

О.І.ЗИНЧЕНКО, канд.техн.наук; НТУ «ХП»

ДИНАМІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРОСІВАННЯ ФОРМУВАЛЬНОЇ ЗЕМЛІ

У роботі запропонована методика розрахунку динамічних характеристик механізму просівання формувальної землі. Наведені результати розрахунків, одержані аналітичним методом і за допомогою апроксимації сплайном. Зіставлені результати.

In the article method of dynamical analysis of mechanisms of screening forming earths with application analytical method and by means approximate of spline are considered.

Вступ. Механізм просівання формувальної землі використовується в ливарному виробництві. Структура цього механізму така, що він складається із початкової ланки 1; ланок 2 і 4, які здійснюють складний рух і ланок 3 і 5, які здійснюють обертальний рух (див. рис.). Ланка 4 являє собою сито для просівання. Такий механізм відносять до механізму третього класу по Артоблевському [1].

При проектуванні машин або аналізі їх роботи нерідко з'являється необхідність обчислювати дійсні швидкості та прискорення ланок механізму або їх переміщення, які відповідають заданим положенням початкової ланки. В цьому випадку методи аналізу механізмів, розглянуті в кінематиці механізмів, не можуть бути використані, оскільки в них припускається заданим закон руху початкової ланки [1].

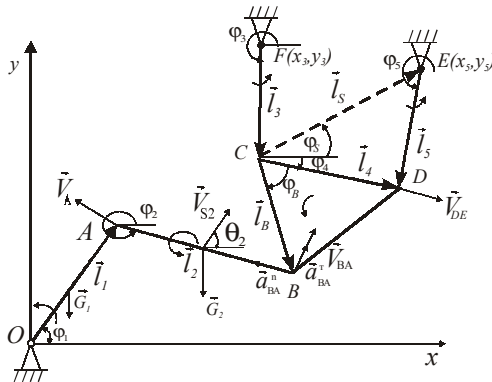


Рисунок – Механізм просівання формувальної землі

Співвідношення між приведеними до початкової ланки моментами рушійних сил і сил опору визначає стан руху машини – усталений чи неусталений. Однак, для одержання відповіді на те, які швидкості і прискорення точок механізму, необхідно скласти рівняння руху машини і розв'язати його відносно шуканої величини. Розв'язання поставленої задачі утруднене тим, що приведений момент інерції механізму є складною функцією невідомого положення

ланки, у той час як моменти зовнішніх сил можуть бути задані як функції часу або кутової швидкості.

Постановка задачі динамічного дослідження механізму третього класу. Метою даної статті є знаходження зведеного моменту інерції механізму просівання аналітично та за допомогою апроксимації сплайном, його першої похідної, знаходження зведеного моменту сил опору аналітично та за допомогою апроксимації сплайном.

Необхідно спочатку скласти рівняння руху механізму [2], тобто розв'язати систему диференціальних рівнянь:

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{1}{I_n} \left[M_\delta + M_o - \frac{1}{2} \psi^2 \frac{dI_n}{d\varphi} \right]; \frac{d\varphi}{dt} = \psi, \quad (1)$$

де ψ – шукана кутова швидкість, M_δ – зведений момент рушійних сил, M_o – зведений момент сил опору, I_n – зведений момент сил інерції.

M_o визначимо по формулі Клосса [2]:

$$M_o = \frac{2M_\kappa}{\frac{S_\kappa}{S} + \frac{S}{S_\kappa}}, \quad (2)$$

де $S = (\omega_c - \omega)/\omega_c$, ω_c – синхронна кутова швидкість, S – поточне ковзання ротора по відношенню до обертового магнітного поля, S_κ – критичне ковзання ротора, $S_\kappa = S_n(k + \sqrt{k^2 - 1})$, M_κ – критичний момент, $k = M_\kappa/M_n$ – коефіцієнт перевантаження.

Величини ω_c , S_n , M_n , k знаходимо із довідника. Величини системи (1) знайдемо наступним чином.

Виконаємо зведення мас і сил. Умовою еквівалентності механізму і його зведеної маси є рівність їх кінематичних енергій [3]. Для механізму, представленого на рисунку, кінетична енергія має вигляд:

$$T = \frac{\omega_1^2}{2} \left\{ I_1 + m_2 \left(\frac{v_{s2}}{\omega_1} \right)^2 + I_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + I_3 \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 + m_4 \left(\frac{v_{s4}}{\omega_1} \right)^2 + I_4 \left(\frac{\omega_4}{\omega_1} \right)^2 + I_5 \left(\frac{\omega_5}{\omega_1} \right)^2 \right\} = I_n \frac{\omega_1^2}{2}. \quad (3)$$

В якості ланки зведення вибрано початкову ланку – кривошип. Тоді $m_n = I_n/I_1^2$, де m_n – зведена маса, I_n – зведений момент інерції.

Маємо:

$$I_n = 1/\omega_1^2 (m_2(v_{s2})^2 + I_2(\omega_2)^2 + I_3(\omega_3)^2 + I_4(\omega_4)^2 + m_4(v_{s4})^2 + I_5(\omega_5)^2). \quad (4)$$

$$\frac{dI_n}{d\varphi} = 2m_2v_{s2} \frac{dv_{s2}}{d\varphi} + 2I_2\omega_2 \frac{d\omega_2}{d\varphi} + 2I_3\psi_3 \frac{d\omega_3}{d\varphi} + 2m_4v_{s4} \frac{dv_{s4}}{d\varphi} + 2I_4\psi_4 \frac{d\omega_4}{d\varphi} +$$

$$+ 2I_5 \psi_5 \frac{d\omega_5}{d\varphi}. \quad (5)$$

Зведений момент сил опору M_o знаходимо із умови рівності миттєвих потужностей механізму і ланки зведення [3]:

$$M_n = \sum_{i=1}^n P_i \frac{V_i}{\omega_n} \cos \alpha_i + \sum_{j=1}^n M_j \frac{\omega_j}{\omega_n}, \quad (6)$$

де P_i – сила, яка діє на i -ту ланку механізму; V_i – швидкість точки прикладення сили; α_i – кут між векторами P_i і V_i ; M_j – момент, який діє на j -ту ланку механізму; ω_j – кутова швидкість j -ої ланки механізму; ω_n – кутова швидкість ланки зведення.

В якості P_i розглядаємо сили ваги ланок. Таким чином, маємо:

$$M_o = -m_2 g V_{S2} \sin \theta_2 - m_3 g V_{S3} \sin \theta_3 - m_4 g V_{S4} \sin \theta_4 - m_5 g V_{S5} \sin \theta_5, \quad (7)$$

де θ_i – кут між напрямком вектора швидкості V_{Si} і віссю x (див. на рис. кут θ_2).

Зведений момент сил опору M_o знайдемо аналітично, а також ж з допомогою апроксимації сплайном.

В загальному вигляді задачу інтерполяції можна розв'язати, використовуючи формулу Лагранжа [4]. Формула Лагранжа дозволяє знайти многочлен степені p , який проходить через $p + 1$ задану точку. Однак, при високих степенях поліному крива може одержати характер, який не відповідатиме фізичній природі процесів в технічних системах. Тому доцільно використовувати інтерполяцію сплайном [4].

Позначимо сплайн, його першу і другу похідну відповідно S , S' , S'' . Нумерацію вузлових точок почнемо з нуля. Номер крайнього правого вузла – n . Номер ділянки співпадає з номером правого вузла.

Позначимо значення другої похідної S'' у вузлових точках через m_i . Тоді на ділянці $i + 1$ між вузлами i і $i + 1$ маємо:

$$S'' = m_i + k(m_{i+1} - m_i), \quad (8)$$

де k – безрозмірний аргумент на ділянці $i + 1$: $k = (x - x_i)/h$, де h – крок.

На лівій межі ділянки $k = 0$, на правій $k = 1$. Представлення S'' у вигляді (8) забезпечує неперервність другої похідної у вузлових точках.

Проінтегруємо два рази функцію (8) по змінній x , маючи на увазі, що $dk/dx = 1/h$. Маємо:

$$S' = (m_{i+1} - m_i) \frac{k^2 h}{2} + m_i k h + C_1; \quad (9)$$

$$S = (m_{i+1} - m_i) \frac{k^3 h^2}{6} + m_i \frac{k^2 h^2}{2} + C_1 k h + C_2. \quad (10)$$

C_1 і C_2 знайдемо із умови, що сплайн на ділянці $i + 1$ повинен проходити через вузлові точки с ординатами y_i і y_{i+1} . При цьому k приймає значення: $k = 0$ або $k = 1$. Із формул (9) і (10) одержимо:

$$C_1 = \frac{y_{i+1} - y_i}{h} - (m_{i+1} - m_i) \frac{h}{6} - m_i \frac{h}{2}; \quad C_2 = y_i.$$

Підставляючи значення C_1 і C_2 у (9) і (10) одержимо:

$$S' = \frac{y_{i+1} - y_i}{h} - \frac{h}{6} \left((2 - 6k + 3k^2)m_i + (1 - 3k^2)m_{i+1} \right); \quad (11)$$

$$S = (m_{i+1} - m_i) \frac{k^3 h^2}{6} + m_i k^2 \frac{3h^2}{6} + kh \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h} - (m_{i+1} - m_i) \frac{h}{6} - m_i \frac{h}{2} \right) + y_i.$$

Після приведення подібних членів одержимо:

$$S = y_{i+1}k + y_i(1 - k) + \frac{kh^2}{6} (k((m_{i+1} - m_i)k + 3m_i) - (m_{i+1} + 2m_i)). \quad (12)$$

Запишемо тепер умову неперервності першої похідної для внутрішніх вузлів відрізка інтерполяції. Значення S'_i для i -тої ділянки при $k = 1$, тобто в кінцевій точці ділянки $(i - 1, i)$, дорівнює:

$$S'_i = \frac{y_i - y_{i-1}}{h} - \frac{h}{6} (-m_{i-1} - 2m_i). \quad (13)$$

S'_{i+1} при $k = 0$, тобто в початковій точці ділянки $(i, i + 1)$, дорівнює:

$$S'_{i+1} = \frac{y_{i+1} - y_i}{h} - \frac{h}{6} (m_{i+1} + 2m_i). \quad (14)$$

Тоді умова неперервності має вигляд:

$$\frac{y_i - y_{i-1}}{h} - \frac{h}{6} (-m_{i-1} - 2m_i) = \frac{y_{i+1} - y_i}{h} - \frac{h}{6} (2m_i + m_{i+1}), \quad (15)$$

звідки випливає:

$$m_{i-1} + 4m_i + m_{i+1} = \frac{6}{h^2} (y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}). \quad (16)$$

Для визначення $(n + 1)$ значення m_i може бути записано $(n - 1)$ рівняння (16). Ще два рівняння, яких не достає, можна задати у вигляді значень другої похідної на кінцях відрізка інтерполяції. Ці крайові значення для неперіодичної функції мають вигляд:

$$m(0) = U_0; \quad m(n) = U_n. \quad (17)$$

Найчастіше $m_0 = m_n = 0$, однак результати інтерполяції можуть бути покращені, якщо дослідити вплив цих величин на результати інтерполяції.

Система рівнянь (16), (17) лінійна відносно шуканих $m_1 \dots m_{n-1}$. Оскільки у ліві частини кожного із рівнянь (16), (17) входять лише три невідомі величини, матриця лівих частин є трюхдіагональною. Праві частини – відомі величини:

$$d_i = \frac{6}{h^2} (y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}).$$

Канонічний вигляд рівнянь з трюхдіагональною матрицею має вигляд:

$$a_i m_{i-1} - b_i m_i + c_i m_{i+1} = d_i, \quad (18)$$

де коефіцієнти a_i, b_i, c_i наведені у табл. 1.

Система з трюхдіагональною матрицею найбільш просто розв'язується методом прогонки [4], який є окремим випадком методу Гауса, а тому має петворення прямого та оберненого ходів:

Таблиця 1

i	a_i	b_i	c_i	$d_i h^2/6$
0	0	-1	0	$U_0 h^2/6$
1	1	-4	1	$y_2 - 2y_1 + y_0$
2	1	-4	1	$y_3 - 2y_2 + y_1$
3	1	-4	1	$y_4 - 2y_3 + y_2$
...
$n-1$	1	-4	1	$y_n - 2y_{n-1} + y_{n-2}$
n	0	1	0	$U_n h^2/6$

$$\lambda_{i+1} = c_i / (b_i - a_i \lambda_i); \eta_{i+1} = (a_i \eta_i - d_i) / (b_i - a_i \lambda_i), \quad (19)$$

де $i = \overline{1, n-1}$; λ_i, η_i – допоміжні коефіцієнти.

Так як коефіцієнти a_0 і c_0 дорівнюють нулю, то слід прийняти $\lambda_1 = 0; \eta_1 = 0$.

Формули перетворень оберненого ходу:

$$m_i = m_{i+1} \lambda_{i+1} + \eta_{i+1}. \quad (20)$$

У рівнянні (20) i слід змінювати від n до 0, задавши $m_n = U_n$. В результаті виконання усіх вказаних вище операцій знаходимо параметри m_1, m_2, \dots, m_{n-1} .

Результати динамічного дослідження механізму третього класу. Була розв'язана задача кінематичного дослідження даного механізму з наступними розмірами ланок і координатами нерухомих шарнірів: $x_3 = 75; y_3 = 93; x_5 = 128,5; y_5 = 103,5; l_1 = 10; l_2 = 104; l_3 = 60; l_4 = 64; l_5 = 48,5; l_B = 22; \varphi_B = -39,3; l_{S2} = 0,53 l_2; l_{S3} = 0,3 l_3; l_{S4} = 0,25 l_B; l_{S5} = 0,2 l_5$. Кутова швидкість ланки зведення $\omega_1 = 1$. Знайдено крайнє положення механізму, яке відповідає куту повороту кривошипу $\varphi_1 = \varphi_2 = 14,426^\circ$, при цьому інші кути повороту: $\varphi_3 = 283,826^\circ, \varphi_4 = 22,558^\circ, \varphi_5 = -65,721^\circ$. В результаті розв'язання системи рівнянь

$$\begin{cases} -l_2 \psi_2 \sin \varphi_2 + l_3 \psi_3 \sin \varphi_3 + l_B \psi_4 \sin(\varphi_4 + \varphi_B) = l_1 \psi_1 \sin \varphi_1; \\ l_2 \psi_2 \cos \varphi_2 - l_3 \psi_3 \cos \varphi_3 - l_B \psi_4 \cos(\varphi_4 + \varphi_B) = -l_1 \psi_1 \cos \varphi_1; \\ -l_3 \psi_3 \sin \varphi_3 - l_4 \psi_4 \sin \varphi_4 + l_5 \psi_5 \sin \varphi_5 = 0; \\ l_3 \psi_3 \cos \varphi_3 + l_4 \psi_4 \cos \varphi_4 - l_5 \psi_5 \cos \varphi_5 = 0. \end{cases}$$

методом Гауса з вибором головного елемента [4] знайшли кутові швидкості ланок: $\psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5$ та швидкості центрів мас ланок $v_{S2}, v_{S3}, v_{S4}, v_{S5}$. В результаті розв'язання системи рівнянь

$$\begin{cases} -l_1 \psi_1^2 \cos \varphi_1 - l_2 \psi_2^2 \cos \varphi_2 - l_2 \varepsilon_2 \sin \varphi_2 = -l_3 \psi_3^2 \cos \varphi_3 - l_3 \varepsilon_3 \sin \varphi_3 - \\ -l_B \psi_4^2 \cos(\varphi_4 + \varphi_B) - l_B \varepsilon_4 \sin(\varphi_4 + \varphi_B); \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{aligned} -l_1\psi_1' \sin \varphi_1 - l_2\psi_2' \sin \varphi_2 + l_2\varepsilon_2 \cos \varphi_2 &= -l_3\psi_3' \sin \varphi_3 + l_3\varepsilon_3 \cos \varphi_3 - \\ -l_B\psi_4^2 \sin(\varphi_4 + \varphi_B) + l_B\varepsilon_4 \cos(\varphi_4 + \varphi_B); \\ -l_5\psi_5^2 \cos \varphi_5 - l_5\varepsilon_5 \sin \varphi_5 &= -l_3\psi_3^2 \cos \varphi_3 - l_3\varepsilon_3 \sin \varphi_3 - l_4\psi_4^2 \cos \varphi_4 - l_4\varepsilon_4 \sin \varphi_4; \\ -l_5\psi_5^2 \sin \varphi_5 + l_5\varepsilon_5 \cos \varphi_5 &= -l_3\psi_3^2 \sin \varphi_3 + l_3\varepsilon_3 \cos \varphi_3 - l_4\psi_4^2 \sin \varphi_4 + l_4\varepsilon_4 \cos \varphi_4. \end{aligned} \right.$$

знайшли кутові прискорення ланок: $\varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5$ та прискорення центрів мас ланок $a_{S2}, a_{S3}, a_{S4}, a_{S5}$.

Динамічне дослідження даного механізму проводилося з наступними вихідними даними:

$$I_1 = 0; I_2 = 0,8; I_3 = 0,5; I_4 = 18; I_5 = 0,2; m_2 = 10; m_3 = 5; m_4 = 550; m_5 = 3,5.$$

Результати представлені у вигляді таблиць 2, 3. У табл. 2, 3 $i = 0$ відповідає куту повороту кривошипа $\varphi_1 = \varphi_2 = 14,426^\circ$. Наступні значення i відповідають кутам повороту кривошипу, відрахованим через $7,5^\circ$ від попередніх значень. У табл. 2 наведені значення $I_n, dI_n/d\varphi$, знайдені із (4), (5) та значення S'_{In}, S'_{dIn} , знайдені із (11). У табл. 3 наведені значення M_o , знайдені із (7); S'_{Mo} та S'_{In} (похідні від сплайнів моменту сил опору та зведеного моменту інерції), знайдені із (11). Із табл. 3 видно, що максимальна похибка підрахунку величини S'_{In} порівняно із величиною $dI_n/d\varphi$ складає 0,119.

Таблиця 2

i	I_n	S'_{In}	$dI_n/d\varphi$	S'_{dIn}
0	0,034	0,017	-0,002	12,562
1	0,153	1,748	1,628	12,172
2	0,479	3,186	3,141	10,763
3	0,974	4,332	4,402	8,334
4	1,600	5,184	5,278	4,886
5	2,315	5,657	5,668	1,140
6	3,060	5,662	5,595	-2,182
7	3,777	5,199	5,115	-5,081
8	4,402	4,268	4,283	-7,557
9	4,883	3,077	3,164	-9,396
10	5,205	1,831	1,860	-10,389
11	5,360	0,532	0,482	-10,553
12	5,342	-0,821	-0,860	-9,831
13	5,149	-2,086	-2,068	-8,588
14	4,806	-3,120	-3,099	-7,112
15	4,342	-3,923	-3,920	-5,403
16	3,789	-4,496	-4,503	-3,462
17	3,176	-4,820	-4,822	-1,419
18	2,539	-4,877	-4,876	0,594
19	1,911	-4,668	-4,668	2,575

Продовження табл. 2

i	I_n	S'_{I_n}	$dI_n/d\varphi$	S'_{dI_n}
20	1,328	-4,192	-4,203	4,527
21	0,824	-3,487	-3,491	6,300
22	0,424	-2,592	-2,5677	7,748
23	0,153	-1,506	-1,4764	8,871
24	0,038	-0,229	-0,259	9,669
25	0,095	1,090	1,032	9,939
26	0,319	2,304	2,311	9,4779
27	0,694	3,413	3,481	8,286
28	1,207	4,416	4,448	6,363
29	1,839	5,170	5,127	3,981
30	2,544	5,532	5,482	1,414
31	3,270	5,501	5,489	-1,339
32	3,967	5,077	5,124	-4,279
33	4,585	4,333	4,379	-6,986
34	5,090	3,341	3,323	-9,043
35	5,449	2,102	2,040	-10,450
36	5,630	0,615	0,615	-11,208
37	5,608	-0,922	-0,864	-11,265
38	5,395	-2,310	-2,301	-10,572
39	5,010	-3,548	-3,599	-9,128
40	4,473	-4,637	-4,658	-6,934
41	3,809	-5,434	-5,392	-4,245
42	3,069	-5,793	-5,759	-1,316
43	2,311	-5,716	-5,726	1,854
44	1,592	-5,202	-5,263	5,263
45	0,965	-4,327	-4,362	8,366
46	0,471	-3,165	-3,110	10,617
47	0,149	-1,717	-1,620	12,015
48	0,034	0,017	-0,002	12,562

Таблиця 3

i	M_o	S'_{M_o}	$dI_n/d\varphi$	S'_{I_n}	похибка
0	-4,933	179,608	-0,002	0,017	-0,019
1	18,462	176,395	1,628	1,748	-0,119
2	40,867	164,481	3,141	3,186	-0,045
3	61,143	143,865	4,402	4,332	0,070
4	78,151	114,548	5,278	5,184	0,094
5	90,950	81,059	5,668	5,657	0,011
6	99,388	47,927	5,595	5,662	-0,067
7	103,513	15,154	5,115	5,199	-0,084

Продовження табл. 3

i	M_o	S'_{M_o}	$dI_n/d\varphi$	S'_{I_n}	похибка
8	103,371	-17,262	4,283	4,268	0,015
9	99,149	-46,122	3,164	3,077	0,088
10	91,591	-68,226	1,860	1,831	0,029
11	81,582	-83,576	0,482	0,532	-0,051
12	70,006	-92,171	-0,861	-0,821	-0,040
13	57,706	-94,940	-2,068	-2,086	0,017
14	45,364	-92,809	-3,100	-3,120	0,021
15	33,622	-85,779	-3,920	-3,923	0,003
16	23,121	-73,850	-4,503	-4,496	-0,007
17	14,403	-59,295	-4,822	-4,820	-0,002
18	7,613	-44,385	-4,876	-4,877	0,001
19	2,799	-29,120	-4,668	-4,668	-0,000
20	0,005	-13,500	-4,203	-4,192	-0,011
21	-0,809	0,450	-3,491	-3,487	-0,004
22	-0,0381	10,708	-2,568	-2,592	0,024
23	1,834	17,274	-1,476	-1,506	0,029
24	4,323	20,147	-0,259	-0,229	-0,030
25	6,923	18,787	1,032	1,090	-0,058
26	9,033	12,654	2,311	2,304	0,007
27	10,028	1,748	3,481	3,413	0,069
28	9,283	-13,932	4,448	4,416	0,032
29	6,279	-31,932	5,127	5,170	-0,043
30	0,929	-49,799	5,482	5,532	-0,050
31	-6,752	-67,534	5,489	5,501	-0,012
32	-16,746	-85,135	5,124	5,077	0,046
33	-28,901	-99,540	4,379	4,333	0,046
34	-42,532	-107,685	3,323	3,341	-0,018
35	-56,820	-109,570	2,040	2,102	-0,062
36	-70,944	-105,194	0,615	0,615	0,001
37	-84,082	-94,460	-0,864	-0,922	0,059
38	-95,392	-77,267	-2,301	-2,310	0,009
39	-104,029	-53,616	-3,599	-3,548	-0,051
40	-109,147	-23,507	-4,658	-4,637	-0,021
41	-110,0421	9,856	-5,392	-5,434	0,042
42	-106,564	43,270	-5,759	-5,793	0,035
43	-98,711	76,735	-5,726	-5,716	-0,010
44	-86,473	110,250	-5,26	-5,20	-0,061
45	-70,023	139,741	-4,362	-4,327	-0,035
46	-50,242	161,130	-3,110	-3,165	0,055
47	-28,192	174,419	-1,620	-1,717	0,098
48	-4,933	179,608	-0,002	0,017	-0,019

Висновки. Розв'язана задача динамічного дослідження механізму для просівання формувальної землі. Розроблено комплекс програм мовою Паскаль, завдяки яким одержані необхідні кінематичні та динамічні характеристики механізму. У результаті роботи над даною задачею динамічного дослідження використана можливість розрахунку різними методами величини $dI_n/d\varphi$. Виявилося, що величина похибки точного і наближеного методу незначна. Точним був підрахунок величини $dI_n/d\varphi$ аналітичним методом, використовуючи формулу (5), а наближеним – підрахунок похідної від сплайну зведеного моменту інерції (S'_m). Таким чином, можна зробити висновок, що можливо значно зменшити час розрахунків, вилучивши із програми обчислення $dI_n/d\varphi$ точним методом, тобто частину операторів, які визначають прискорення центрів мас ланок та кутові прискорення ланок (див. формулу 5).

Список літератури: 1. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1988. – 776 с. 2. *Грунауэр А.А.* Теория механизмов и машин. – Киев: УМК ВО, 1992. – 384 с. 3. *Кожевников С.Н.* Теория механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 591 с. 4. *Калиткин Н.Н.* Численные методы. – М.: Наука, 1978. – 512 с.

Надійшла до редколегії 27.11.2008