УДК 621.836.7

В. Р. Пасіка, Р. С. Маца

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ КОМБІНОВАНИХ МАЛЬТІЙСЬКИХ МЕХАНІЗМІВ З ДОДАТКОВИМ ВИСТОЄМ ХРЕСТА

У роботі наводяться дані комп'ютерного аналізу для перевірки результатів синтезу профілю кулачка в комбінованих мальтійських механізмах з додатковою зупинкою хреста. Показано, що результати моделювання чудово узгоджуються з теоретичними обчисленнями, проведеними раніше.

In the article are described of computer-based analysis the data for verification of results of synthesis of cam profile in the combined Maltese mechanisms with the additional stop of cross. Results of modeling perfectly conform to theoretical calculations which conducted previously.

Сучасні комп'ютерні технології уможливлюють проведення кінематичного чи силового аналізу механізмів за допомогою різноманітних пакетів програм. Це можуть бути SolidWorks, SolidEdge, Simulink і деякі інші.

Перші два пакети вимагають створення твердотілих моделей механізмів з подальшим їх «оживленням» у середовищі Adams Dynamics Designer. До речі, твердотілі моделі можна створити і в AutoCADi, Компасі або інших CAD програмах. Створена твердотіла модель складається з окремих деталей (ланок) конкретної форми з конкретними геометричними та інерційними характеристиками. Ланки з'єднуються між собою кінематичними парами відповідного класу. Результати роботи таких пакетів зводяться до виводу графіків кінематичних чи силових характеристик ланок або кінематичних пар. Результати можна отримати і у вигляді таблиць. Недоліком даного підходу є те, що для аналізу тієї ж механічної системи, але з іншими геометричними чи інерційними характеристиками необхідно створити нову твердотілу модель. Позитивний момент — це врахування форми деталей механічної системи. Моделювання механічних систем у таких пакетах можна зіставити з проведенням віртуального експерименту.

З появою бібліотеки SimMechanics пакета Simulink-6 [1] у дослідників з'явилася можливість проводити аналіз кінематичних і силових характеристик механічних систем, абстрагуючись від форми самих деталей. При цьому не потрібно створювати твердотілі моделі, а лише певну блок-схему, яка складається з ланок (bodies) і кінематичних пар (Joints), що моделюють рух твердих тіл і степінь свободи одного тіла відносно другого. Зміна одного чи більше параметрів системи не приводить до необхідності створення нової блок-схеми, а лише спричиняє числову зміну у вікні налаштувань відповідного блока. Цей факт можна віднести до позитивних властивостей даного пакета, оскільки дослідник значно оперативніше може проаналізувати механічну систему з різними параметрами. Крім того, процес побудови блок-схеми механічної системи набагато простіший, ніж процес створення відповідної твердотілої моделі. Негативним моментом бібліотеки SimMechanics пакета Simulink-6 є те, що вона враховує не форму твердих тіл, а лише відстань між кінематичними парами, розташованими на цих тілах. Розглядуваним пакетом доцільно перевіряти математичні моделі, що описують роботу механізмів і машин.



Рис. 1. Принципова схема комбінованого мальтійського механізму з додатковим вистоєм хреста

У пропонованій роботі автори ставили за мету за допомогою бібліотеки SimMechanics пакета Simulink-6 провести кінематичний аналіз комбінованого мальтійського механізму (рис. 1), який розглядався в роботі [2]. У ході комп'ютерного аналізу перевіряли правильність отриманих аналітичних залежностей для коефіцієнта часу роботи і збіжність отриманого закону руху хреста з бажаним синусоїдним. Аналіз проводили для комбінованого мальтійського механізму з такими даними: число пазів z = 4; довжина водила 1 у взаємно перпендикулярному положенні осі водила й осі паза хреста $l_{OA} = 0,1$ м; необхідний закон повороту хреста 3 —

синусоїда; необхідний коефіцієнт часу роботи $k_p = 0,22$ (для вихідних механізмів $k_p = 0,333$); обмежувальна величина синтезованого радіуса кулачка 4 на ІVділянці $I_{rc} = 0,12$ м. Задавали також профіль кулачка у вигляді радіусавектора *r*, що був синтезований для вказаних параметрів у роботі [2].

Згідно з роботою [2] обчислюємо додатковий коефіцієнт $k_o = \oint z - 2k_p (z+2) \oint / (z-2) / (1+k_p) = 0,27869$, а потім — і кут додаткового вистою хреста Dj $= k_o i j_{1S} / 2 = 12,54^\circ$, де $j_{1S} = p (1-2/z) = p / 2$ — сумарний кут повороту водила для вихідного механізму з числом пазів z = 4. Для даних параметрів механізму було синтезовано необхідний теоретичний профіль кулачка у вигляді радіуса-вектора *r* траєкторії осі пальця 2 водила 1.

Блок-схема для дослідження комбінованого мальтійського механізму наведена на рис. 2.

У даній блок-схемі елементарні блоки поділені за функціональним призначенням на три групи. До першої групи відносяться блоки, що моделюють окремі ланки механізму (GROUND, BODY, KRANK, KRANK 2, CAM, GROUND KRANK) та кінематичні зв'язки між ними (кінематичні пари). Блоки Prismatic, Prismatic 1 моделюють поступальні, а блоки Revolute 1, 2, 3 обертальні кінематичні пари. За допомогою блоків fi, отеда, ерѕ, що обведені штриховою рамкою 1, задаються закони руху на тяговій ланці, водилі 1 (друга група). Блоки S1, V1, A1 задають зміну радіуса-вектора $r - l_{OA}$, швидкість і пришвидшення цієї зміни, чим моделюється теоретичний профіль кулачка. Результати моделювання відображаються групою блоків, що обведені штриховою рамкою 2 (третя група).



Рис. 2. Блок-схема для дослідження комбінованого мальтійського механізму

ПОЛІГРАФІЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Розглянемо детальніше налаштування деяких блоків. Блок GROUND моделює елемент стояка, до якого через обертальну кінематичну пару Revolute 1 кріпиться хрест мальтійського механізму (блок BODY). Вісь обертання водила розміщена на відстані a від осі обертання хреста, що відображено в налаштуванні цього блока (рис. 3).

🕞 Block Parameters: GROUND	- OX
Ground	
Grounds one side of a Joint to a fixed location coordinate system.	in the World
Parameters	
Location (vult) (valative to the World searching	to overtam)
	mm 🗸
Show Machine Environment port	
OK Cancel Help	Apply

Рис.3. Налаштування блока GROUND

Масив M, що розміщений у полі Data (рис. 4), попередньо обчислений керуючою програмою і розташований у робочій області системи MATLAB.

Таким чином, змінюючи вхідні параметри — z, l_{OA} , k_p , l_{rc} , у керуючій програмі MATLAB можемо проводити моделювання руху механізму з іншими параметрами без додаткових налаштувань. Крок моделювання (поле Туре), початковий (поле Start time) і кінцевий (поле Stop time) час моделювання та деякі інші параметри встановлюються у вікні Configuration Parameters (меню Simulation \rightarrow Configuration Parameters) (рис. 5). Детальніше ознайомитися з особливостями налаштувань блоків, а також з методикою моделювання механічних систем можна в роботі [1].

Виконавши усі необхідні процедури, проводимо моделювання (рис. 6).

За допомогою осцилографів (acceleration, speed, angle) відображаємо кінематичні характеристики хреста комбінованого мальтійського механізму. На осцилографах візуально бачимо, що на початку і в кінці руху є додатковий вистій у порівнянні з кінематичними параметрами вихідного мальтійського механізму [3]. Для кількісної обробки отриманих результатів за допомогою блоків To file, To file 1, To File 2 записуємо обчислені кінематичні характеристики у файли у форматі *.mat. Запис інформації виконується у вигляді масиву з двох стовпців. Перший стовпець — час, другий кінематична характеристика. Такий формат запису дозволяє кількісно визначити час повороту на *I* і *III* ділянках (див. рис. 1), а також перевірити, чи закон руху хреста на *II* ділянці відповідає синусоїді.

🗟 Source Block Parameters: S1 🛛 🗙		
From Workspace		
Read data values specified in array or structure format from MATLAB's workspace. Array (or matrix) format: 1-D signal: var=[TimeValues DataValues] For 2-D signal use structure format Structure format: var.time=[TimeValues] var.signals.values=[DataValues] var.signals.dimensions=[DimValues] Select interpolation to interpolate or extrapolate at time steps for which data does not exist.		
Parameters Data:		
M		
Sample time:		
0		
✓ Interpolate data		
Form output after final data value by: Extrapolation		
<u> </u>		

Рис. 4. Налаштування блока S1

Simulation time	
Start time: 0.0	Stop time: T
-Solver options	
Type: Fixed-step	▼ Solver: ode3 (Bogacki-Shanpine) ▼
Periodic sample time constraint:	Unconstrained
Fixed-step size (fundamental sample time):	dt
Tasking mode for periodic sample times:	Auto
🔲 Higher priority value indicates higher tas	k priority
Automatically handle data transfers betw	veen tasks

Рис. 5. Налаштування параметрів моделювання у вікні

Визначивши експериментально час додаткового вистою хреста $Dt_e = 0.0348(3)$ *с*, знаходимо відповідний кут додаткового вистою хреста $Dj_e = w_1 Dt_e = 2p \times 0.0348 = 12.54^{\circ}$, який повністю збігається з кутом, обчисленим вище теоретично. Коефіцієнт часу роботи, отриманий у результаті моделювання, визначаємо за виразом [2]:



$$k_{pe} = \frac{p / z (z - 2) - 2Dj}{p / z (z + 2) + 2Dj} = 0,22.$$

Рис. 6. Фрагмент робочого столу з відображенням результатів моделювання

Отже, аналітичні залежності для обчислення коефіцієнта часу роботи хреста, одержані в роботі [2], є правильними.

Для підтвердження, що пришвидшення хреста, яке отримане експериментально (рис. 6, графік acceleration), змінюється за синусоїдним законом, зробимо наступне.

Запишемо аналітичний вираз для кутового пришвидшення хреста в комбінованому механізмі:

$$\mathbf{e}_{xp} = \mathbf{e}_{e\max} \sin \mathbf{e}_{xp} \frac{2\mathbf{p}}{\mathsf{F}_{xp}} \frac{\mathbf{p}}{\mathsf{F}_{xp}} \mathbf{e}^{\mathsf{D}}$$

де $\mathbf{e}_{e\,max}$ — амплітуда графіка пришвидшення, який отримано експериментально; \mathbf{F}_{xp} — сумарний кут повороту хреста в комбінованому механізмі; $\mathbf{j}_{xp} = 0...\mathbf{F}_{xp}$. Сумарний кут повороту хреста визначимо за очевидною залежністю $F_{xp} = j_{2S} - 2Dj_{2S} = 2p/z$ — сумарний кут повороту хреста вихідного механізму. Для нашого прикладу $j_{2S} = p/2$.

Відносну похибку при визначенні кутового пришвидшення хреста (рис. 7) знайдемо за формулою





Незначна похибка викликана різницею між кроком обчислень при синтезі профілю кулачка в середовищі MATLAB і кроком обчислень при моделюванні руху хреста в середовищі SIMULINK 6.

Таким чином, можемо зробити наступні висновки:

результати моделювання добре узгоджуються з проведеними теоретичними дослідженнями, що підтверджує правильність отриманих аналітичних залежностей у роботі [2];

створена блок-схема для моделювання руху комбінованого мальтійського механізму може використовуватись для моделювання руху комбінованого мальтійського механізму з іншими параметрами;

бібліотеку SimMechanics пакета Simulink-6 рекомендовано використовувати для проведення моделювання з метою перевірки теоретичних досліджень.

1. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в МАТLAB: Учебный курс. СПб; К., 2005. 2. Пасіка В.Р. Регулювання часу повороту хреста в комбінованих мальтійських механізмах // Мат. міжнар. наук.-техн. конф. «Надежность и долговечность механизмов, элементов конструкций и биомеханических систем». Севастополь, 2005. С. 80 – 88. 3. Фишин М.Е. Расчет механизмов транспортно-подающих систем полиграфических машин. М., 1979.