

Ляшук О.Л.,
Дячун А.Є.,
Клендій В.М.,
Тесля В.О.,
Навроцька Т.Д.,
Радик М.Д.

Тернопільський національний
технічний університет
імені Івана Пулюя,
м. Тернопіль, Україна
E-mail: kaf_am@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ
КАЛІБРУВАННЯ ВИТКА КОНІЧНОЇ ГВИНТОВОЇ
ЗАГОТОВКИ НА КРОК

УДК 621.86

У статті представлено нову схему процесу калібрування витка конічної гвинтової заготовки на крок. Приведено результати динаміки процесу калібрування витків конічних гвинтових заготовок на крок. Виведені аналітичні залежності для визначення силових і конструктивних параметрів і побудовані графічні залежності зміни зусилля калібрування і лінії деформації.

Ключові слова: динаміка, процесу калібрування, конічних гвинтових заготовок.

Вступ. На основі експериментальних досліджень встановлено, що в процесі калібрування витка конічної гвинтової заготовки на крок виникають динамічні коливання оправки, при цьому амплітуда коливань збільшується із збільшенням ширини витка. Коливання виникає як у вертикальній площині, так і в горизонтальній, а також супроводжується крутильними коливаннями. Оскільки коливання оправки має вплив на міцність оправки, а також на продуктивність процесу калібрування, виникає необхідність у дослідженні динамічних навантажень на елементи установки для калібрування гвинтових заготовок на крок та характер переміщення її складових.

Ці переміщення можна знайти за допомогою вирішення диференціальних рівнянь руху. Для спрощення розрахунків виконуємо деяку ідеалізацію системи, викидаючи другорядні фактори.

Аналіз останніх результатів досліджень і публікацій. На даний час ведуться активні пошуки можливості вдосконалення секційних гвинтових робочих органів з метою підвищення їх експлуатаційних показників [1-3], оскільки безвальні гвинтові робочі органи, незважаючи на простоту конструкції, не забезпечують відповідної продуктивності або мають низький ресурс роботи. Основні напрямки вдосконалення конструкцій робочих органів, проведення теоретичних і експериментальних досліджень пов'язані із зменшенням енерговитрат на процес транспортування [4-6], спрощення конструкцій та зменшення їх матеріаломісткості, а також підвищення експлуатаційних показників [7-9].

Реалізація роботи. Розрахункову схему процесу калібрування витка конічної гвинтової заготовки на крок можна представити так, як це показано на рис. 1. Ця модель представлена у вигляді зосереджених мас, що з'єднані пружними зв'язками. Пружні зв'язки допустимо невагомими, що характеризуються постійним коефіцієнтом жорсткості.

Місцевими напруженнями і деформаціями в місцях з'єднання окремих елементів будемо нехтувати. До зосереджених мас віднесено m_1 – маса конічної гвинтової заготовки та оправки для калібрування, m_2 – маса клина, m_3 – маса пристрою для закріплення клина, I_1 – момент інерції конічної гвинтової заготовки та оправки для калібрування, I_2 – момент інерції шпинделя установки, I_3 – момент інерції ротора двигуна. Крім цього, на рисунку показані коефіцієнти жорсткості: C_{12} – приведена жорсткість на кручення

шпинделя установки та оправки для калібрування, C_{23} – приведена жорсткість на кручення вала між шпинделем та двигуном, k_{1z}, k_{1y} – приведені лінійні жорсткості оправки для калібрування відповідно в напрямках осей z та y ; k_{2z} – приведена лінійна жорсткість клина в напрямку осі z ; k_{23} – приведена лінійна жорсткість клина в напрямку осі y , k_{3y} – приведена лінійна жорсткість пристрою для закріплення клина в напрямку осі y . Крім цього позначені коефіцієнти демпфування: $\beta_{12\phi}$ – коефіцієнт демпфування крутильних коливань шпинделя установки та оправки для калібрування, $\beta_{23\phi}$ – коефіцієнт демпфування крутильних коливань вала між шпинделем та двигуном, β_{1z}, β_{1y} – коефіцієнти демпфування лінійних коливань оправки для калібрування відповідно в напрямках осей z та y ; β_{2z} – коефіцієнт демпфування лінійних коливань клина в напрямку осі z , β_{23y} – коефіцієнт демпфування лінійних коливань клина в напрямку осі y , β_{3y} – коефіцієнт демпфування лінійних коливань пристрою для закріплення клина в напрямку осі y . До клина прикладена сила подачі клина Q та сила удару P_y , що виникає в момент початку калібрування витків. На оправку діє крутний момент $M_{кр}$. Оправка обертається із частотою ω . Крім цього на двигуні прикладений крутний момент M_d .

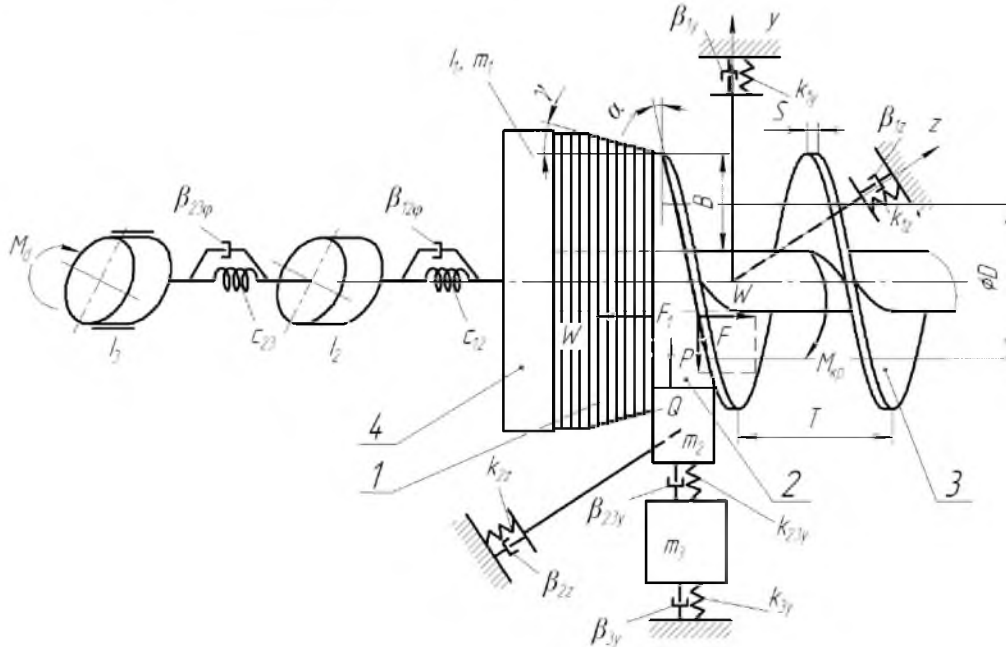


Рис. 1 – Розрахункова схема процесу калібрування витка конічної гвинтової заготовки на крок:
 1 – щільно навіта конічна заготовка, 2 – клин; 3 – калібровані на крок T витки гвинтової заготовки;
 4 – оправка для калібрування

Силу подачі клина визначаємо за формулою [1]

$$Q(t) = \frac{2\beta \cdot B(t) \cdot \left[\sigma_{T,0} \cdot \frac{S^2}{4} + \Pi \cdot \left(\frac{R_1^2 + r_1^2}{4} \cdot \ln \sqrt{\frac{R_1}{r_1}} - \frac{R_1^2 - r_1^2}{8} \right) \right]}{D} \left[\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg} \varphi_{12} \right], \quad (1)$$

де β – коефіцієнт, що враховує вплив середнього головного напруження σ_z ; $B(t)$ – змінна ширина витка, мм; $\sigma_{T,0}$ – екстрапольована границя текучості, МПа; S – товщина витка, мм; Π – лінійний модуль зміцнення, МПа; R_1, r_1 – зовнішній і внутрішній радіуси гнуття витка під час калібрування, мм; D – середній діаметр заготовки до калібрування, мм; α – кут нахилу клина, град; φ – кут тертя на похилій площині клина, град; φ_{12} – кут тертя на вертикальній площині клина, град; t – час, с.

Крутний момент $M_{кр}$ на оправці [1]

$$M_{kp}(t) = \beta \cdot B(t) \cdot \left[\sigma_{T,0} \cdot \frac{S^2}{4} + \Pi \cdot \left(\frac{R_1^2 + r_1^2}{4} \cdot \ln \sqrt{\frac{R_1}{r_1}} - \frac{R_1^2 - r_1^2}{8} \right) \right] [\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg} \varphi_{12}]. \quad (2)$$

Наша система має 8 степеней вільності. Виберемо в якості узагальнених координат φ_1 – кут повороту оправки (вважаємо додатнім в напрямку проти годинникової стрілки); φ_2 – кут повороту шпинделя; φ_3 – кут повороту ротора двигуна; z_2, y_2 – переміщення центра маси клина в напрямку осей z та y ; z_1, y_1 – переміщення центра маси оправки для калібрування в напрямку осей z та y ; y_3 – переміщення центра маси пристрою для закріплення клина в напрямку осей z та y . Додатні напрямки переміщення показані на рис. 1.

Отримаємо диференціальні рівняння коливання без врахування опору середовища за допомогою рівняння Лагранжа другого роду

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_j} = Q_j \quad (j=1,8). \quad (3)$$

Тоді кінетична енергія системи

$$T = \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{I_3 \cdot \dot{\varphi}_3^2}{2} + \frac{m_2 \cdot (\dot{z}_2^2 + \dot{y}_2^2)}{2} + \frac{m_1 \cdot (\dot{z}_1^2 + \dot{y}_1^2)}{2} + \frac{m_3 \cdot \dot{y}_3^2}{2}. \quad (4)$$

Потенціальна енергія системи

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2}{2} + \frac{C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2)^2}{2} + \frac{k_{1z} \cdot (z_1 - R\varphi_1)^2}{2} + \frac{k_{2z} \cdot z_2^2}{2} + \frac{k_{1y} \cdot y_1^2}{2} + \\ & + \frac{k_{23y} \cdot (y_3 - y_2)^2}{2} + \frac{k_{3y} \cdot y_3^2}{2}, \end{aligned} \quad (5)$$

де R – радіус оправки для калібрування.

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} = I_1 \dot{\varphi}_1; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} \right) = I_1 \ddot{\varphi}_1; \quad \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_1} = -C_{12}(\varphi_2 - \varphi_1) - k_{1z}R(z_1 - R\varphi_1).$$

Отже, перше рівняння прийме вигляд

$$I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 - C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) - k_{1z}R(z_1 - R\varphi_1) = M_{kp}.$$

Для другого рівняння

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} = I_2 \dot{\varphi}_2; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) = I_2 \ddot{\varphi}_2; \quad \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_2} = C_{12}(\varphi_2 - \varphi_1) + C_{23}(\varphi_2 - \varphi_3).$$

$$I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + C_{23} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) = 0.$$

Аналогічно отримуємо наступні шість рівнянь. Остаточна повна система рівнянь задачі має вигляд

$$\begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 - C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) - k_{1z}R(z_1 - R\varphi_1) &= M_{kp}(t), \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + C_{23} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) &= 0, \\ I_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 + C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2) &= -M_d, \\ m_2 \cdot \ddot{z}_2 + k_{2z}z_2 &= Q(t) \operatorname{tg} \varphi, \\ m_1 \cdot \ddot{z}_1 + k_{1z}(z_1 - R\varphi_1) &= Q(t) \operatorname{tg} \varphi, \\ m_3 \cdot \ddot{y}_3 + k_{23y}(y_3 - y_2) + k_{3y}y_3 &= 0, \\ m_2 \cdot \ddot{y}_2 - k_{23y}(y_3 - y_2) &= Q(t), \\ m_1 \cdot \ddot{y}_1 + k_{1y}y_1 &= Q(t). \end{aligned} \quad (6)$$

Якщо враховувати розсіювання енергії, то рівняння запишуться так

$$\begin{aligned}
 I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 - C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) - \beta_{12\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) - k_{1z} R(z_1 - R\varphi_1) - \beta_{1z} R(\dot{z}_1 - R\dot{\varphi}_1) &= M_{\kappa p}(t), \\
 I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + \beta_{12\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) + C_{23} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) + \beta_{23\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) &= 0, \\
 I_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 + C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2) + \beta_{23\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2) &= -M_d, \\
 m_2 \cdot \ddot{z}_2 + k_{2z} z_2 + \beta_{2z} \dot{z}_2 &= Q(t) \operatorname{tg} \varphi, \\
 m_1 \cdot \ddot{z}_1 + k_{1z} (z_1 - R\varphi_1) + \beta_{1z} (\dot{z}_1 - R\dot{\varphi}_1) &= Q(t) \operatorname{tg} \varphi, \\
 m_3 \cdot \ddot{y}_3 + k_{23y} (y_3 - y_2) + \beta_{23y} (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + k_{3y} y_3 + \beta_{3y} \dot{y}_3 &= 0, \\
 m_2 \cdot \ddot{y}_2 - k_{23y} (y_3 - y_2) - \beta_{23y} (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) &= Q(t), \\
 m_1 \cdot \ddot{y}_1 + k_{1y} y_1 + \beta_{1y} \dot{y}_1 &= Q(t).
 \end{aligned} \tag{7}$$

Досліджуючи ударну взаємодію клина із витком конічної гвинтової заготовки, враховуємо лише дію миттєвої сили удару P_y , яка є великою, але такою, що створює імпульс із скінченною величиною [2]

$$\vec{S}_1 = \int_{t_0}^{t_0+t_{K2}} \vec{P}_y dt, \tag{8}$$

де t_0 – початковий момент часу, с; t_{K2} – тривалість удару, с.

Під час зіткнення твердих тіл t_{K2} має порядок 10^{-4} с. Як відомо із теоретичної механіки

$$\vec{S}_1 = m_1 \cdot \vec{V}_K - m_1 \cdot \vec{V}_\Pi, \tag{9}$$

де V_K – кінцева відносна лінійна швидкість руху оправки для калібрування, м/с; V_Π – початкова відносна лінійна швидкість руху оправки для калібрування, м/с.

Для нашого випадку $t_0 = 0$, $V_\Pi = 0$, кінцева відносна лінійна швидкість руху оправки для калібрування V_K рівна швидкості переміщення. Оскільки удар не є абсолютно пружним, вводимо коефіцієнт відновлення K_B , що враховує фізико-механічні властивості матеріалів і лежить на проміжку $0 < K_B < 1$. Прийmemo силу удару P_1 постійною на проміжку від t_0 до t_{K2} . Тому, прирівнюючи рівняння (8) і (9), враховуючи коефіцієнт відновлення, після відповідних перетворень одержимо

$$P_1 = K_B \cdot \frac{m_1 \cdot V_K}{t_{K2}}. \tag{10}$$

Для того щоб ввести силу удару P_y у динамічну модель, враховуючи її короткочасну дію, вводимо допоміжний безрозмірний коефіцієнт

$$F_9 = b \cdot \left(1 - \frac{t}{t_{K2}} \right), \tag{11}$$

де b – коефіцієнт на порядок вищий за величину сили удару.

Тоді силу удару представимо алгебраїчною функцією

$$P_y = \frac{F_9 + P_1 - |F_9 - P_1| + |F_9 + P_1 - |F_9 - P_1||}{4}. \tag{12}$$

Зміну сили удару у часі t представимо на рис. 2.

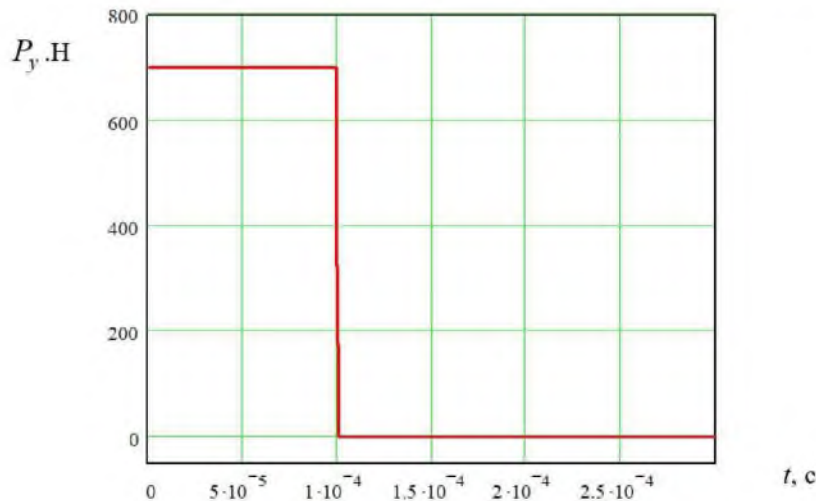


Рис. 2 – Графік зміни сили удару клина із витком конічної гвинтової заготовки P_y у часі t

Зміну ширини витка конічної частини гвинтової заготовки залежно від повороту оправки можна представити залежністю

$$B = B_0 + \eta \frac{B_1 - B_0}{2\pi}, \quad (13)$$

де B_0 – початкова ширина витка, мм; B_1 – ширина наступного витка гвинтової заготовки, мм; η – кут повороту оправки, рад.

Згідно рис. 1:

$$B_1 - B_0 = S \operatorname{tg} \gamma, \quad (14)$$

де γ – кут нахилу твірної конічної частини гвинтової заготовки, град.

Кут повороту оправки

$$\eta = \omega t. \quad (15)$$

Підставляючи рівняння (15) та (14) у рівняння (13), одержуємо

$$B(t) = B_0 + \frac{\omega t S \operatorname{tg} \gamma}{2\pi}. \quad (16)$$

Оскільки сила подачі клина $Q(t)$ та крутний момент $M_{\text{кр}}(t)$ на оправці прямопропорційні зміні ширини витка $B(t)$, ці величини представимо зростаючими залежностями на конічній частині гвинтової заготовки із наступною стабілізацією на максимальному рівні для циліндричної частини заготовки

$$Q(t) = \frac{Q_{\max}}{t_{\mu}} t + Q_0, \quad (17)$$

де Q_{\max} – максимальна сила подачі клина на циліндричній частині гвинтової заготовки, Н; t_{μ} – час, на протязі якого проходить поступове зростання сили подачі клина на конічній частині гвинтової заготовки, с; Q_0 – мінімальна сила подачі клина на конічній частині гвинтової заготовки, Н.

Час, на протязі якого проходить поступове зростання сили подачі клина на конічній частині гвинтової заготовки визначаємо за формулою

$$t_{\mu} = \frac{2\pi k_1}{\omega}, \quad (18)$$

де k_1 – кількість витків конічної частини гвинтової заготовки.

Використовуючи рівняння (17), силу подачі клина представимо залежностями

$$Q_1(t) = \frac{Q(t) + Q_{\max}(t) - |Q(t) - Q_{\max}(t)| + |Q(t) + Q_{\max}(t) - |Q(t) - Q_{\max}(t)||}{4} \quad (19)$$

Зміну сила подачі клина згідно рівняння (19) представлено у вигляді графіка на (рис. 3).

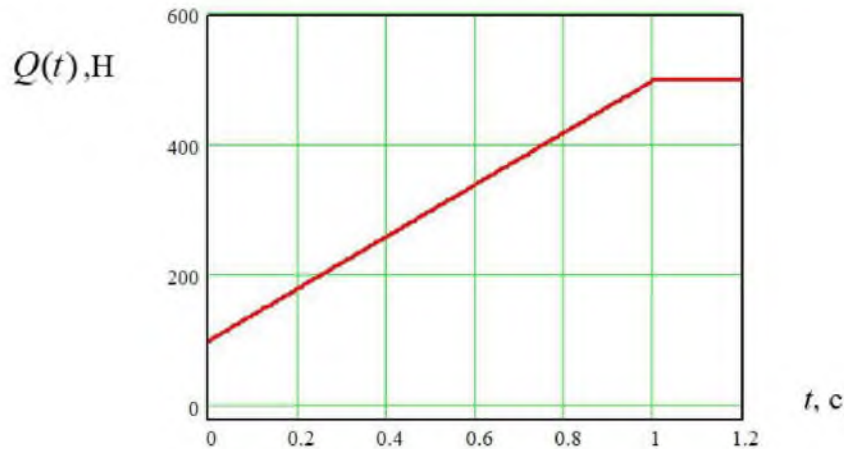


Рис. 3 – Графік зміни в часі сили подачі клина

При калібруванні витка конічної гвинтової заготовки на крок до моменту зіткнення клина із гвинтовою заготовкою, від якого і ведемо відлік часу, не відбувається деформації пружних елементів системи. Тому, початкові відносні координати і швидкості приймаємо рівними нулю. Подальша деформація відбувається за рахунок дії зовнішніх сил. Отже, для $t = 0$ маємо

$$\begin{aligned} \varphi_1(0) = 0, \varphi_2(0) = 0, \varphi_3(0) = 0, z_1(0) = 0, z_2(0) = 0, y_1(0) = 0, \\ y_2(0) = 0, y_3(0) = 0, \dot{\varphi}_1(0) = 0, \dot{\varphi}_2(0) = 0, \dot{\varphi}_3(0) = 0, \dot{z}_1(0) = 0, \\ \dot{z}_2(0) = 0, \dot{y}_1(0) = 0, \dot{y}_2(0) = 0, \dot{y}_3(0) = 0 \end{aligned} \quad (20)$$

Розв'язок системи диференціальних рівнянь (7) з початковими умовами (20) доцільно провести на комп'ютері із застосуванням стандартної підпрограми чисельного методу Рунге-Кутта.

За результатами досліджень представлено графічні залежності зміни кута деформації шпинделя установки та оправки для калібрування в часі (рис. 4), лінійної деформації оправки для калібрування в напрямку осі y в часі (рис. 5), лінійної деформації клина в напрямку осі z в часі (рис. 6) та лінійної деформації клина в напрямку осі y в часі (рис. 7) під час здійснення процесу калібрування витка конічної гвинтової заготовки на крок.

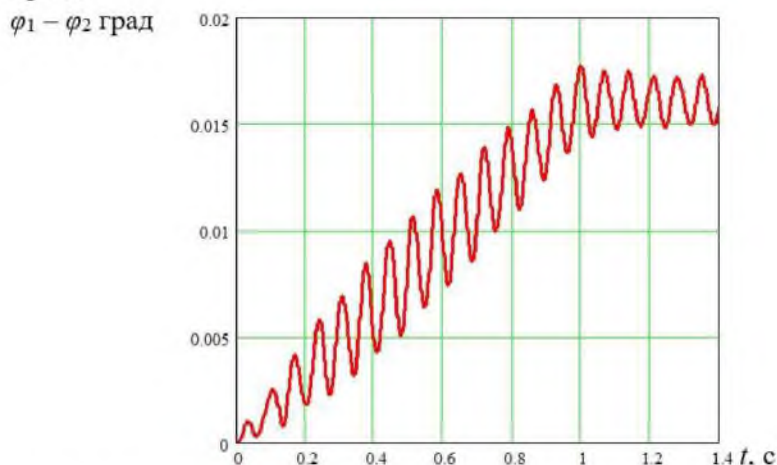


Рис. 4 – Графік зміни кута деформації шпинделя установки та оправки для калібрування



Рис. 5 – Графік зміни лінійної деформації оправки для калібрування в напрямку осі y в часі

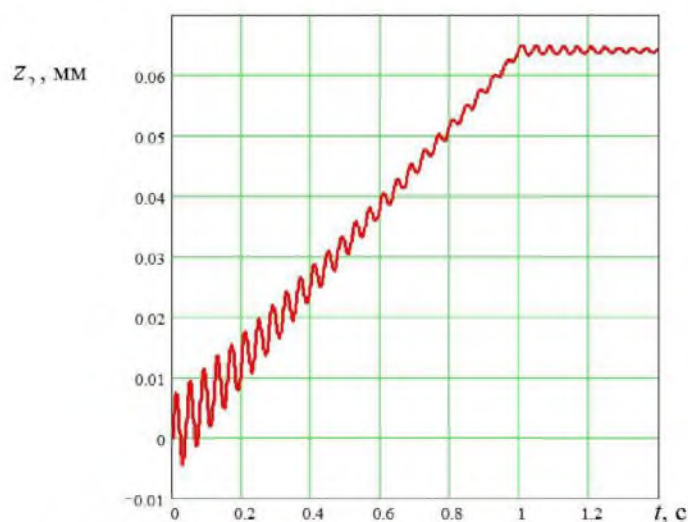


Рис. 6 – Графік зміни лінійної деформації клина в напрямку осі z в часі

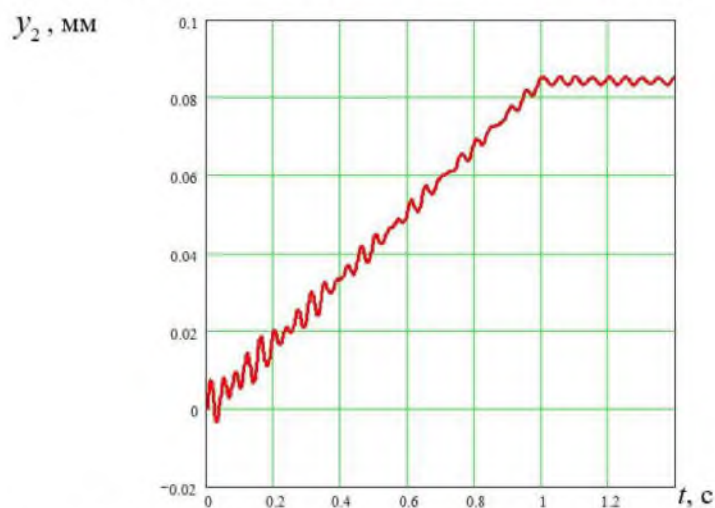


Рис. 7 – Графік зміни лінійної деформації клина в напрямку осі y в часі

Висновок. Запропоновані системи диференціальних рівнянь усі її складові визначались експериментально. Представлені графічні залежності дали можливість визначити деформації складових елементів системи в часі, які різко зростають в наслідок ударних навантажень, а потім поступово зростають із затухаючими коливаннями при переміщення клина до циліндричної частини заготовки.

Література:

1. Григорьев А.М. Гибкие шнеки./ А.М. Григорьев, П.А. Преображенский. – К.: Знание, 1967. – 245 с.
2. Механізми з гвинтовими пристроями / Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський, М.І. Пилипець, А.В. Матвійчук. – Львів.: Світ, 1993. – 208 с.
3. Герман Х. Шнековые машины в технологии ФРГ / Х. Герман. – Л.: Машиностроение, 1975. – 148 с.
4. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун. – Тернопіль: ТНТУ, 2014. – 278 с.
5. Барышев А.И. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия / А.И. Барышев, В.А. Будашевский и др. – Донецк: Морд-Пресса, 2005. – 696 с.
6. Підвищення технологічного рівня процесів завантаження та перевантаження матеріалів у гвинтових конвеєрах: монографія / Р.Б. Гевко, Р.М. Рогатинський, Р.І. Розум, М.Б. Клендій, О.М. Клендій, А.О. Вітровий. – Тернопіль: Осадца, 2018. – 180 с.
7. Ляшук О. Исследование силовых параметров процесса калибровки витков винтового рабочего органа / О. Ляшук, А. Дячун, Т. Навроцька, С. Билык // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin: Rzeszow, 2016. – Vol. 18. – No 1. – P. 81-85.
8. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей / Б.М. Гевко, О.Л. Ляшук, І.Б. Гевко, А.П. Драган, І.Я. Новосад. – Тернопіль: Тайп, 2008. – 367 с.
9. Ляшук О.Л. Технологічний процес формоутворення сферичних поверхонь шарнірного гвинтового робочого органу / О.Л. Ляшук, Р.В. Комар, В.М. Клендій, Т.Д. Навроцька // Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. – Житомир, 2017. – № 2 (80). – С. 105-108.

Summary

Lyashuk O.L., Diachun A.Y, Klendiy V.M., Teslya V.O., Navrotska T.D., Radyk M.D. Study of the dynamics of calibrating the turn of conical screw billet on a step

The technological process of forming the conical screw billets, which are widely used in agricultural machinery engineering, is investigated. The analytical dependences for determining the power and structural parameters are derived.

The graphical dependencies of changing different types of deformations during the formation of screw blanks on a step are developed. The results of studies on the change in the angle of deformation of the spindle of the installation and the mandrel for time calibration, the linear deformation of the mandrel for calibrating in the y-direction in time, the linear deformation of the wedge in the z-direction in time, and the linear deformation of the wedge in the y-direction in time during the calibration process turn a conical screw billet in one step.

Keywords: dynamics, conical screw billet, calibration, technological process.

References

1. Hryhorev A.M. Hybkye shneky./ A.M. Hryhorev, P.A. Preobrazhenskyi. – K.: Znanye, 1967. – 245 s.
2. Mekhanizmy z hvyntovymy prystroiamy / B.M. Hevko, M.H. Danylchenko, R.M. Rohatynskyi, M.I. Pylypets, A.V. Matviichuk. – Lviv.: Svit, 1993. – 208 s.
3. Herman Kh. Shnekovie mashyni v tekhnolohyy FRH / Kh. Herman. – L.: Mashynostroenye, 1975. – 148 s.
4. Naukovo-prykladni osnovy stvorennia hvyntovykh transportno-tekhnolohichnykh mekhanizmiv / R.M. Rohatynskyi, I.B. Hevko, A.Ie. Diachun. – Ternopil: TNTU, 2014. – 278 s.

5. Barishev A.Y. Raschet y proektyrovanye transportnykh sredstv neperervnogo deistviya / A.Y. Barishev, V.A. Budashevskiy y dr. – Donetsk: Mord-Presa, 2005. – 696 s.
6. Pidvyshchennia tekhnolohichnoho rivnia protsesiv zavantazhennia ta perevantazhennia materialiv u hvyntovykh konveierakh: monohrafiia / R.B. Hevko, R.M. Rohatynskiy, R.I. Rozum, M.B. Klendii, O.M. Klendii, A.O. Vitrovyi. – Ternopil: Osadtsa, 2018. – 180 s.
7. Liashuk O. Yssledovanye sylovikh parametrov protsessa kalybrovki vytkov vyntovoho rabocheho orhana / O. Liashuk, A. Diachun, T. Navrotska, S. Bylik // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin: Rzeszow, 2016. – Vol. 18. – No 1. – P. 81-85.
8. Tekhnolohichni osnovy formoutvorennia spetsialnykh profilnykh hvyntovykh detalei / B.M. Hevko, O.L. Liashuk, I.B. Hevko, A.P. Drahan, I.Ia. Novosad .– Ternopil: Taip, 2008. – 367 s.
9. Liashuk O.L. Tekhnolohichni protses formoutvorennia sferychnykh poverkhon sharnirnoho hvyntovoho robochoho orhanu / O.L. Liashuk, R.V. Komar, V.M. Klendii, T.D. Navrotska // Visnyk ZhDTU. Serii: Tekhnichni nauky. – Zhytomyr, 2017. – № 2 (80). – С. 105-108.