

УДК 681.62.067.35

## **ДИНАМІЧНА І МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛІ КУЛАЧКОВОГО ОБЕРТОВОГО МЕХАНІЗМУ, ЗБЛОКОВАНОГО З РОЗВАНТАЖУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ, ТАМПОДРУКАРСЬКОЇ МАШИНИ ПТМ-200**

© О. О. Палюх, к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

**По результатам анализа динамической и математической модели кулачкового оборотного механизма тампопечатной машины ПТМ-200 исследовано, что его использование целесообразно в тех случаях, когда при реализации отдельных операций технологического цикла машины в цикловых механизмах преобладающими являются силы инерции, возникающие при неравномерном движении ведомых масс.**

**According to the analysis of dynamic and mathematical models of the cam working mechanism tampoprint machine PTM-200 was investigated, that its use is appropriate in cases where the implementation of individual operations of the technological cycle machine cycle mechanisms are predominant forces of inertia arising from the irregular movement led by the masses.**

### **Постановка проблеми**

Завданням дослідження динаміки тамподрукарських машин є встановлення зв'язку між всіма активними (внутрішніми, зовнішніми і інерційними) силами, прикладеними до виконавчих пристроїв, і функціонуванням системи. Функціонуванням системи є здатність виконавчих механізмів виконувати технологічні функції за заданими умовами:

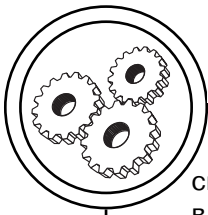
— забезпечення виконання технологічного процесу із заданими параметрами — кінематичними, динамічними, фізичними (тиск, температура, вміст вологи і т. ін.);

— забезпечення заданої швидкості роботи виконавчих механізмів, обумовленої продуктивністю, яка визначена у технічному завданні;

— забезпечення надійності функціонування і технічної надійності машини.

### **Аналіз попередніх досліджень**

Попередній досвід експлуатації і дослідження тамподрукарських машин показав, що на якість і точність функціонування виконавчих систем, а відповідно, і на якість продукції, визначальний вплив здійснюють різноманітні динамічні явища, які обумовлені як зовнішніми факторами, так і параметрами самої системи. До перших відносяться величини і вид навантажень, швидкість виконання технологічних процесів, параметри напівфабрикатів. До других — структура механізму, геометричні розміри, величини і розподілення мас окремих елементів



системи, їх пружно-дисипативні властивості, вид передаточних функцій.

З метою поліпшення динаміки тамподрукарських машин, кінематичних і динамічних характеристик їх виконавчих механізмів, доцільно синтез проводити у наступних напрямках:

— визначення технологічних навантажень і періоду часу для виконання технологічної операції (по можливості, із врахуванням пружнопластичних властивостей напівфабрикату, що оброблюється певним виконавчим механізмом);

— визначення схем і геометричних параметрів виконавчих механізмів;

— синтез законів періодичного руху для циклових механізмів в залежності від навантаження або вимог до їх кінематичних параметрів (позиціонування законів швидкості, значень кінематичних величин та ін.);

— синтез механізмів із врахуванням поліпшення їх динамічних параметрів і характеру технологічних навантажень.

Універсальним методом математичного опису динаміки системи є система рівнянь Лагранжа в узагальнених координатах

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dT}{dq_i} \right) - \frac{dT}{dq_i} + \frac{dU}{dq_i} = Q_i, \quad (1)$$
$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dT}{dq_s} \right) - \frac{dT}{dq_s} + \frac{dU}{dq_s} = Q_s$$

де  $T$  — кінетична енергія системи;  $U$  — потенціальна енергія системи;  $q_i$  — узагальнена координата,  $i = 1, \dots, s$ ;  $Q_i$  — узагальнена сила;  $s$  — число ступенів свободи. Важливо, що вид і чис-

ло цих рівнянь не залежать ні від кількості тіл, що входять в систему, ні від характеру їх руху. Число рівнянь визначається тільки числом степенів свободи.

Основна задача вирішення системи рівнянь Лагранжа до того щоби, знаючи узагальнені сили  $Q_1, Q_2, \dots, Q_s$  і початкові умови, знайти закон руху у вигляді кінематичних рівнянь руху

$$\begin{aligned} q_i &= f_i(t), \\ q_s &= f_s(t), \end{aligned} \quad (2)$$

При цьому доцільно дотримуватись послідовності рішення:

— враховуючи число степенів свободи системи  $s$ , вибрати узагальнені координати;

— скласти схему активних сил, що діють на ланки системи;

— відобразити узагальнені сили  $Q_i$ ;

— відобразити кінетичну енергію системи в абсолютному русі і відтворити цю енергію через узагальнені координати  $q_i$ , узагальнені швидкості  $\dot{q}_i$ ;

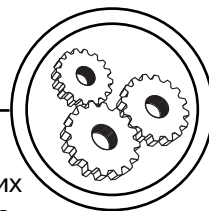
— розрахувати відповідні часткові похідні від  $T$  по  $q_i$  і  $\dot{q}_i$ ;

— підставити всі значення в рівняння Лагранжа;

— із отриманих рівнянь шляхом їх інтегрування знайти закон руху системи в кінематичному виді або визначити діючі сили, якщо задані сили і початкові умови, якщо існує закон руху.

### Мета роботи

Побудова динамічної і математичної моделі кулачкового обертового механізму, зблокованого з розвантажуючим пристроєм, тамподрукарської машини ПТМ-200.



**Результати проведених досліджень**

Пошук дійсного закону руху ланок механізму по заданим зовнішнім і внутрішнім силам є одною із основних задач динаміки поліграфічного обладнання.

Дослідження динаміки кулачкового обертового механізму тамподрукарської машини перш за все передбачає дослідження руху його маси під впливом на неї сил. Діючі сили можливо поділити на інерційні, внутрішнього опору, пружності, зовнішні сили (технологічного опору та ін.).

Крім того, реальна механічна система має нескінчене число степенів свободи. Однак для вирішення практичних задач, необхідно доцільно обмежити число степенів свободи, але так, щоб це не спотворювало закономірностей руху мас. При створенні динамічної моделі необхідно:

— визначити число степенів свободи;

— відтворити інерційні властивості системи масами або моментами інерції, які зосереджені у визначених точках;

— з'єднати ці точки безінерційними пружно-дисипативними або кінематичними зв'язками.

Параметри, вибрані для побудови динамічної моделі, приводяться до відповідних ланок механізмів, виходячи із її еквівалентної реальної системи за енергетичним запасом.

При побудові динамічної моделі під вхідною підсистемою будемо розуміти розподільчий вал з його елементами, а під вихідною підсистемою — вико-

навчі органи і приведені до них маси, а також жорсткість передаточних ланок.

Зблоковані кулачкові поворотні механізми тамподрукарських машин можуть бути представлені динамічною моделлю, привід якої представляємо еквівалентною системою, яка складається з двох дисків і загального приведенного вала з пружно-дисипативною ділянкою. Динамічну модель вихідної підсистеми представимо як систему, маса якої з'єднана з коромислом безінерційними пружно-дисипативними зв'язками, а коромислу надається коливний рух від кулачків (рис.).

Для розглядуваного механізму існує наступний взаємозв'язок між вхідними і вихідними ланками, між функцією положення і передатною функцією:

$$q = \Pi(\varphi), \quad (3)$$

де  $\varphi$  і  $q$  — узагальнені координати відповідно вхідної і вихідної ланки,  $\Pi$  — функція положення ланки  $h$ , а похідні від  $\Pi$  — передатні функції.

$$\dot{q} = \Pi'(\varphi)\dot{\varphi};$$

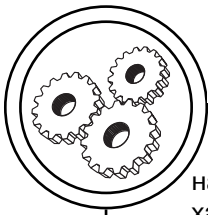
$$\ddot{q} = \Pi''(\varphi)\dot{\varphi}^2 + \Pi'(\varphi)\ddot{\varphi};$$

$$\text{де } \Pi'(\varphi) = \frac{d\Pi}{d\varphi} \text{ і } \Pi''(\varphi) = \frac{d^2\Pi}{d\varphi^2} \text{ —}$$

передатні функції.

Для розрахунків прийняті такі позначення:

$I_{0,1}$  — приведені моменти інерції мас привода;  $I_3$  — приведені моменти інерції мас вихідної підсистеми;  $C_1$  — приведена крутильна жорсткість пружних зв'язків привода;  $C_3$  — приведе-



на жорсткість заблокованих механізмів і зв'язків між ними;  $\psi_1, \psi_3$  — коефіцієнти розсіювання відповідних зв'язків;  $M_0$  — рушійний момент, прикладений до вихідної ланки системи зі сторони привода;  $M_3$  — збуджуючі моменти, прикладені до вихідних мас;  $\Pi = \Pi(\varphi)$  — функція положення;  $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_3$  — абсолютні кутові переміщення відповідних мас;  $q_0, q_1, q_3, q_5$  — приріст відносних кутових переміщень відповідних мас.

Так як дослідженню підлягають коливальні процеси, то в якості узагальнених координат приймаємо відносні і абсолютні переміщення  $q_0 = \varphi_0 \approx \omega_0 t$  на вході привода моделі. Зв'язок між абсолютними і відносними координатами відтворюється залежностями:

$$\varphi_1 = q_0 + q_1; \quad \varphi_3 = q_3 + q_5; \quad \text{де} \\ q_5 = \Pi(\varphi_1).$$

Для математичного опису динамічної моделі необхідно:

— вибрати точки зосередження мас або моментів інерції;

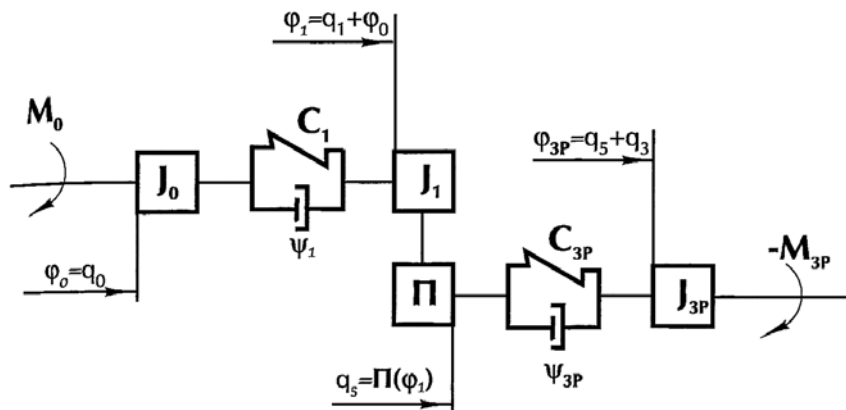
— привести до цих точок маси і моменти інерції;

— привести пружно-дисипативні зв'язки в механізмі до безінерційних зв'язків між інерційними елементами системи;

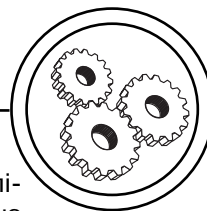
— визначити число і напрямків узагальнених координат;

— скласти рівняння руху із врахуванням зв'язків, що обмежують функціонування механізму.

Для розглядуваної динамічної моделі заблокованого поворотного кулачкового механізму тамподрукарської машини отримана математична модель, яка представляє систему нелінійних диференціальних рівнянь. Після ліанеризації неперервної функції положення і її передатних функцій навколо поточного фазового кута  $q_0 = \varphi_0$  шляхом розкладення їх у ряди Тейлора за ступенями малої величини математична модель представляється системою неоднорідних лінійних рівнянь із змінними коефіцієнтами:



Динамічна модель кулачкового обертового механізму заблокованого з розвантажуючим пристроєм



$$(I_1 + T_3 \Pi^2) \ddot{q}_1 + 2\dot{I}_3 \omega_0 \Pi' \Pi'' \dot{q}_1 + \dot{C}_1 + \omega_0^2 I_3 (\Pi' \Pi'' + \Pi'^2) - \Pi'' M_3] \ddot{q}_1 = -\Pi' [I_3 (\omega_0^2 \Pi'' \ddot{q}_3) + M_3] - R_1; \quad (4)$$

$$I_3 \Pi' \ddot{q}_1 + 2I_3 \omega_0 \Pi'' \dot{q}_1 + I_3 \omega_0 \Pi'' \dot{q}_1 = I_3 (\omega_0^2 \Pi'' + \dot{q}_3) - C_3 \dot{q}_3 - R_3 M_3. \quad (5)$$

де  $T_3$  — кінетична енергія вихідної підсистеми;  $R_1, R_3$  — дисипативні сили, відповідні коефіцієнтам розсіювання  $\psi_1, \psi_3$ .

### Висновки

Враховуючи принцип утворення кулачкового обертового механізму, зблокованого з розвантажуючим пристроєм, тамподрукарської машини ПТМ-200, його використання є доцільним у тих випадках, коли при реалізації окремих операцій технологічного циклу машини в цикловому механізмі переважаючими є сили інерції, що виникають при нерівномірному русі ведених мас.

Часткова або повна локалізація сил інерції з допомогою розвантажуючих пристроїв механізму дозволяє скоротити навантаження в кінематичних парах виконавчих механізмів і приводі машини, підвищити їх надійність і довговічність.

З допомогою розглядуваного механізму можна реалізувати найбільш використовувані рухи робочих органів, що зустрічаються при виконанні технологічного процесу.

Технологічні процеси друкування або оздоблення на готових виробках у тамподрукарській машині ПТМ-200 визначили необхідність розробки і розрахунку механізмів, які мають нові якісні характеристики при реалізації основних видів періодичного руху.

Такі механізми мають можливість широкої зміни відношення періоду повороту до періоду вистою і забезпечують силове замикання вихідної ланки в період вистою, що відповідає процесу друку, сушки і т. ін.

1. Вульфсон И. И. Динамические расчеты цикловых механизмов / Вульфсон И. И. — Л. : Машиностроение, 1976. — 328 с. 2. Воскресенский М. И. Теория и методы проектирования кулачково-рычажных механизмов полиграфических машин по заданной долговечности / Воскресенский М. И. — Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1970. — 24 с. 3. Кожевников С. Н. / Кожевников С. Н. // Проблемы динамики машин. — Машиностроение, 1971. — № 3. — С. 3—10. 4. Палюх О. О. Удосконалення структури та синтез механізмів обертового стола тамподрукарських машин / Палюх О. О. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Київ, 2004. — 24 с. 5. Петрук А. И. Вопросы синтеза механизмов цикловых машин / Петрук А. И. — К. : Наукова думка, 1981. — 118 с. 6. Тир К. В. Механика полиграфических машин / Тир К. В. — М. : Книга, 1965. — 496 с. 7. Фишин М. Е. Расчет механизмов транспортно-подающих систем полиграфических машин / Фишин М. Е. — М. : Машиностроение, 1979. — 256 с. 8. Яницкий В. Г. Пружинные программные разгрузатели цикловых механизмов. Методические разработки / Яницкий В. Г., Полюдов А. Н. // Методы расчета цикловых механизмов. — Критериал, 1974. — Вып. 16. — С. 1—74.

Рецензент — Ю. О. Шостачук,  
к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 08.11.10