні додекабориди – перспективні тугоплавкі сполуки для техніки	<b>71</b>
<b>Подольський М.І., Лілевман І.Й., Лілевман О. Й.</b> Розробка та дослідження мобільних технічних засобів визначення вагових характеристик машин	<b>73</b>
<b>Пузырь Р.Г., Дикая Л.Э.</b> Определение зоны возможной потери устойчивости при раздаче цилиндрической заготовки коническим пуансоном с учетом упрочнения металла в процессе деформирования	<b>77</b>
<b>Рудик А.В., Рудик В.А.</b> Ефективне шліфування поверхонь обертання торцем абразивного інструмента	<b>79</b>
<b>Куприянов А.В.</b> Снижение прочности соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы	<b>81</b>
<b>Андрейцев А.Ю., Клецкая Т.С., Семененко Т.С.</b> Проверка гипотезы о гамма-распределении отклонения фактического времени доставки грузов от минимального	<b>85</b>
<b>Андреев А.А., Корчак Е.С.</b> Автофретирование как эффективный способ повышения прочности многослойных контейнеров	<b>89</b>
<b>Ковалёва О.А., Щербаков Д.И., Корчак Е.С.</b> Использование композиционных материалов на основе политетрафторэтилена в направляющих узлах мощных гидравлических прессов	<b>90</b>
<b>Крестьянполь О.А.</b> Функціональне моделювання гнучких виробничих систем	<b>91</b>
<b>Дем'яненко А.С., Солнцев О.В.</b> Реалізація алгоритмів під-регулювання при управлінні приводами маніпуляторів в середовищі labview	<b>92</b>
<b>Баганов Є.О., Куліш М.І.</b> Аналіз можливості переходу об'єкта на електричне опалення без зміни його проектної потужності	<b>93</b>
<b>Лапіга О.С., Вислоух С.П.</b> Методика об'єктного представлення геометричних та технологічних даних при автоматизованому проектуванні технологічних процесів механічної обробки деталей	<b>96</b>
<b>Глухов Г.М., Глухова Г.Г.</b> Проблеми енергозбереження машинобудівного комплексу	<b>99</b>
<b>Глухова В.І.</b> Проблеми енергозбереження машинобудівного комплексу	<b>101</b>
<b>Литвин О.В., Ящук І.Р.</b> Функціонально-структурний аналіз конструкцій затискних патронів для токарних верстатів	<b>102</b>
<b>Тернюк М.Е., Луцький С.В.</b> Моделювання, аналіз і синтез механообробних комп'ютерно – інтегрованих технологічних систем з елементами самоорганізації	<b>104</b>
<b>Мешков Ю.Є.</b> Дослідження зовнішнього тертя у вищій кінематичній парі, при коченні циліндра по горизонтальній площині	<b>108</b>
<b>Андропова О.В., Курак В.В., Андрієнко А.М.</b> Розробка заходів з енергозбереження в закладі дошкільної освіти	<b>111</b>



<b>Сазонов А.Ю., Черепанська І.Ю.</b> Алгоритмічне забезпечення програмної точнісної атестації робочих зон промислових роботів	<b>113</b>
<b>Літвінова М.Б., Селіверстова С.Р., Штанько О.Д.</b> Термоелектричний пристрій для перетворення теплової енергії вихлопних газів двигуна внутрішнього згоряння	<b>115</b>
<b>Струтинський С.В.</b> Теоретичні основи проектних розрахунків мехатронних просторових систем приводів	<b>119</b>
<b>Ткач В.О.</b> Оцінка відносної ефективності можливих рішень	<b>120</b>
<b>Коваленко І.В.</b> Регулювання ризику при проектуванні технологічних систем індукційного нагріву	<b>123</b>
<b>Черный А.В., Фурман В.К., Смирнов И.В. Андрейцев А.Ю.</b> Анализ адекватности математических моделей движения частиц порошка в плазменной струе в зависимости от фракционного диапазона	<b>124</b>
<b>Ремізов П.П., Дмитрієв Д.О., Русанов С.А., Костерний О.С.</b> Забезпечення статичної та динамічної якості енергоустановки "КАСКАД – 3"	<b>127</b>
<b>Серьогіна М.Є., Зенкін А.С.</b> Інформаційна підтримка системи управління якістю в машинобудівному виробництві	<b>131</b>
<b>Холмовой Ю.П.</b> Чистка выбросов в атмосферу от паров органических растворителей методом барьерного разряда: конструктивные решения	<b>133</b>
<b>Русанов С.А.</b> Застосування автоматизованих систем в задачах вібраційної механіки	<b>135</b>
<b>Аппазов Э.С., Ключев О.И., Русанов С.А.</b> Вопросы моделирования работы теплового аккумулятора для предпускового разогрева двигателя	<b>138</b>
<b>Калін М.А., Ізотова К.О.</b> Спосіб холодного зварювання чавуну	<b>141</b>
<b>Петренко А. Н.</b> Наплавка комплекснолегированных жаропрочных сталей легированных азотом	<b>143</b>
<b>Багров В.А., Дерябкина Е.С.</b> Повышение износостойкости экономнолегированных износостойких сплавов системы Cr-Mn-Mo-Ti с ограниченным содержанием хрома и молибдена	<b>146</b>
<b>Кузнєцов Ю.М., Цвид Т.А.</b> Високошвидкісний інструментальний затискний патрон з гідропластом	<b>150</b>
<b>Марков О.Є., Руденко Н.О.</b> Виливниця для відливання пустотілих злитків	<b>152</b>
<b>Шелепко О.В., Кириченко А.М.</b> Експериментальні дослідження багатокординатного верстата паралельної структури «пентапод»	<b>153</b>
<b>Колосов О.Є.</b> Особливості моделювання базових процесів одержання полімерних композиційних матеріалів	<b>155</b>
<b>Колосов О.Є.</b> Особливості фізичного і математичного моделювання структури капілярно-пористих тіл	<b>156</b>
<b>Колосова О.П.</b> Математичне та структурно-параметричне моделювання технічних засобів для одержання реактопластичних композиційних матеріалів	<b>157</b>
<b>Колосова О.П.</b> Геометричне та математичне моделювання процесу просочення орієнтованих волокнистих наповнювачів рідкими полімерними зв'язуючими	<b>158</b>

**НАУКОВЕ ВИДАННЯ**

**I Всеукраїнської науково – практичної конференції  
15 – 18 вересня 2015 року**

**"Сучасні технології промислового комплексу"**

Відповідальний за випуск  
Комп'ютерне макетування

Ю.Г. Розов  
О.С. Костерний

Підписано до друку 12.08.2015 р.  
Формат 60x84/16 папір офсетний. Друк офсетний.  
Гарнітура Times New Romans. Умов. друк. арк. – 16  
Обл. – вид. арк. – 16,4 Наклад 50 прим.  
Замовлення № \_\_\_\_\_

Надруковано з оригінал – макету замовника  
Замовник: Херсонський національний технічний університет  
73008, Україна, м. Херсон, Бериславське шосе, 24.  
Видавник: