

СТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ГОЛОВНОГО ВИКОНАВЧОГО МЕХАНІЗМУ

Статика кривошипно-повзунного механізму

Преси є відносно тихохідними машинами, у яких сили інерції незначні і, крім окремих задач розрахунку, ними можна зневажати. У такому випадку ГВМ преса аналізується статичними методами. При цьому визначаються значення зусиль, що діють уздовж лінії шатуна, реакції в опорах головного вала, сили, що діють на напрямні повзуна, сили з боку зубчатої і клиноремінної передач і інші силові фактори.

Основна задача статичного розрахунку преса складається в розрахунку залежності приведенного плеча m_k від кута повороту кривошипного вала α , що дозволить розрахувати крутильний момент на головному валу в залежності від зусилля на повзуні

$$M_\varepsilon = P_D m_k \quad (1)$$

Для кривошипно-повзунного механізму залежність для приведенного плеча m_k зручно представляти у виді суми двох величин m_k^u і m_k^μ :

$$m_k = m_k^u + m_k^\mu \quad (2)$$

де m_k^u – ідеальне приведенне плече:

$$m_k^u = R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha + \varepsilon \cdot \lambda \cdot \cos \alpha \right), \quad (3)$$

m_k^μ – збільшення приведенного плеча, обумовлене тертям у кінематичних парах, так зване плече тертя:

$$m_k^{\mu} = \mu[(1 + \lambda)r_A + \lambda r_B + r_1]; \quad (4)$$

μ – коефіцієнт тертя в шарнірах головного виконавчого механізму;
 r_A, r_B, r_O – відповідно радіуси корінних опор, великої і малої голівки шатуна.

Для диференціальних механізмів перед коефіцієнтами λ і ε необхідно змінити знаки на зворотні.

Для одно стоякових пресів з установкою вала перпендикулярно фронту залежність для плеча тертя буде мати вид:

$$m_k^{\mu} = \mu \left[(1 - \lambda)r_A + \lambda r_B + \left(1 + \frac{l_1}{l_2}\right)r_{O1} + \frac{l_1}{l_2}r_{O2} \right], \quad (5)$$

де l_1, l_2 – відповідно, відстань між центрами шатунної шийки і першою опорою і центрами першої опори і другий;

r_{O1}, r_{O2} – відповідно, радіус першого і другого підшипників.

Коефіцієнт тертя μ визначається по таблиці 1 у залежності від значення комплексного показника J_k , виду змащення і виду розрахунку.

Комплексний показник J_k характеризує навантаженість опор, швидкість ковзання і швидкість зближення поверхонь тертя опор при вичавлюванні змащення (ефект демпфірування)

$$J_k = \frac{P_n n_n^2}{\psi}, \quad (6)$$

де ψ – приведений кут робочого ходу, приймається в залежності від типу преса і виконуваної операції (таблиця 2).

При розрахунку виводу преса з розпору при будь-якому змащенні приймається $\mu = 0,08 \dots 0,12$.

При спрощених розрахунках коефіцієнт тертя μ приймається рівним 0,03...0,04 для рідкого мастила і 0,05...0,06 для густого мастила.

Якщо при наступних розрахунках відбувається зміна розмірів вала (зміна радіусів опор), статичний розрахунок ГВМу повторюється для нових початкових даних.

У пояснювальній записці приводиться таблиця розрахункових значень приведенного плеча m_k у діапазоні кутів повороту α головного валу від 0° до 90° із кроком 5° чи 10° і відповідний графік.

Таблиця 1- Приведений коефіцієнт тертя в опорах ГВМу

J_k , $10^{-5} \frac{\kappa H \cdot x \text{в}^{-2}}{\text{град}}$	Вид розрахунку	Коефіцієнт тертя μ при змащенні	
		густому	рідкому
>50	1	0,015	0,008
	2	0,035	0,015
	3	0,010	0,004
8-50	1	0,035	0,010
	2	0,040	0,025
	3	0,020	0,008
0,2-8	1	0,050	0,020
	2	0,050	0,030
	3	0,030	0,010
<0,2	1	0,060	0,040
	2	0,060	0,040
	3	0,040	0,020

Примітки:Перший вид розрахунку – квазистатичний розрахунок крутильного моменту, переміщення повзуна в направляючих, максимальних питомих тисків в опорах і інших параметрів при робочому ході.

Другий вид розрахунків – енергетичний розрахунок утрат при холостому ході.

Третій вид розрахунків – динамічний розрахунок перевантажень без стопору.

Таблиця 2-Приведений кут робочого ходу

Технологічна операція	Тип преса	ψ°
Різання прокату	Сортові ножиці	12...15
Різання листа	Листові ножиці	70...80
Вирубка	Вирубні преси	8...10
Неглибока витяжка	Універсальні преси	30...35
Витяжка	Витяжні преси	45...50
Багатоперехідне листове штампування	Листоштампувальні прес-автомати	40...45
Висадження	Автомати і ГKM	25...30
Видавлювання	Преси для видавлювання	50...60
Гаряче об'ємне штампування	КГШП	18...20
	Автомати	25...30
Калібрування, карбування, виправлення	Кривошипно-колінні преси	40...50
Жорсткий удар	Усі преси	5...7

Заклинювання кривошипно-ползунного механізму

При експлуатації пресів інколи відбуваються випадки заклинювання кривошипно-шатунного механізму (*стопору*). Це явище відбувається у випадку перевантаження при недостатньому запасі енергії маховика, чи

перевантаження при порушенні кінематичного зв'язку головного вала з приводом (спрацьовування запобіжника по крутильному моменті чи прослизання фрикційної муфти). Система ГВМу і станина продовжують залишатися під навантаженням і пружні сили прагнуть повернути шатун і вал так, щоб зняти виниклі деформації, але повороту перешкоджають сили тертя в ГВМі.

Як правило, заклинювання виникає в тих випадках, коли технологічне зусилля деформації досягає максимального значення в крайньому нижньому положенні (преси для об'ємного деформування, КГШП, ГKM).

Заклинювання ГВМу відбувається тільки в його певному положенні.

Якщо $m_k^u > m_k^\mu$, то заклинювання не відбудеться; якщо $m_k^u < m_k^\mu$, то поворот вала під дією будь-якої сили, прикладеної до повзуна буде неможливий; нарешті умова $m_k^u = m_k^\mu$ відповідає граничному положенню при заклинюванні.

Рівняння для визначення граничного кута заклинювання – кута мертвого тертя α_m має вид

$$\alpha_m^2 - 2\alpha_m \frac{1 + \lambda}{\varepsilon} - 2 + \frac{2m_k^\mu}{R\varepsilon} = 0 . \quad (7)$$

Для аксіального механізму кут заклинювання буде:

$$\alpha_m \leq \frac{m_k^\mu}{R(1 + \lambda)} . \quad (8)$$

Для дезаксіального механізму кут заклинювання буде

$$\alpha_m \leq \frac{m_k^\mu - \varepsilon\lambda R}{R(1 + \lambda)} . \quad (9)$$

Додатковий момент M_d , який необхідно прикласти до вала для його провертання і виводу з розпору, визначається з виразу:

$$M_d = P_3 (m_k^\mu - m_k^u), \quad (10)$$

де P_3 – поточне значення сили, що діє на повзун у момент заклинювання.

Найбільше зусилля в момент заклинювання може досягти номінального зусилля преса, а саме заклинювання може статися в КНП, тоді найбільший момент $M_{d\max}$ становить

$$M_{d\max} = P_n m_k^\mu. \quad (11)$$

Численні дослідження заклинювання пресів показують, що схильність преса до заклинювання і величина зусилля при цьому залежать найбільшою мірою від геометрії ГВМу і коефіцієнта тертя в опорах. Для КГШП із густим мастилом при $\mu = 0,06$ найбільший кут заклинювання α_m складає $13^\circ \dots 14^\circ$. При використанні рідкого мастила, що забезпечує коефіцієнт тертя μ менше $0,01$, кут заклинювання α_m зменшується до $1,5^\circ \dots 3^\circ$.

Розрахунок кута заклинювання необхідно виконувати тільки для пресів, призначених для об'ємного деформування.

Приклад 8. Виконати силовий аналіз головного виконавчого механізму кривошипного гаряче штампувального преса зусиллям 25 МН.

3.3. Статика кривошипно-колінного механізму

Приведене плече в кривошипно-колінному механізмі також представляється у виді суми двох складових – ідеального плеча m_k^e і плеча тертя m_k^μ .

У формулах прийняті такі ж позначення, як і при кінематичному аналізі кривошипно-колінного механізму

Плече m_k^u визначається по формулі:

$$m_k^u = \frac{R \sin(\alpha - \alpha_1) \sin(\alpha_3 - \alpha_2)}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1) \sin \alpha_3}. \quad (12)$$

Плече тертя в кривошипно-колінному механізмі залежить від положення механізму і визначається по формулі:

$$m_k^u = \frac{f_{\text{пр}} [\sin(\alpha_3 - \alpha_2) \pm 2\rho_2] + 2\rho_2 R \sin(\alpha - \alpha_1)}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}, \quad (13)$$

де $f_{\text{пр}}$ – приведений коефіцієнт тертя:

$$f_{\text{пр}} = \mu_0 [r_0 + r_A (1 - \lambda) + r_B \lambda], \quad (14)$$

λ – коефіцієнт шатуна $\lambda = R / l_1$;

μ_0 – коефіцієнт тертя в опорах головного вала;

r_A, r_B, r_0 – відповідно радіуси цапф підшипників шарнірів механізму;

ρ_2 – коло тертя в шарнірах верхньої і нижньої ланок механізму:

$$\rho_2 \approx 2\mu_b \frac{r_B}{l_2} ;$$

μ_b – коефіцієнт тертя в шарнірах верхньої і нижньої ланок механізму.

У формулі (12) знак плюс приймається для положення, коли кут повороту кривошипа α не перевищує кут α_{1k} , що відповідає крайньому нижньому положенню, знак мінус для положення, коли кут α перевищує

величину α_{1k} , тобто для періоду зворотного ходу повзуна нагору. Таким чином, при переході кривошипа через положення, обумовлене кутом α_{1k} , приведені плече моменту, що крутить, змінюється стрибкоподібно, що необхідно враховувати при розрахунку моменту, що крутить, у період зворотного ходу повзуна під дією сил пружного деформування.

Внаслідок різних швидкісних і силових умов роботи шарнірів ланок і головного вала коефіцієнти тертя μ_0 і μ_b приймаються різними і рівними $\mu_0=0,05\dots0,06$; $\mu_b=0,020\dots0,03$.