

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
OERLIKON BARMAG GmbH (Німеччина)  
THYSSENKRUPP MATERIALS INTERNATIONAL GmbH (Німеччина)  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КП»  
ТОВ «БАХ-ІНЖИНІРИНГ»  
ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЛОДЗЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (Польща)  
БАТУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. Ш. РУСТАВЕЛІ (Грузія)  
ПАТ «САН ІНБЕВ УКРАЇНА»



Матеріали VI міжнародної  
науково-практичної конференції

## «КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»

26 - 29 квітня 2016 р.

|  |     |
|--|-----|
| <b>Куриляк В.В.</b> Результати постановки експерименту при дослідженні міцнісних характеристик органічного скла                                      | 131 |
| <b>Анастасенко С.М., Григурко І.О.</b> Технологія механічної обробки глухих тригранних кутів поглиблень в деталях спеціальною фрезою                 | 132 |
| <b>Онкалюк О.І., Заєць С.С.</b> Дослідження зношення різальної кромки кінцевої фрези при фрезеруванні алюмінієвих сплавів                            | 134 |
| <b>Сіра Н.М.</b> Підвищення ефективності глибинного однопрохідного шліфування циліндричних та ступінчастих валів зі схрещеними осями круга та деталі | 135 |
| <b>Кайдаш М.Д.</b> Динаміка маніпулятора з двома обертальними кінематичними парами   | 137 |
| <b>Муха Р.Ю., Заєць С.С.</b> Вибір методу дослідження стану властивостей кінцевих фрез   | 139 |
| <b>Музичка Д.Г., Калініченко С.В., Кашинський І.С.</b> Вплив режимів різання на показники якості при обробці сталі p18 кругами з КНБ                 | 140 |
| <b>Єрошенко А.М., Палій А.М.</b> Методи дослідження і моделювання сил різання в зоні різання при абразивному шліфуванні                              | 141 |
| <b>Симонюк В.П., Лук'янчук Ю.А., Василюшина В.І., Троянчук В.О.</b> До конструювання вібраційних установок   | 143 |
| <b>Неведомский В.А., Чернышов А.В., Чернышов А.А.</b> Изделия и конструкции из техногенных отходов металлургической промышленности                   | 144 |
| <b>Барандич Е.С., Выслоух С.П.</b> Технологическое обеспечение оптимальной циклической долговечности деталей   | 146 |
| <b>Бойко С.В., Назаренко О.А.</b> Температурні явища в процесі абразивної обробки  | 147 |
| <b>Буря А.И., Калиниченко С.В.</b> Углепластик на основе политетрафторэтилен   | 148 |

## **СЕКЦІЯ 2**

### **«СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТ ТА ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ДЕРЕВООБРОБКИ ТА МЕБЛЕВОГО ВИРОБНИЦТВА»**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Пінчевська О.О., Головач В.М., Горбачова О.Ю.</b> Прогнозування кольору термообробленої деревини граба   | 150 |
| <b>Пінчевська О.О., Цапко О.Ю.</b> Шляхи захисту дерев'яних конструкцій від впливу вогню  | 152 |
| <b>Космач О.П.</b> Порівняння методів визначення статичної твердості деревини   | 154 |
| <b>Пінчевська О.О., Лакида Ю.П.</b> Щодо результатів досліджень нового композиційного матеріалу   | 156 |
| <b>Пінчевська О.О., Скляр Д.М.</b> Проблема стандартів при дослідженні фізико-механічних властивостей деревних композитів                             | 157 |
| <b>Ференц О.Б., Копинець З.П., Сторожук В.М., Ференц О.О.</b> Підвищення ефективності використання сировини у виробництві клеєного будівельного бруса | 158 |
| <b>Федориненко Д.Ю., Сапон С.П., Цеков Б.В., Надточій А.О.</b> Підвищення енергоефективності гідроприводів деревообробних верстатів                   | 159 |

### ДИНАМІКА МАНІПУЛЯТОРА З ДВОМА ОБЕРТАЛЬНИМИ КІНЕМАТИЧНИМИ ПАРАМИ

Однією з задач механіки маніпуляторів промислових роботів є визначення управляючих сил та моментів, що діють в напрямку кожної з узагальнених координат і забезпечують реалізацію завданого закону руху вихідної ланки маніпулятора. Така задача відома, як задача динамічного синтезу, або обернена задача динаміки. В оберненій задачі враховується, як структура маніпулятора, його геометричні та кінематичні параметри, так і характер сил, що діють на вихідну ланку [1], [2]. На сьогодні існує велика кількість аналітичних досліджень, де розглядаються загальні аспекти динаміки маніпуляторів. Разом з тим є необхідність розв'язку такої задачі для конкретних кінематичних схем з урахуванням їх специфічних особливостей. В даній роботі задачу динамічного синтезу розглянуто на прикладі механізму вантажного маніпулятора з двома обертальними кінематичними парами (рис.1).

Ланка 1 з центром мас в точці  $S_1$  і моментом інерції  $I_{Iz1}$  обертається відносно осі  $OZ_0$  з кутовою швидкістю  $\omega_1$ . Ланка 2 із захоплювачем  $M$ , центром мас в точці  $S_2$  і моментом інерції  $I_{Iz2}$  шарнірно з'єднана з ланкою 1 у точці  $A$  і обертається відносно осі  $O_2X_2$  зі швидкістю  $\omega_2$ . Центри  $S_1$  і  $S_2$  розташовані так, що:  $OS_1=S_1A=l_1$ ,  $AS_2=S_2M=l_2$ . На захоплювач  $M$ , що переміщується у вільному робочому просторі, діє сила ваги вантажу  $G_M$ . Всі ділянки ланок 1 і 2 вважаються тонкими жорсткими однорідними стержнями.

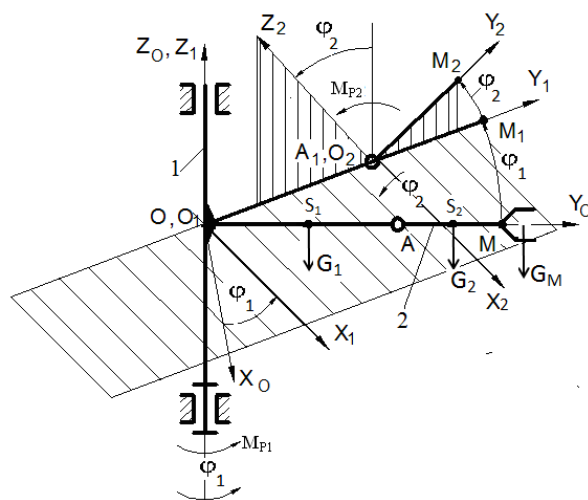


Рис. 1. – Розрахункова схема маніпулятора

Закони руху для вибраної системи з двома узагальненими координатами  $\varphi_1 = \varphi_1(t)$  та  $\varphi_2 = \varphi_2(t)$  визначаються на підставі рівнянь Лагранжа II роду:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \omega_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = M_{P1} + M_{C1}, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \omega_2} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = M_{P2} + M_{C2}, \quad (2)$$

де  $T$  – загальна кінетична енергія системи;  $M_{P1}, M_{P2}, M_{C1}, M_{C2}$  – зведені до узагальнених координат  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  моменти рушійних сил (управляючі моменти) та моменти сил опору відповідно.

Якщо розглядати механізм маніпулятора як систему з ідеальними в'язями, то силами тертя в кінематичних парах можна знехтувати, тоді:

$$M_{C1} = 0; \quad M_{C2} = -(G_2 + 2G_M)l_2 \cos \varphi_2. \quad (3)$$

Повна кінетична енергія для заданої системи визначається формулою:

$$T = \frac{1}{2} \left\{ I_{1z1} + m_2 \left[ (l_2 \cos \varphi_2 + 2l_1)^2 + \frac{l_2^2}{3} \cos^2 \varphi_2 \right] + I_{2x2} \sin^2 \varphi_2 \right\} \omega_1^2 + \frac{2}{3} m_2 l_2^2 \omega_2^2. \quad (4)$$

Враховуючи співвідношення (3) і (4), з рівнянь (1) і (2) отримуємо управляючі моменти  $M_{P1}(t)$  та  $M_{P2}(t)$ :

$$M_{P1}(t) = \left\{ I_{1z1} + m_2 \left[ (l_2 \cos \varphi_2 + 2l_1)^2 + \frac{1}{3} l_2^2 \cos^2 \varphi_2 \right] + I_{2x2} \sin^2 \varphi_2 \right\} \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + \left\{ I_{2x2} \sin 2\varphi_2 - 4m_2 l_2 \sin \varphi_2 \left( \frac{2}{3} l_2 \cos \varphi_2 + l_1 \right) \right\} \omega_1 \omega_2. \quad (5)$$

$$M_{P2}(t) = \left[ m_2 \sin \varphi_2 \left( \frac{4}{3} l_2^2 \cos \varphi_2 + 2l_1 l_2 \right) - I_{2x2} \sin 2\varphi_2 \right]^2 \omega_1^2 + \frac{4}{3} m_2 l_2^2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} + G_2 l_2 \cos \varphi_2. \quad (6)$$

При аналізі залежностей (5) і (6) вибір функцій  $\varphi_1(t)$  і  $\varphi_2(t)$  здійснювався за декількома критеріями:

- 1) захоплювач маніпулятора рухається, забезпечуючи «м'яке» зрушення та дотик в момент зупинки, що полягає у виконанні умови рівності нулю його швидкостей та прискорень в початковому та кінцевому положеннях;
- 2) захоплювач маніпулятора в момент зупинки має прискорення, яке обмежено завданням допустимим значенням;
- 3) захоплювач маніпулятора рухається по прямій між двома завданими точками робочого об'єму.

Програмні рухи  $\varphi_1(t)$  і  $\varphi_2(t)$ , що задовольняють першим двом кінематичним умовам, прийнято у вигляді поліномів п'ятого ступеня. За третім критерієм функції  $\varphi_1(t)$  і  $\varphi_2(t)$

визначено, виходячи з вимог лінійності функцій переміщення точки  $M$  вздовж кожної з координатних осей  $X_0, Y_0, Z_0$ .

Для всіх трьох випадків наведено порівняльний аналіз управляючих моментів, траєкторій руху та законів зміни швидкостей і прискорень точки  $M$  захоплювача маніпулятора.

Отримані результати можуть бути практично реалізовані в регульованих приводах маніпуляторів з контурним управлінням.

### **Список посилань**

1. Коловский М.З. Основы динамики промышленных роботов / М.З. Коловский, А.В. Слоущ. – М.: Наука. Гл. ред. физ.мат. лит., 1998. – 240 с.
2. Механика промышленных роботов: [Учеб. пособие для вузов: В 3-х кн.] / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 2: Расчет и проектирование механизмов / Е.И. Воробьев, О.Д. Егоров, С.А. Попов. – М.: Высш. шк., 1988. – 367 с.