

УДК 686.1.051.544

Ю.Й. Хведчин, А.Л. Бойчук

**ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ РОБОТІ
КРУГЛОСТАПЕЛЬНОГО САМОНАКЛАДУ
ФАЛЬЦЮВАЛЬНИХ МАШИН**

У фальцювальних машинах для подачі листів у зону фальцювання широко застосовується круглостапельний самонаклад. Проте в літературі, як показав зроблений авторами аналіз, відсутні будь-які розрахунки його приводу та вузлів. У даній статті зроблена спроба розробити основні засади розрахунку приводу круглостапельного самонакладу.

Круглостapelний самонаклад сучасних фальцювальних машин, наприклад серії “Мультифект” фірми “Бремер” (рис.1), складається з двох стрічкових транспортерів (верхнього 1 і нижнього 2), які приводяться в рух від спільного приводу 3 за допомогою ланцюгових передач 4 та 5. Останні обертають приводні барабани верхнього 6 та нижнього 7 транспортерів. Зірочки ланцюгових передач 8,9 і діаметри приводних барабанів D_1 і D_2 підібрані таким чином, що лінійні швидкості обох транспортерів рівні між собою.

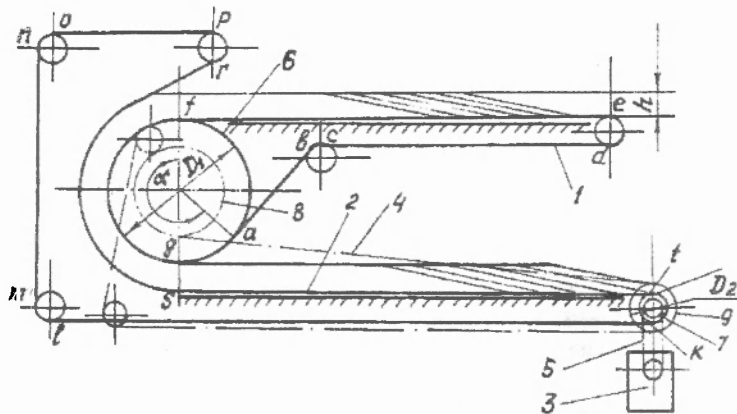


Рис. 1. Схема приводу круглостapelного самонакладу фальцювальної машини:

- 1, 6 – верхні транспортери; 2, 7 – нижні транспортери;
3 – привод; 4, 5, 8, 9 – ланцюгові передачі

Стопа зсунутих один відносно одного аркушів завантажується на верхній транспортер 1. У процесі роботи машини вона рухається разом з транспортером, огинає барабан транспортера 6 і переходить на нижній транспортер 2, в кінці якого відбувається відокремлення аркушів і подача їх у зону фальцювання. Привод пересуває транспортери в міру використання паперу, а тому їх рух має дискретний характер.

Потрібний для роботи самонакладу приведений до вихідного вала приводу крутний момент $T_{пр}$ визначається залежністю

$$T_{np} = \left(\frac{T_1}{\eta_1 u_1} + T_2 \right) / \eta_2 / u_2 + T_{in} = \left(\frac{W_{T1} D_1}{2\eta_1 u_1} + \frac{W_{T2} D_2}{2} \right) / \eta_2 / u_2 + T_{in}, \quad (1)$$

де T_1, T_2 – крутні моменти, необхідні для приводу верхнього та нижнього транспортерів; W_{T1}, W_{T2} – тягові зусилля на відповідних приводних барабанах; η_1, η_2, u_1, u_2 – коефіцієнти корисної дії і передаточні числа, відповідно, ланцюгових передач 4 та 5; T_{in} – приведений до вихідного вала приводу момент від сил інерції деталей, що обертаються і рухаються поступально.

Визначення усіх величин, що входять до (1), розпочнемо з верхнього транспортера. Тягове зусилля на його приводному барабані є різницею між натягами набігаючої S_f і збігаючої S_a на барабан стрічки:

$$W_{T1} = S_f - S_a \quad (2)$$

Для визначення цих натягів трасу транспортера розіб'ємо на ряд характерних точок, якими є точки перегину стрічки транспортера a, b, c, d, e, f, g (див. рис. 1). Користуючись методом обходу по контуру і нехтуючи масою стрічок транспортерів, яка є малою порівняно з масою паперу та незначним опором пересуванню стрічок на холостих вітках транспортера, отримаємо

$$S_f = S_a k_1 + g_b w'' l_{ef}, \quad (3)$$

де g_b – маса одного погонного метра вантажу (паперу) (Н/м); k_1 – опір пересуванню стрічки при огинанні нею поворотних роликів (для опор роликів на підшипниках кочення можна вважати $k_1 = 1,02 \dots, 1,08$); w'' – питомий опір пересуванню стрічки транспортера; l_{ef} – довжина ділянки транспортера між точками e і f (м).

Щоб знайти залежність між натягами S_a та S_f , розглянемо умову несповзання паперу, затиснутого між двома стрічками верхнього і нижнього транспортерів, при огинанні ним приводного барабана. Виділимо для цього рівновагу під дією прикладених сил (рис. 2). На виділений об'єм діють елементарна сила маси dQ , нормальні елементарні реакції з боку верхнього dN_1 та нижнього dN_2 транспортерів, сили тертя між папером і верхнім транспортером $f'dN_1$, а також між папером і нижнім транспортером $f'dN_2$. Об'єм розглядуваного паперу знаходиться

під кутом γ до вертикалі, і кут нахилу його бокових граней дорівнює $d\gamma$.

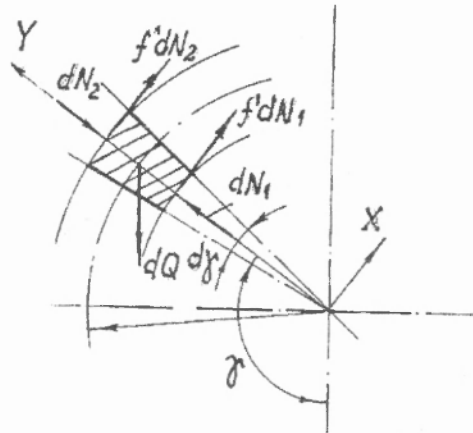


Рис. 2. Схема сил, діючих на папір, затиснутий між стрічками транспортерів

Спроєкуємо всі сили на дві взаємно перпендикулярні осі x та y :

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0; \quad f \cdot dN_1 + f \cdot dN_2 - \sin \gamma \cdot dQ = 0, \\ \sum F_y = 0; \quad dN_1 - dN_2 + \cos \gamma \cdot dQ = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Розв'язок системи рівнянь (4) дає

$$dN_1 = \frac{M}{2f'} (\sin \gamma - f' \cos \gamma) d\gamma;$$

$$dN_2 = \frac{M}{2f'} (\sin \gamma - f' \cos \gamma) d\gamma,$$

де $M = \rho g h l r$ – числовий коефіцієнт; ρ – густина паперу; h – відстань між стрічками транспортерів (висота стопи паперу); l – ширина аркуша паперу; f' – коефіцієнт тертя в парі “папір – стрічки транспортерів”, r – середній радіус кривизни паперу.

Тепер розглянемо елемент стрічки верхнього транспортера, що знаходиться на приводному барабані (рис. 3). На нього діють елементарні нормальні реакції з боку паперу dN_1 ,

і барабана dN , сили тертя з боку паперу $f'dN$ і барабана fdN , сили натягу стрічки S та $S+dS$.

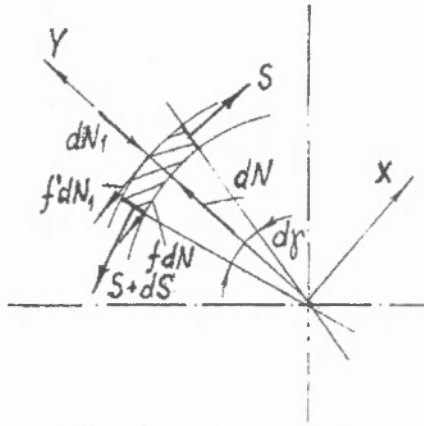


Рис. 3. Схема сил, діючих на стрічку верхнього транспортера

Оскільки виділений елемент знаходиться під дією усіх цих сил у стані рівноваги, то:

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0; \quad -S - dS + S - f'dN_1 - fdN = 0; \\ \sum F_y = 0; \quad dN - dN_1 - 2S\sin(d\gamma/2) - dS\sin(d\gamma/2) = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Із системи рівнянь (5), враховуючи, що $\sin(d\gamma/2) \approx d\gamma/2$ та $dS\sin(d\gamma/2) \approx 0$, отримаємо

$$dS = fSd\gamma + (f + f') dN_1$$

або після підстановки розв'язків системи рівнянь (4)

$$dS = \left(fS + (f + f') \frac{M}{2f'} (\sin \gamma - f' \cos \gamma) \right) d\gamma. \quad (6)$$

Розв'язок диференціального рівняння (6) набуває вигляду

$$S = S_0 e^{f(\gamma-\pi)} - \frac{M(f-f')}{2f'(f^2+1)} \left((f+f')\sin\gamma + (1-ff')\cos\gamma + (1-ff')e^{f(\gamma-\pi)} \right),$$

А з врахуванням того, що для точки g кут γ становить 0°

$$S_g = S_{f'e^{-\pi}} - \frac{M(f+f')}{2f'(f^2+1)} (1-ff')(1+e^{-\pi}). \quad (7)$$

Від точки g до точки a на стрічку не діють ніякі зовнішні додаткові сили, а тому зміна натягу в стрічці описується формулою Ейлера і залежність між S_g та S_a можна подати як

$$S_g = S_a e^{f(\alpha-\pi)}, \quad (8)$$

де кут α – кут обхвату стрічкою приводного барабана (рад).

Спільно розв'язуючи (7) і (8) з урахуванням (3) та підставляючи розв'язок у (2), отримаємо

$$W_{t_1} = \frac{g_B w'' l_{ef} - Re^{\pi}}{e^{f\pi} - k_1} (k_1 - 1) + g_B w'' l_{ef},$$

де $R = M \frac{(1 - ff')(f + f')(1 + e^{-f\pi})}{2f'(f^2 + 1)}$.

Тягове зусилля на приводному барабані нижнього транспортера також визначимо як різницю між натягами набігаючої і збігаючої на барабан стрічки:

$$W_{T2} = S_t - S_k. \quad (9)$$

Використовуючи метод обходу по контуру для визначення натягів стрічки нижнього транспортера та нехтуючи масою стрічок транспортерів і незначним опором пересуванню стрічок на холостих вітках транспортера, одержимо

$$S_r = k_1 S_k.$$

Для визначення натягу в точці s транспортера розглянемо рівновагу його елементарної частини на ділянці від точки r до точки s (рис. 4).

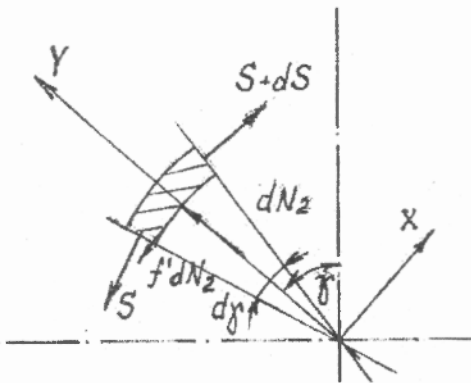


Рис. 4. Схема сил, діючих на стрічку нижнього транспортера

Складаючи рівняння рівноваги, дістанемо

$$\sum X = 0; \quad dS = f' dN_2$$

або після підстановки в останнє рівняння розв'язків системи (4)

$$dS = \frac{M}{2} (\sin \gamma - f' \cos \gamma) d\gamma.$$

Розв'язок наведеного диференціального рівняння з урахуванням того, що кут обхвату стрічкою паперу на даній ділянці дорівнює приблизно π , має вигляд

$$S_s = S_r - M/2.$$

Щоб завершити визначення натягів стрічки методом обходу по контуру, знайдемо її натяг в точці t , враховуючи отриману залежність між натягами в точках s та g .

$$S_t = k_1 S_k - M/2 + q_B w' l_{st}, \quad (10)$$

де l_{st} – довжина ділянки транспортера від точки s до точки t .

Зміна натягу стрічки від точки t до точки k також описується формулою Ейлера $S_t = S_k e^{f\pi}$, розв'язок якої спільно з (10) дозволяє отримати значення самих натягів у точках k та t . Підстановка останніх в (9) визначає тягове зусилля на приводному барабані:

$$W_{T_2} = \frac{q_B w' l_{st} - \frac{M}{2}}{e^{f\pi} - k_1} (k_1 - 1) - \frac{M}{2} + q_B w' l_{st}.$$

Приведений до вихідного вала приводу момент від сил інерції деталей, що обертаються, $T_{ин}$ можна вирахувати за формулою

$$T_{ин} = J_{np} \varepsilon = \left(\sum J_i \left(\frac{w_i}{w} \right)^2 + \sum m_i \left(\frac{v_i}{w} \right)^2 \right),$$

де J_{np} – приведений до вихідного вала приводу момент інерції деталей; ε – кутове прискорення приводного вала; J_i , w_i – момент інерції маси та максимальна кутова швидкість i -ї деталі, що обертається; m_i , v_i – маса та максимальна лінійна швидкість i -ї деталі, що рухається поступально; w – максимальна кутова швидкість вихідного вала приводу.

З усіх деталей, що обертаються в круглостapelному самонакладі, найбільші значення приведених моментів інерції

мас мають приводний і натяжний барабани верхнього транспортера, приводний барабан нижнього транспортера та частина стопи паперу, яка внаслідок огинання барабана рухається обертально. Як показують розрахунки, приведені до вихідного вала приводу моменти від сил інерції інших деталей у сумі не перевищують 5% загальної суми приведених до того ж валу моментів інерції вищеназваних деталей. Тому для спрощення розрахунків можна приведений момент інерції визначати тільки для деталей, що впливають на його значення найбільше.

У проектних розрахунках приводні та натяжні барабани можна вважати однорідними круглими циліндрами і визначати їх моменти інерції мас за формулою $J_6 = m_6 D_6^2 / 8$, де m_6 , D_6 – маса барабанів і їх зовнішні діаметри. Момент інерції маси паперу, що обертається, зручно розрахувати за формулою $J_n = m_n h (D_1 + h) / 2$, де m_n – маса паперу, що знаходиться на дуговій ділянці; h – висота стопи паперу.

У круглостапельному самонакладі поступально з однаковою швидкістю рухаються тільки стрічки транспортерів і стопа паперу. Проте маса стрічок у порівнянні з масою паперу дуже мала. Отже, при розрахунках масою стрічок можна нехтувати і величина m , виражатиме тільки масу паперу, що знаходиться на горизонтальних ділянках транспортерів.

Кутове прискорення вихідного вала приводу ϵ залежить від конструкції приводного механізму і в загальному випадку може бути визначене із залежності $\epsilon = C \gamma \Sigma / T^2$, де C – константа піку кутового прискорення приводного вала; $\gamma \Sigma$, T – максимальний кут повороту вала та період його одного дискретного переміщення.

Стаття надійшла до редколегії 30.01.98