

# Навантаження і енергетичні витрати в машинах лінії пакування

А.І. Соколенко, д.т.н., К.В. Васильківський, к.т.н., А.А. Палаш, к.т.н., Є.В. Костюк, Національний університет харчових технологій, м. Київ

Аналіз, що стосується понять «машина» і «механізм» [1–3], приводить до висновку про їхню відмінність. Механізм використовується для здійснення заданих рухів робочих органів, тоді як призначення машин — виконання технологічних трансформацій матеріалів, форми, стану, положення тощо за допомогою робочого органу або з метою перетворення енергії з одного виду в інший.

У машині енергія двигуна перетворюється спочатку в механічну роботу, а потім у якийсь інший вид енергії. Це пов'язане з тим, що виконання технологічних трансформацій потребує деякої кількості механічної роботи, яка найчастіше перетворюється в теплову енергію і підлягає дисипації.

Проектування нових машин супроводжується розрахунками їхніх елементів на міцність, і розміри ланок визначаються у відповідності з тими силами, які на них діють. У зв'язку із цим перед виконанням розрахунків на міцність необхідно здійснити визначення сил, що діють на ланку. Це означає, що до числа основних завдань відноситься визначення тих сил, які діють на елементи кінематичних пар і викликають деформації ланок у процесі роботи машини. Переміщення ланок механізмів можуть бути нерівномірними, результатом чого є додаткові навантаження на елементи кінематичних пар. У теорії механізмів замість урахування цих реакцій зв'язків здійснюють перехід до сил інерції, що означає перехід до методу кінестатики. До початку розрахунків механізмів необхідно встановити закони технологічних і механічних опорів. Особлива увага повинна приділятися опорам у зв'язку із силами тертя в елементах кінематичних пар під дією нормальних складових реакцій.

Важливим результатом синтезу машини є витрати енергії у процесі її

роботи на подолання технологічних і механічних опорів. У багатьох випадках цей показник характеризується коефіцієнтом корисної дії.

Робота машини супроводжується наявністю рушійних сил, сил технологічних опорів, сил тяжіння ланок, механічних або додаткових опорів і сил інерції. Сили тяжіння ланок у формі їхніх рівнодіючих прикладаються в центрах мас ланок, і робота цих сил за цикл дорівнює нулю, оскільки центри тяжіння переміщуються по замкнутих траєкторіях, а напрямки сил є незмінними. Однак у середині циклу руху механізму робота сил тяжіння є відмінною від нуля. Механічні або додаткові опори стосуються проявів середовищ або відносних переміщень елементів кінематичних пар. Сили інерції виникають за нерівномірного руху ланок, і методи їхнього визначення відомі. Реакції зв'язків у кінематичних парах є попарно зрівноваженими і в розрахунок не вводяться.

Очевидно, що за певного узагальнення до числа завдань синтезу машин слід віднести виконання технологічних вимог з одночасним обмеженням силових впливів на ланки і елементи кінематичних пар та обмеження енергетичних витрат. У першому наближенні здається, що два названі завдання у своєму призначенні і методах досягнення практично збігаються, однак при цьому мають місце принципові відмінності. У зв'язку з викладеним до числа завдань даного дослідження віднесено визначення методів обмеження силових впливів і енергетичних витрат, що стосуються перехідних і усталених режимів роботи машин у лініях пакування.

Відомо, що до числа перехідних режимів відносяться розгін і вибіг, які характеризуються змінними значеннями кінематичних і, відповідно, ди-



намічних параметрів. Однак і періоди усталеного руху можуть бути представлені певними закономірностями тих самих параметрів, хоча вони будуть цілком прогнозованими і відповідними технологічному завданню. Математичне моделювання перехідних процесів у машинах супроводжується створенням їхніх еквівалентних схем з використанням правил приведення мас і силових факторів [4]. Саме співвідношення мас, приведених рушійних сил і сил опору визначає динаміку перехідних процесів. Зменшення маси і збільшення різниці між рушійними силами і силами опору приводять до збільшення динамічних складових навантаження ланок і елементів кінематичних пар. Очевидно що

названі фактори впливають і на час перебігу перехідних процесів, а скорочення останнього приводить до збільшення динамічного навантаження у формі сил інерції або моментів сил інерції. Оскільки перехідні процеси в машинах програмуються як технологічні, то це означає, що динамічних складових навантажень, пов'язаних з ними, не уникнути, рівно як і необхідності подолання сил корисного і шкідливого опорів. Проте один з різновидів сил інерції, пов'язаних з незрівноваженими обертовими масами, підлягає обмеженню і навіть повній ліквідації у своїх нормальних складових. В інших випадках сили інерції можуть лише обмежуватися за рахунок зменшення різниці між рушійними силами і силами опору або за рахунок програмованої кінематики.

На рис. 1 зображено схему симетричного подвоєного кривошипно-повзунного плоского механізму. Дана схема може бути запропонована, наприклад, у дозаторах в'язкої продукції, здвоєних роторах пакувальних машин тощо. Сили інерції в механізмі орієнтовані у протилежних напрямках, і при цьому досягається повне зрівноваження системи. Хоча у плоскому механізмі їхня сума дорівнює нулю, проте фізично вони присутні у своїй дії на ланки.

Якщо робочим ходом вихідної ланки (у даній статті ланок) вважати переміщення, на яких їхні швидкості і напрямки сил корисного опору є протилежними, то це означає присутність у робочому ході прискореного і сповільненого руху. При цьому у прискореному русі сила корисного опору і сила інерції будуть збігатися за напрямком, що означає необхідність зростання рушійних сил (рис. 2).

Такому співвідношенню відповідає поворот вхідної ланки на кут  $90^\circ$  між нульовим і першим положенням кривошипа. На ділянці 1–2 положень кривошипа рух вихідної ланки буде сповільненим, а сили  $P_{к.о.}$  і  $P_i$  будуть різнонаправленими (рис. 2б). Таким чином, на другій половині робочого ходу сила інерції  $P_i$  бере участь у подоланні сили корисного опору. На ділянці холостого ходу ведучої ланки (між положеннями 2–3–0, рис. 2в та 2г) теж мають міс-

це прискорений і сповільнений рух вихідної ланки, що також відображається зміною напрямків  $P_i$ . При цьому на ділянці 2–3 (прискорений рух) сила інерції протидіє переміщенню повзуна, а на ділянці 3–0 має місце рекуперативний режим, у якому кінетична енергія повертається. Робота рушійних сил, пов'язана з подоланням сил інерції, визначається рівнем кінетичної енергії рухомих мас, який досягається на визначений момент часу.

Аналіз схем на рис. 2 приводить до висновку про доцільність влаштування механізмів двосторонньої дії, що на додаток позитивних загальних результатів буде супроводжуватися обмеженням нерівномірності ходу вхідної ланки механізму. Останнє твердження пов'язане з тим, що відсутність сили корисного опору на ділянці холостого ходу супроводжується прискоренням руху вхідної ланки. З аналізу роботи кривошипно-повзунного механізму витікає, що за симетричних законів руху на ділянках

прискореного і сповільненого рухів вихідної ланки сили інерції, що стосуються маси самої ланки, також відображаються симетричними законами. Проте навіть за відсутності такої симетрії на повноту енергетичної рекуператії це не впливає, оскільки початку і завершенню робочого ходу відповідають нульові швидкості вихідної ланки. Оскільки максимальному рівню кінетичної енергії відповідає точка 1 на траєкторії переміщення кінематичної пари  $A$ , то це означає, що в ній завершується накопичення кінетичної енергії повзуна і що саме цей її рівень повернеться за період сповільненого руху вихідної ланки. Таке твердження пов'язане з тим, що на момент завершення робочого ходу маємо нульовий рівень кінетичної енергії ( $E = 0$ ). Звідси доходимо висновку, що з точки зору інтересів енергетичних трансформацій закони руху вихідних ланок на ділянках робочого ходу значення не мають. Вони можуть бути симетричними, несиметричними, різними за формою і

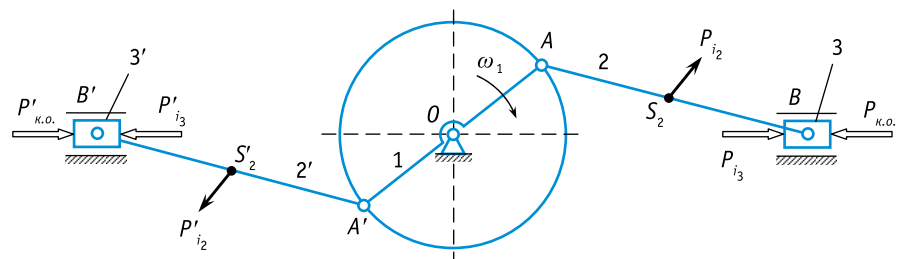


Рис. 1. Схема симетричного подвоєного кривошипно-повзунного плоского механізму

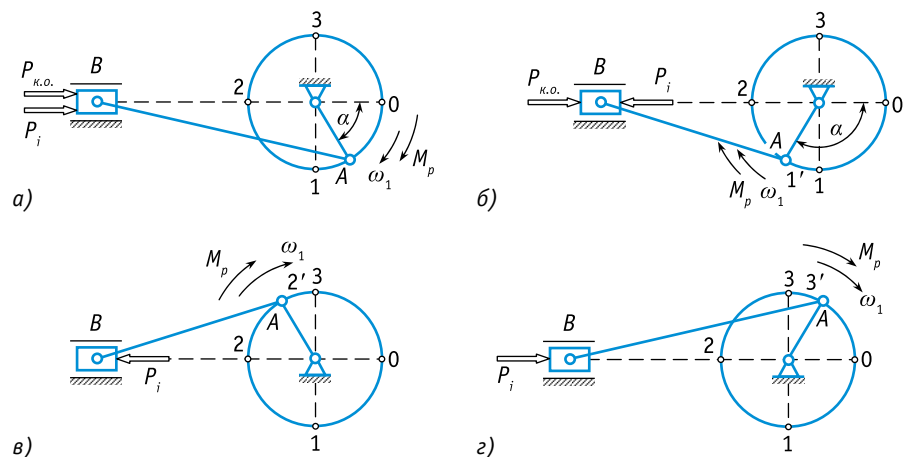
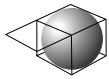


Рис. 2. Схеми із зіставленням напрямків сил корисного опору і сил інерції, що прикладаються до вихідних ланок: робочого (а, б) та холостого (в, г) ходу



часом перебігу, але енергетичні витрати, пов'язані з подоланням сил інерції на ділянках робочого ходу, які стосуються безпосередньо маси вихідної ланки, компенсуються в режимах прискореного і сповільненого руху.

Очевидно, що величини динамічних складових навантажень при цьому пов'язані з кінематичними параметрами, обмеження яких можливе за рахунок використання спарених робочих органів.

### Висновки

Аналіз перехідних процесів у машинах із зворотно-поступальними колівальними і кроковими переміщеннями робочих органів дає можливість відмітити таке:

- співвідношення в часі виконання робочого і холостого ходу за інших рівних умов визначають величини динамічних навантажень, але на енергетичні витрати не впливають;
- переміщення мас у режимах зменшення їхніх швидкостей у періоди

робочого ходу слід оцінювати такими, які забезпечують рекуперацію їхньої кінетичної енергії;

- використання систем з подвійними робочими органами, зміщеними у фазах пропорційно часу перебігу прискореного і сповільненого руху, компенсує величини енерговитрат, пов'язаних з подоланням сил інерції в режимі холостого ходу.

### Література

1. *Кожевников С.Н.* Теория механизмов и машин. — М.: Машиностроение, 1973. — 592 с.
2. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин. — М.: Наука, 1975. — 638 с.
3. *Соколенко А.І., Українець А.І., Шевченко О.Ю. та ін.* Теорія механізмів і машин. Курсове проектування. — К.: Люксар, 2005. — 252 с.
4. *Соколенко А.І., Яровий В.Л., Піддубний В.А. та ін.* Моделювання процесів пакування. — Вінниця: Нова книга, — 2004. — 272 с. *У*

### Нагрузки и энергетические затраты в машинах линий упаковывания

*А.И. Соколенко, д.т.н.,  
К.В. Васильковский, к.т.н.,  
А.А. Палаш, к.т.н., Е.В. Костюк*

Авторы проанализировали энергетические трансформации на примере кривошипно-ползунного механизма. Они пришли к выводу о возможности осуществления рекуперативных режимов за счет структуры, начальных условий, законов кинематики и кинематических связей.

*Ключевые слова:* машина; динамика; энергия; кинематика; синхронизация; моделирование; нагрузки.

### Weight and energy in the packing lines

*A.I. Sokolenko, Dr.,  
K.V. Vasilkovsky, Ph.D.,  
A.A. Palash, Ph.D., E.V. Kostyuk*

It is shown the analysis of energy transformations on the example of slider-crank mechanism leads to the conclusion that the possibility of implementation of recuperative mode due to the structure, initial conditions, laws of kinematics and kinematic relationships.

*Key words:* machine; dynamic; energy; kinematic; synchronization; modeling, weight.



## ЭЛИТНАЯ УПАКОВКА ДЛЯ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ



+38 057 736 0343 +38 050 302 5841  
+38 057 754 7879 +38 050 400 7324

**ООО "ПП" СЕРВИС ПАК"**  
office@service-pack.com.ua www.service-pack.com.ua

**СЛАДКИЙ ТРИУМФ 2013**  
Награда конкурса  
кондитерских изделий  
"Сладкий триумф"

