

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НА ЕНЕРГОВИТРАТИ МАНІПУЛЯТОРА

О.В. Плетенець, І.О.Горобець

Донецький національний технічний університет

1. Загальні положення

На цей час для сучасних підприємств актуальна задача автоматизації виробничих процесів. Одним із методів рішення цієї задачі є використання маніпуляторів з паралельною структурою. На рис. 1 наведено автоматичну лінію для упаковки кондитерських виробів, з використанням дельта-роботів.

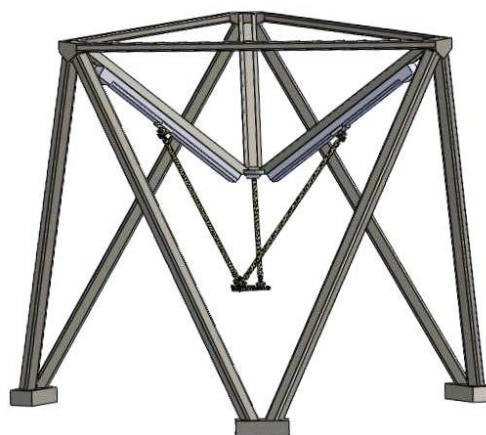


Рисунок 1 - Автоматична лінія для упаковки кондитерських виробів

Рисунок 2 – Загальний вигляд робота

Для дослідження характеристик візьмемо робот, рис.2, конструкція якого була розроблена у [1]. Механізм складається з двох платформ, рухливою і нерухомою, а також з трьох ідентичних кінцівок, що мають однакову кінематичну структуру. Кожна кінцівка з'єднує нерухому платформу з рухомою за допомогою призматичного шарніра, а також послідовно сполучених карданних з'єднань. Поступальні пари управляються за допомогою лінійних приводів.

Метою дослідження було визначення впливу параметрів маніпулятора на його енерговитрати. Експериментальні дослідження проведемо з використанням програмної системи MATLAB.

2. Теоретичні положення щодо проведення дослідження

З обліком того, що в якості приводу використовується двигун постійного струму і шарикогвинтові пари, споживана електрична енергія визначатиметься за формулою:

$$Q=P*t, \quad (1)$$

де P – це потужність двигуна, t - час.

При цьому потужність двигуна пропорційна струму якоря $P \sim I$.

Момент на вихідному валу двигуна постійного струму визначається по формулі [2]:

$$M = C * \Phi * I, \quad (2)$$

де Φ - магнітний потік, C - коефіцієнт залежний від конструктивних особливостей двигуна, I - струм якоря. У свою чергу взаємозв'язок між моментом електродвигуна і тягових зусиль f лінійного приводу визначається по формулі [3]:

$$M = \frac{f * P_{ho}}{2000 * \pi * \eta_p} \quad (3)$$

де P_{ho} - коефіцієнт, що визначає геометричні параметри ходового гвинта;

η_p - ККД гвинтової пари.

Таким чином, між силою, діючою на повзун, і споживанням електричної енергії буде прямо пропорційна залежність, оскільки виходячи з приведених вище формул:

$$Q \sim I \sim M \sim f, \quad (4)$$

Таким чином

$$Q \sim f \quad (5)$$

Сумарні витрати електричної енергії двигунів для переміщення платформи на задану відстань можна розрахувати як суму витрат енергії трьох приводів :

$$\Sigma Q = |Q_1| + |Q_2| + |Q_3|. \quad (6)$$

На підставі формул 5 і 6 можна зробити висновок, що

$$\Sigma Q \sim \Sigma f \sim f_1 + f_2 + f_3. \quad (7)$$

3. Реалізація дослідження в середовищі MATLAB

Розрахунок витраченої енергії на переміщення платформи, зробимо для наступних умов. Розглянемо частину робочого циклу маніпулятора. Діаметр робочої зони складає 0,8 м.

На рис.3 наведено графіки характеру руху платформи.

На основі Simulink моделі для вирішення зворотного завдання динаміки складемо модель для сил, діючих на повзуни для забезпечення заданого характеру руху. На рис. 4 приведена Simulink модель.

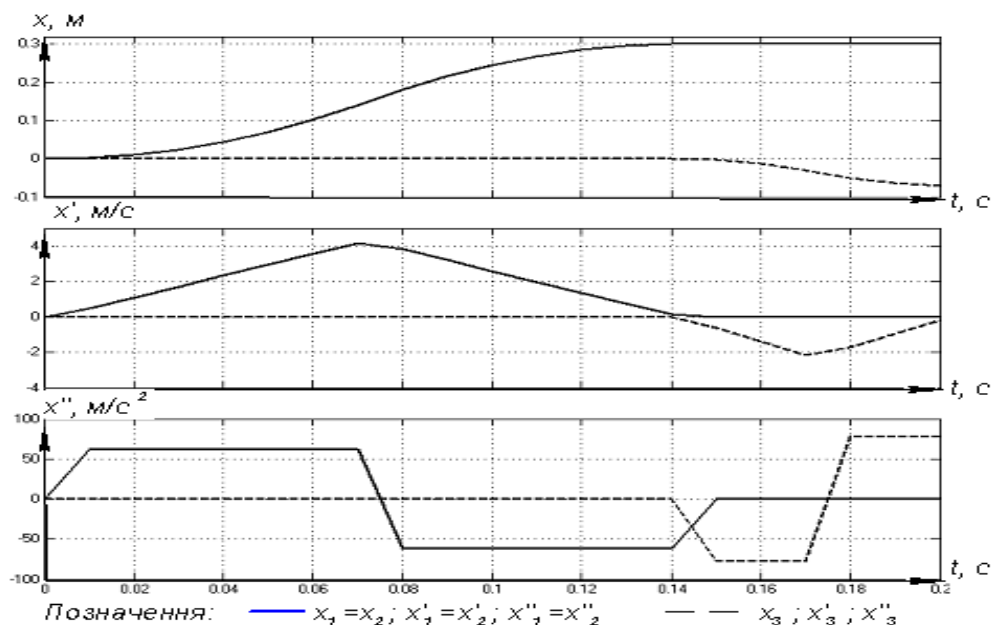


Рисунок 3 – Графіки переміщення, швидкості і прискорення платформи

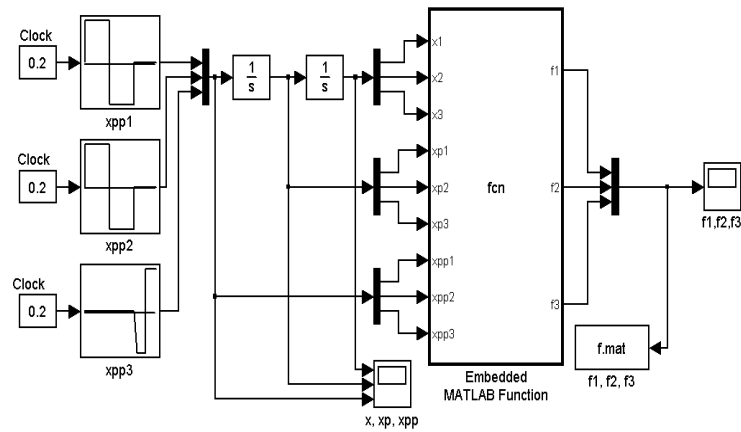


Рисунок 4 - Simulink модель для визначення необхідних тягових зусиль приводів

Початковими даними для моделювання являтиметься маніпулятор з наступними параметрами : радіус кола, на якому лежить точка A ; $a=0,19$ м; радіус кола, на якому лежить точка B ; $b=0,08$ м; довжина кожної з 3х штанг $l=0,85$ м; кут нахилу направляючих повзунів $\alpha=36^\circ$; прискорення вільного падіння $g=9,8$ м/с²; маса повзуна $m_s=1$ кг; маса штанги $m_l=1$ кг; маса рухливої платформи з урахуванням встановленого на неї устаткування $m_p=0,6$ кг; маса шарніра $m_j=2$ кг.

При цих параметрах маніпулятора приводи діють на повзуни з силами , що змінюються за законами, представленими на рис.5. Максимальні значення сил приводів при цьому складатимуть 891 Н.

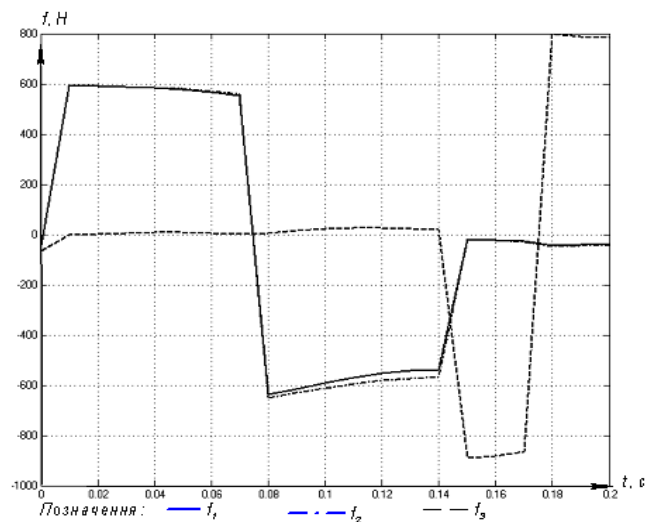


Рисунок 5 - Графік сил приводів

4. Аналіз результатів дослідження

4.1. Вплив мас шарнірів на енерговитрати маніпулятора

Визначимо вплив мас шарнірів на величину електроспоживання приводів. Шарніри, встановлені в цьому роботі, мають масу 2 кг. Така велика маса шарнірів обумовлена їх високою точністю, для забезпечення високої точності позиціонування. Проте для вирішення завдання переміщення об'єктів вимоги до точності позиціонування не такі високі, тому можна скористатися шарнірами нижчої точності, що витримують ті ж навантаження, але що мають значно меншу масу.

Мінімальна маса шарніра, що витримує необхідне навантаження, складає $m_j=0,2\text{кг}$ [4]. Оцінити енерговитрати маніпулятора можна за допомогою діючих з боку приводів на повзуни сил, необхідних для забезпечення заданого характеру руху платформи, які будуть пропорційні енергоспоживанню двигунів. Оскільки сили змінюються за законами, що мають однаковий вигляд при різних значеннях мас, то оцінити величину діючих сил можна по їх максимальних значеннях.

На рисунку 6 наведено графік економії електричної енергії залежно від мас шарнірів.

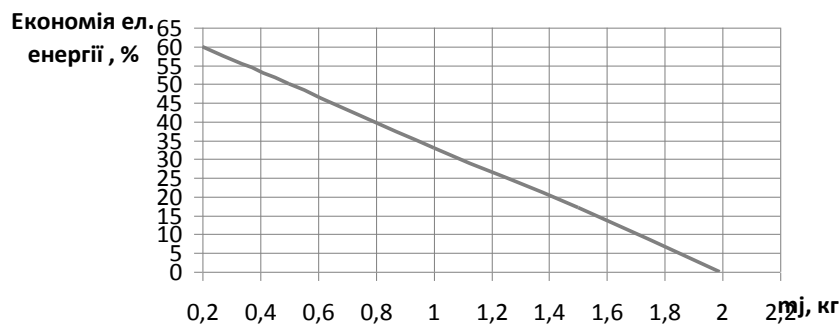


Рисунок 6 - Графік залежності економії електричної енергії від мас шарнірів

Таким чином, використавши шарнір масою $m_j=0,2$ кг можна зменшити енерговитрати на 59,7 %.

4.2. Вплив мас штанг на енерговитрати маніпулятора

Визначимо вплив мас штанг на величину електроспоживання приводів. Штанги, встановлені в цьому роботіві, мають масу 1 кг. Штанги зроблені з карбону. Карбон є одним з найбільш легких матеріалів, з яких можна виготовити штанги. Проте використавши штанги у вигляді порожнистих трубок можна зменшити масу штанг до 3 разів і задовольнивши при цьому усі вимоги по заданій міцності. Мінімальна маса штанги, що витримує необхідне навантаження, складає $m_1=0,3\text{кг}$ [5]. Оцінити енерговитрати маніпулятора можна за допомогою діючих з боку приводів на повзуни сил, необхідних для забезпечення заданого характеру руху платформи, які будуть пропорційні енергоспоживанню двигунів. Оскільки сили змінюються за законами, що мають однаковий вигляд при різних значеннях мас, то оцінити величину діючих сил можна по їх максимальних значеннях.

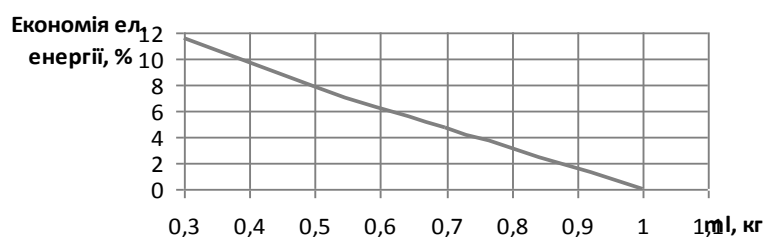


Рисунок 7 - Графік залежності економії електричної енергії від мас штанг

Таким чином, використавши штанги масою $m_1=0,3\text{кг}$ можна зменшити енерговитрати на 11,6 %.

4.3. Вплив мас повзуна на енерговитрати маніпулятора

Визначимо вплив мас повзунів на величину електроспоживання приводів. Повзуни приводів, встановлені в цьому роботіві, мають масу 1 кг кожен. Використання приводів, що мають зменшену масу рухливих частин-повзунів, проте що мають технічні характеристики, що задовольняють мінімальним технічним вимогам, приводить до зменшення мас повзунів. Мінімальна маса повзуна, що задовольняє заданим вимогам, складає

$m_s=0,3\text{кг}$ [3]. Оцінити енерговитрати маніпулятора можна за допомогою діючих з боку приводів на повзуни сил, необхідних для забезпечення заданого характеру руху платформи, які будуть пропорційні енергоспоживанню двигунів. Оскільки сили змінюються за законами, що мають однаковий вигляд при різних значеннях мас, то оцінити величину діючих сил можна по їх максимальних значеннях.

На рис. 8 приведено графік економії електричної енергії залежно від мас штанг.

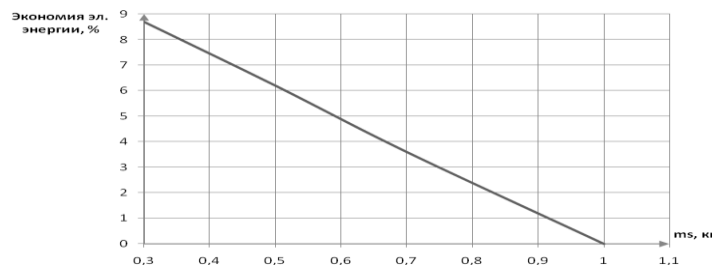


Рисунок 8 - Графік залежності економії електричної енергії від мас повзунів

Таким чином, використавши повзуни масою $m_s=0,3\text{кг}$ можна зменшити енерговитрати на 8,4 %.

4.4 Вплив кута нахилу напрямної α° на енерговитрати маніпулятора

Визначимо вплив кута нахилу напрямної α° на величину електроспоживання приводів. Оцінити енерговитрати маніпулятора можна за допомогою діючих з боку приводів на повзуни сил, необхідних для забезпечення заданого характеру руху платформи, які будуть пропорційні енергоспоживанню двигунів. Оскільки сили змінюються за законами, що мають однаковий вигляд при різних значеннях мас, то оцінити величину діючих сил можна по їх максимальних значеннях.

На рис. 9 приведено графік економії електричної енергії залежно від кута нахилу напрямних.

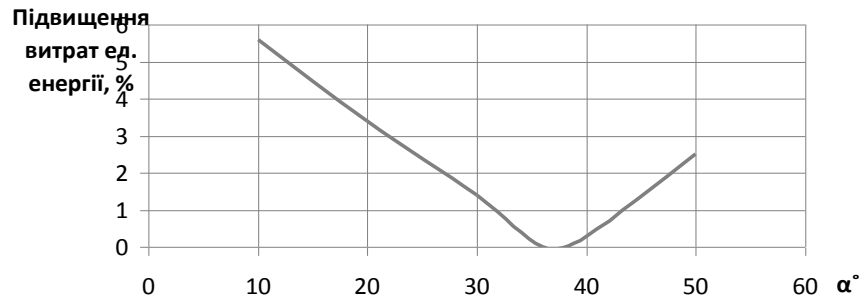


Рисунок 9 - Графік залежності економії електричної енергії від мас повзунів

Таким чином, при вугіллі нахилу напрямних $\alpha=36^\circ$ енерговитрати робота будуть мінімальними.

5. Дослідження конструкції робота з раціональними параметрами

Проаналізувавши результати дослідження і вибравши параметри, при яких величина економії електричної енергії буде максимальною, проведемо дослідження конструкції з вибраними параметрами. Рекомендованими параметрами для моделювання будуть наступні параметри маніпулятора : радіус кола, на якому лежить точка A_i $a=0,19$ м; радіус кола, на якому лежить точка B_i $b=0,08$ м; довжина кожної з 3х штанг $l=0,85$ м; кут між осями x_o і u_p систем координат O і P $\theta =0^\circ$; кут нахилу напрямних повзунів $\alpha =36^\circ$; прискорення вільного падіння $g=9,8$ м/с²; маса повзуна $m_s = 0,3$ кг; маса штанги $m_l = 0,3$ кг; маса рухомої платформи з урахуванням встановленого на неї устаткування $m_p=0,6$ кг; маса шарніра $m_j =0,2$ кг.

Максимальні значення сил приводів при цьому складатимуть 175 Н. При цьому економія електричної енергії складе 80% і витрати електричної енергії маніпулятора з цими параметрами, в порівнянні з маніпулятором з початковими параметрами будуть низкими у 5,1 разів.

6. Висновки

Визначено вплив параметрів маніпулятора на його енерговитрати. Для цього в додатку Simulink програми MATLAB була складена модель маніпулятора і розроблена програма для вирішення оберненої задачі динаміки. Наведено дослідження впливу мас шарнірів, штанг і повзунів, а також кута нахилу напрямних на витрати електричної енергії маніпулятора. Встановлено, що найбільший вплив на витрати енергії має маса шарнірів. Таким чином, при використанні шарнірів масою $m_j=0,2$ кг економія електричної енергії складає 59,7%. Дослідження конструкції робота з раціональними параметрами дозволило встановити зменшення споживання електричної енергії робота в 5 разів, у порівнянні з конструкцією з початковими параметрами.

1. Перекопський С. П. „Дослідження кінематичних характеристик та синтез конструкції структури паралельного робота для використання при пакуванні готової продукції“. Магістерська робота - Донецьк, ДонНТУ, 2010.
2. Википедия, Электродвигатель постоянного тока <http://ru.wikipedia.org/>
3. Сервотехника, Каталог линейных приводов
<http://www.servotechnica.ru/files/doc/documents/file-303.pdf>
4. Каталог шарниров <http://www.avtomash.ru>
5. John Wiley & Sons, New York “Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators”, N.Y., 1999