

УДК 621.898.88

Соколенко А.І., професор, д.т.н.,

Васильківський К.В., доцент, к.т.н.

Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ РЕКУПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЦИКЛІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Вступ. Динаміка перехідних процесів, як розділ механіки, пройшла своє становлення у період 60-х років минулого століття і в узагальненому вигляді результати їх моделювання спрямовувалися на визначення динамічних складових навантажень, часу перебігу процесів, кінематичних параметрів, оптимізації механічних систем за обраними параметрами тощо. Вказані пошуки, доповнені сучасними комп'ютерними програмами, привели до можливостей розв'язання достатньо складних механічних систем, які моделюються сукупностями диференціальних рівнянь тощо. Виник і знаходиться в стадії активного розвитку розділ механотроніки.

В становленні цих нових технологій приймали участь закордонні та вітчизняні вчені, однак стародавня задача рекуперації кінетичної енергії в транспортних машинах і системах технологічних машин вирішена лише для окремих випадків. Так для транспортних систем значної потужності знаходить використання переведення електричних двигунів в генераторні режими. Спроби щодо створення систем з механічними накопичувачами-маховиками успіху не мали [1, 2].

Актуальність теми. У випадку циклічного режиму роботи машин-автоматів необхідно періодично забезпечувати рух веденим ланкам з наступною повною зупинкою, час якої може бути заданим. Для забезпечення короткочасного руху веденої ланки в одному напрямку використовуються механізми з однією діючим зв'язком, механізми з нижчими парами, деякі точки яких описують траєкторії, що на окремих ділянках можуть мало відрізнятися від кола або прямої тощо. До механізмів з однією діючим зв'язком відносяться храпові і анкерні механізми, а до механізмів виродження –мальтійські та зірчкові, неповні зубчасті колеса тощо.

Використання вказаних механізмів дозволяє реалізувати задані перехідні процеси розгону і вибігу. В сучасних технологіях крокове обертання або поступальне переміщення може бути реалізовано за рахунок використання технологій механотроніки. Проте засоби забезпечення циклічного руху ведених мас не мають принципового значення з точки зору інтересів рекуперації механічної енергії, оскільки всі вони на ділянці розгону мають забезпечити задану кінематичну точність.

У загальному випадку час режимів розгону і вибігу може бути різним, що відображується засобами регулювання нерівномірності ходу машини, у тому числі за рахунок використання маховиків. Але ці можливості відносяться до випадків усталених рухів ведених мас. З цієї точки зору маховик має виконувати роль накопичувача енергії та регулятора в системі, однак з таким призначенням в машинах-автоматах з циклічними переміщеннями ведених мас можливості маховика обмежені.

За повного розуміння важливості задачі рекуперації кінетичної енергії в режимах вибігу щодо механічних систем позитивного результату практично не досягнуто.

Зважаючи на це пошуки нових технологій поступово припинилися, як і публікації з цієї теми. Однак при відсутності загального рішення проблеми автори вбачають за можливе досягти позитивного результату для систем, які знаходяться в режимі циклічної роботи в обертальних або зворотно-поступальних переміщеннях.

Матеріали і методи. Метою дослідження обрано розробку теоретичних положень для створення механічних систем з рекуперацією кінетичної енергії в циклічному обладнанні поточкових ліній харчових виробництв.

Циклічно діюче обладнання є характерним для харчової промисловості, особливо на операціях формування пакувальних оболонок з плоскоскладених заготовок, фасування продукції

та її оформлення, створення збільшених вантажних одиниць тощо. Для такого обладнання характерною є присутність перехідних процесів розгону і гальмування, які безперервно чергуються з наступними етапами вистою, під час яких здійснюються технологічні операції, з подальшими переходами до інших операцій. В циклічних переміщеннях забезпечується нове позиціонування робочих органів і разом з ними прототипів упаковок продукції [3, 4].

В промисловості поширені карусельні автомати і автомати з лінійними переміщеннями робочих органів, вибір кінематичних параметрів яких визначається заданою продуктивністю. Збільшення останньої вимагає нарощування швидкостей переміщення, наслідком чого є зростання енергетичних витрат. Під час перехідного процесу розгону системи відбувається подолання сил інерції разом з технологічними опорами переміщенню. При цьому робота проти сил інерції відповідає рівню кінетичної енергії рухомої частини системи, яка в режимі гальмування має зменшитися до нуля. Це означає, що існує теоретична можливість використання накопиченої кінетичної енергії на організацію вибігу системи, однак це пов'язано з законами переміщення, які не вкладаються в рамки вимог циклограми, і призводять до похибок позиціонування робочих органів. Разом з відміченими особливостями рекуперация кінетичної енергії циклічно діючих механічних систем дозволить в енергетичних витратах дійти до рівня, що відповідає роботі проти сил технологічних опорів і опорів тертя. Енергетичні витрати в циклічних системах, пов'язані з подоланням сил інерції, можуть перевищувати витрати на подолання сил опору на один порядок і більше.

Рекуперация кінетичної енергії може бути поширена на інше технологічне обладнання і розробка відповідних теоретичних положень складає мету цього дослідження.

Розроблена теорія дозволить здійснити геометричний і кінематичний синтез та розробити пропозиції щодо технічної реалізації систем з рекуперациєю кінетичної енергії [4].

Результати і обговорення. Більшість технологічних машин зорієнтовані на споживання електричної енергії, для одержання якої необхідно здійснити трансформацію хімічної енергії первинних носіїв у енергію електричного струму. Головним недоліком такого ланцюга енергетичних перетворень є присутність в ньому теплових машин з обмеженими коефіцієнтами корисної дії.

З врахуванням останнього розробку систем з рекуперациєю кінетичної енергії слід оцінювати актуальною, яка дозволить скоротити енергетичні витрати і буде економічно ефективною. Ідея утилізації кінетичної енергії, що накопичується в режимах розгону, може бути використана не тільки відносно спарених технологічних машин з кінематичними зв'язками, а і відносно робочих органів з близькими значеннями масових характеристик або з еквівалентними значеннями кінетичних енергій за умови різних значень кінематичних і масових параметрів. Таке розширення стосується вже спарених мас і це означає доцільність і необхідність вносити відповідні корективи в технологію синтезу машин і механізмів.

Ідея проекту зводиться до наступного. Циклічні переміщення проміжних передавальних елементів, що здійснюють переміщення робочих органів, супроводжуються періодами розгону і гальмування. Пік енергетичного накопичення відповідає моменту завершення робочого ходу. У випадку спарених робочих органів (або спарених машин) реалізується їх асинхронний режим переміщення, за якого моменту завершення робочого ходу першого робочого органу відповідає початок робочого ходу другого. В результаті накопичена кінетична енергія першого органу забезпечує розгін другого. Таким чином реалізується «перетікання» кінетичної енергії, напрямок якого почергово змінюється.

Проектування нових машин супроводжується розрахунками їх елементів на міцність, жорсткість та стійкість. Розміри ланок визначаються у відповідності з тими силами, які на них діють. Важливим результатом синтезу машин є витрати енергії на подолання технологічних і механічних опорів. 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 обмеженням енергетичних витрат. У першому наближенні здається, що дві названі задачі практично збігаються за призначенням і методами досягнення, однак при цьому мають місце принципові відмінності. У зв'язку з викладеним до

числа завдань даного проекту віднесено створення теорії одночасного обмеження силових і енергетичних витрат.

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 замкнених траєкторіях, а напрямки сили є незмінним. Однак у середині циклу руху механізму робота сили 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 названі дві задачі у своєму призначенні і методах досягнення практично збігаються, однак при цьому мають місце принципові відмінності.

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.

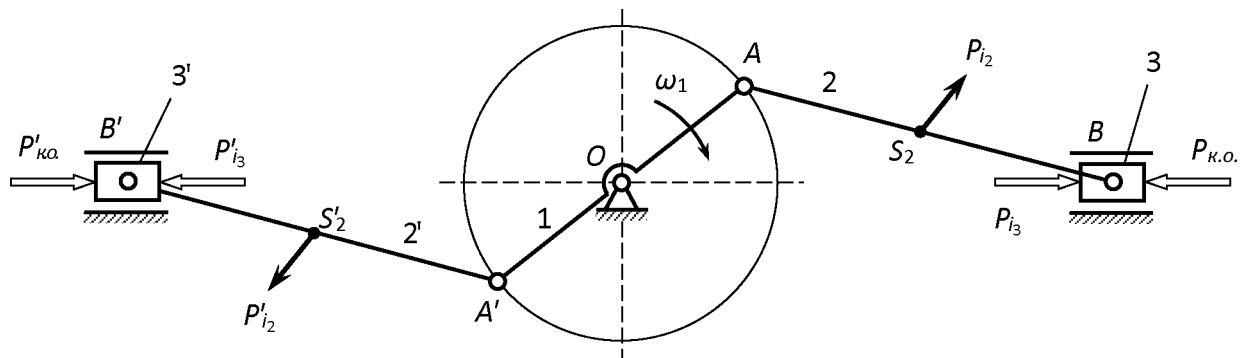


Рисунок 1 – Схема симетричного подвоєного кривошипно-повзунного плоского механізму

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° між нульовим і першим положенням кривошипа. На ділянці 1-2 положень кривошипа рух вихідної ланки буде сповільненим, а сили $P_{к.о.}$ і P_G будуть різнонаправленими (рис. 2, б). Таким чином, на другій половині робочого ходу сила інерції P_G бере участь у подоланні сили корисного опору. На ділянці холостого ходу ведучої ланки (між положеннями 2-3-0, рис. 2, в та 2, г) також мають місце прискорений і сповільнений рухи вихідної ланки, що також відображується зміною напрямків P_{im} . 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.

Висновки. 1. Аналіз схем по рис. 2 приводить до висновку про доцільність влаштування механізмів двосторонньої дії, що на додаток до позитивних загальних

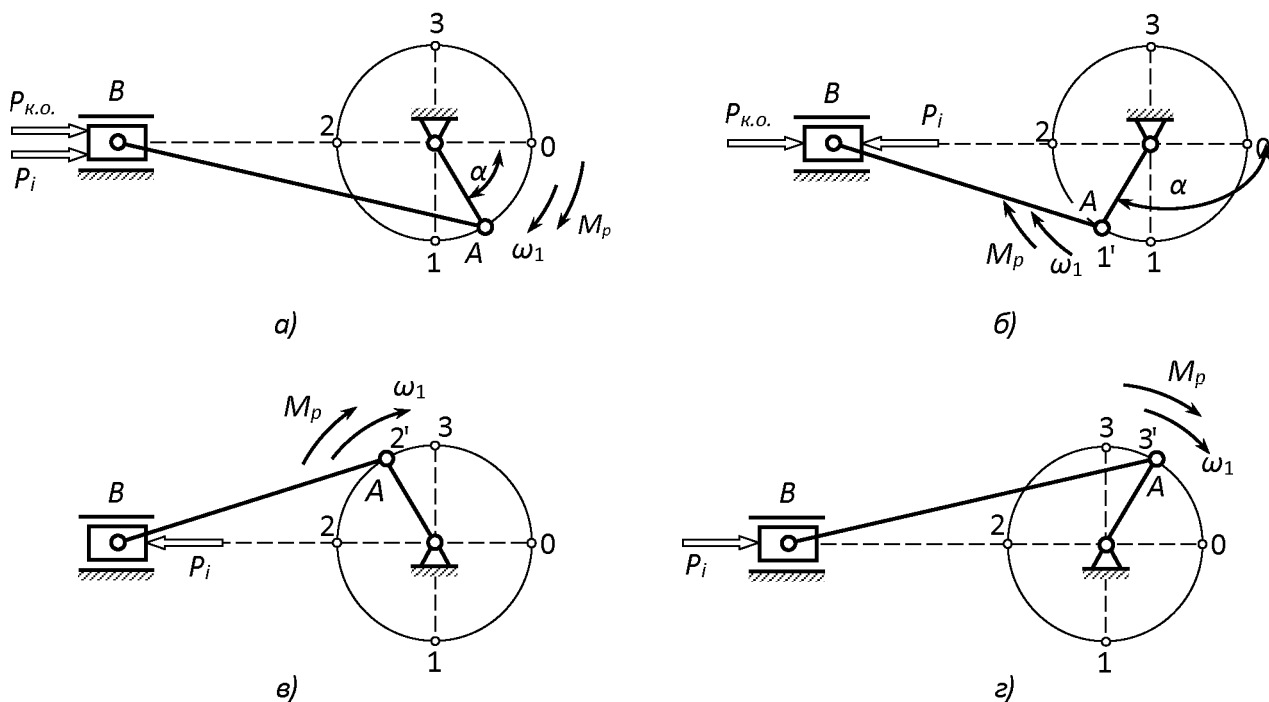


Рисунок 2 – Схеми із співставленням напрямків сил корисного опору і сил інерції, що прикладаються до вихідних ланок: робочого (а, б) та холостого (в, г) ходу

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.

2. З аналізу роботи кривошипно-повзунного механізму витікає, що за симетричних законів руху на ділянках прискореного і сповільненого руху вихідної ланки сили інерції також відображаються симетричними законами. Проте, навіть відсутність такої симетрії на повноту енергетичної рекуперації не впливає, оскільки початку і завершенню робочого ходу відповідають нульові швидкості вихідної ланки.

3. Оскільки максимальному рівню кінетичної енергії відповідає точка 1 на траєкторії переміщення кінематичної пари А, то це означає, що в ній завершується накопичення кінетичної енергії повзуна і що саме цей її рівень повернеться у періоду сповільненого руху вихідної ланки. Звідси витікає, що з точки зору інтересів енергетичних трансформацій закони руху вихідних ланок на ділянках робочого ходу значення не мають.

4. Енергетичні витрати, пов'язані з подоланням сил інерції на ділянках робочого ходу, які стосуються безпосередньо маси вихідної ланки, компенсуються під час прискореного і сповільненого руху.

Література

1. Криворотько, В.М. Рекуперація механічної енергії в машинах циклічної дії / В.М. Криворотько, К.В. Васильківський, А.І. Соколенко // Харчова промисловість. – 2014. – № 15. – С. 160–164.
2. Криворотько, В.М. Динаміка і рекуперація вторинних енергетичних ресурсів у механічних системах / В.М. Криворотько, А.І. Соколенко, С.А. Бут, К.В. Васильківський // Наукові праці НУХТ. – 2014. – Т. 20. – № 1. С. 171–180.
3. Соколенко, А. Взаимосвязь между кинематическими и энергетическими параметрами в упаковочной технике / А. Соколенко, К. Васильковский, С. Бут // Русенски университет "Ангел Кънчев". Научни трудове. – Том 53. – Серия 10.2. Биотехнологии и хранителни технологии. – Русе, 2014. – С. 59–64.
4. Криворотько, В.М. Замкнені контури енергокористування в харчових технологіях / В.М. Криворотько, А.І. Соколенко, О.М. Семенов // Харчова промисловість. – 2013. – № 14. – С. 163–166.