

4. ЕНЕРГЕТИКА ПРЕСУ

Основна задача енергетичних розрахунків кривошипного преса складається у визначенні витрати енергії на здійснення одного технологічного циклу, розрахунку необхідної потужності електродвигуна, необхідного моменту інерції маховика і визначенні коефіцієнтів корисної дії преса.

4.1. Витрати енергії в приводі кривошипного преса

4.1.1. Витрати енергії на вмикання та холості переміщення механізмів

Баланс енергії в приводі кривошипного преса за один технологічний цикл $A_{ц}$ складається з роботи $A_{в}$, затрачуваної на тертя між дисками муфти при її включенні і на розгін нерухомих відомих частин приводу і ГВМу, роботи $A_{х}$ на холосте переміщення механізмів преса і роботи $A_{р}$ на здійснення робочого ходу

$$A_{ц} = A_{в} + A_{х} + A_{р}. \quad (4.1)$$

Витрата енергії на вмикання фрикційної муфти складає

$$A_{в} = J_2 \omega_m^2 \frac{(2+j)}{2(1+j)}, \quad (4.2)$$

де J_2 – момент інерції веденої частини приводу щодо вала муфти;

ω_m – номінальна кутова швидкість вала муфти;

j – відносний момент інерції веденої частини приводу

$$j = \frac{J_2}{J_1};$$

J_1 – момент інерції ведучої частини приводу.

У пресах із жорсткою муфтою вмикання витрата енергії на її вмикання практично дорівнює нулю. Витрат на прослизання в цих муфтах немає, пружне деформування елементів дуже мале, і витрата енергії на розгін ведених частин незначна.

При роботі преса в режимі автоматичних ходів робота вмикання $A_{в} = 0$.

Відносний момент інерції веденої частини приводу для сучасних пресів складає 0,08...0,15, тому приблизно можна вважати

$$A_{в} = J_2 \omega_m^2. \quad (4.3)$$

Витрата енергії в приводі кривошипного преса на холості переміщення механізмів обумовлені втратами потужності на:

- подолання шкідливих опорів тертя в опорах і напрямних ГВМу $A_{хг}$ і маховика $A_{хм}$, викликаних силами інерції і силами ваги;
- на подолання шкідливих опорів у зачепленні й опорах зубчатих передач $A_{хз}$;
- у клинопасовій передачі на розгін маховика до номінальної швидкості обертання і прослизання ременів $A_{хкл}$;
- на переміщення допоміжних механізмів преса $A_{хд}$;

тобто

$$A_x = A_{хг} + A_{хм} + A_{хз} + A_{хкл} + A_{хд}.$$

Великі розбіжності дослідних і розрахункових даних, що обумовлені великою залежністю втрат холостого ходу від якості виготовлення вузлів і деталей, регулювання вузлів, стану преса й інших випадкових величин, а також відсутність на початковій стадії проектування деяких початкових даних, ускладнюють точне аналітичне визначення витрат енергії A_v і A_x за один технологічний цикл.

У деяких роботах для практичних розрахунків витрати енергії A_v і A_x знаходять по наближених формулах як частку від роботи пластичної деформації A_d , що витрачається в процесі формозміни при виконанні пресом типової технологічної операції. Такий метод визначення витрат зовсім невірний, тому що ці витрати енергії не залежать від величини роботи пластичної деформації.

Методично правильно витрати енергії A_v і A_x варто визначати в залежності від номінального зусилля преса P_n і номінального ходу повзуна S_n

$$A_{v(x)} = k_{v(x)} P_n S_n, \quad (4.4)$$

де $k_{v(x)}$ – коефіцієнти, прийняті за даними таблиці 4.1 у залежності від типу преса.

Таблиця 4.1 Коефіцієнти k_e , k_x

Тип преса	k_e	k_x
Листоштампувальні:		
• відкриті одно і двох стоякові	0,01...0,03	0,01...0,10
• одно кривошипні закриті	0,02...0,10	0,02...0,08
• двох і чотирьох кривошипні	0,02...0,06	0,02...0,08
• подвійної дії	0,05...0,07	0,02...0,07
Обрізні	0,05...0,10	0,02...0,04
Гаряче штампувальні	0,006...0,01	0,007...0,02
ГКМ	0,02...0,04	0,01...0,03
Карбувальні	0,01...0,02	0,01...0,02
Ножиці листові	0,01...0,05	0,1...0,4
Ножиці сортові	0,06...0,08	0,04...0,05
Автомати холодно штампувальні	—	0,02...0,05

Примітка: більші значення приймаються для пресів з меншим ходом і номінальним зусиллям.

4.1.2. Витрати енергії на робочий хід

Енергія в період робочого ходу витрачається на пластичну деформацію металу A_d , на тертя в зчленуваннях $ГВМ$ у $A_{тр}$ і на пружну деформацію системи прес-штамп A_y

$$A_p = A_d + A_{тр} + A_y, \quad (4.5)$$

Робота пластичної деформації для конкретних умов деформування може бути визначена методами теорії обробки металів тиском. Більшість кривошипних пресів, як і інших технологічних машин, призначені для виготовлення деякої групи однотипних виробів. Тому енергетичні розрахунки для них виконуються для деякої типової технологічної операції, що є узагальнюючою з енергетичної сторони.

У такому випадку робота пластичної деформації приблизно може бути визначена по формулі

$$A_d = k_p P_m h_p, \quad (4.6)$$

де k_p – коефіцієнт повноти графіка;

P_m – максимальне зусилля деформації;

h_p – база деформації, що представляє собою величину робочого ходу повзуна.

Визначити дві інші складові роботи робочого ходу аналітичними методами неможливо, тому в даний час прийнята наступна методика розрахунку роботи робочого ходу.

Задаючись графіком типової технологічної операції з урахуванням пружної деформації преса в період робочого ходу, визначається графік залежності крутильного моменту на головному валу. Площа цього графіка пропорційна роботі робочого ходу.

Виходячи зі статистичних даних по завантаженню кривошипних пресів, установлені типові графіки зусиль деформації для найбільш характерних операцій, виконуваних на даному типі преса. По характеру силового режиму технологічні процеси і відповідні їм графіки зусиль деформації поділяються на чотири групи для листового штампування і п'ять – для об'ємного (рис. 4.1).

Вибір типу графіка при розрахунку преса конкретного технологічного призначення визначається переважною технологічною операцією, характерною для даного типу преса. Наприклад, преси для розділових операцій розраховують за графіком зусилля вирубки, преси для витяжки – за графіком зусиль витяжки і т. д. Преси для багато перехідного однопозиційного штампування (КГШП, ГКМ, листоштампувальні преси) розраховують по найбільш навантаженому переході, яким для гарячого об'ємного штампування є штампування в остаточному переході. Багато позиційні преси й універсальні преси, на яких виконуються одночасно кілька переходів, розраховуються за графіком, що являє собою геометричну суму графіків усіх виконуваних операцій.

Для універсальних листоштампувальних пресів використовують графік найбільш енергоємної операції (неглибока витяжка, гнуття). Преси з перемінним ходом розраховують при максимальному переміщенні повзуна.

База деформації для всіх операцій, крім розділових, визначається як частина номінального ходу повзуна (рис. 4.1).

База деформації для розділових операцій крім різання на гільотинних ножицях, тобто для вирубки, пробивання, обрізка облою рекомендується визначати по фактичному переміщенню повзуна в період робочого ходу. База деформації розраховується як частина товщини металу, що вирубується, (рис. 4.1, а)

$$h_p = kt_c, \quad (4.7)$$

де k – поправочний коефіцієнт;

t_c – товщина листа ($t_{сл}$), що вирубується, чи облою ($t_{сз}$) при обрізанні.

Для вирубки, пробивання і холодної обрізки облою $k = 0,4 \dots 0,5$; для гарячої обрізки $k = 1$; для різання прутків $k = 0,25 \dots 0,35$, причому менші значення приймаються для більш твердих матеріалів.

Номінальна товщина листів, що вирубуються, $t_{сл}$ у залежності від номінального зусилля листоштампувальних пресів простої дії і номінальна товщина облою $t_{сз}$ у поковок після відкритого штампування приведені в табл. 4.2.

Для обрізних пресів база деформації h_p збільшується в 1,6...2,4 рази для обліку товщини додаткового шару металу в закругленнях позначки під прошивання чи в місці переходу від тіла кування до облою. Більші значення відповідають пресам меншого номінального зусилля.

Таблиця 4.2 Товщина листа $t_{сл}$ і облою $t_{сз}$

P_n , МН	Товщина листа $t_{сл}$, мм	Товщина облою $t_{сз}$, мм	P_n , МН	Товщина листа $t_{сл}$, мм	Товщина облою $t_{сз}$, мм
0,063	1,0	—	3,15	15,0	4,0
0,160	2,0	—	4,0	17,5	5,0
0,315	3,0	—	6,3	20,0	6,0
0,63	4,5	—	8,0	23,0	7,0
1,6	7,0	1,6	10,0	26,0	8,0
2,5	10,0	3,0	16,0	30,0	10,0

При визначенні початку і кінця робочого ходу для розділових операцій необхідно передбачати заходження $h_{зах}$ пуансона в матрицю на 1...2 мм для

проштовхування виробу. Процес деформування починається при недоході повзуна до крайнього нижнього положення на величину

$$h_m = t_c + h_{\text{зах}}, \quad (4.8)$$

а закінчується при

$$h_1 = t_c - h_p + h_{\text{зах}}. \quad (4.9)$$

Положення повзуна h_2 у момент досягнення максимального зусилля приймається рівним

$$h_2 = t_c(1 - 0,33k) + h_{\text{зах}}. \quad (4.10)$$

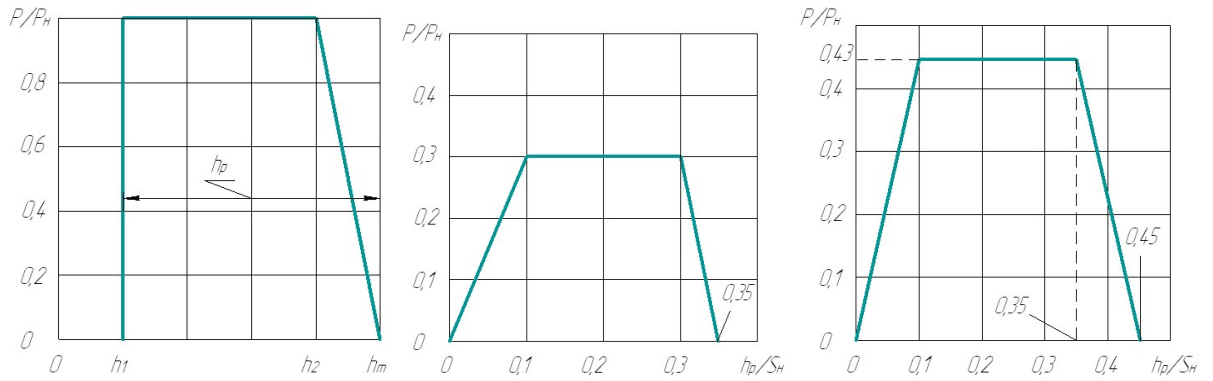
Коефіцієнт повноти графіка k_p приймається рівним 0,833.

Для всіх інших типових операцій штампування графіки зусиль деформації представлені у відносних координатах переміщення повзуна, тому повинні бути перелічені для заданих значень номінального зусилля преса і номінального ходу повзуна. Значення максимального зусилля, деформації що рекомендуються, робочого ходу повзуна і коефіцієнта повноти графіка приведені в табл. 4.3 і показані на рис. 4.1.

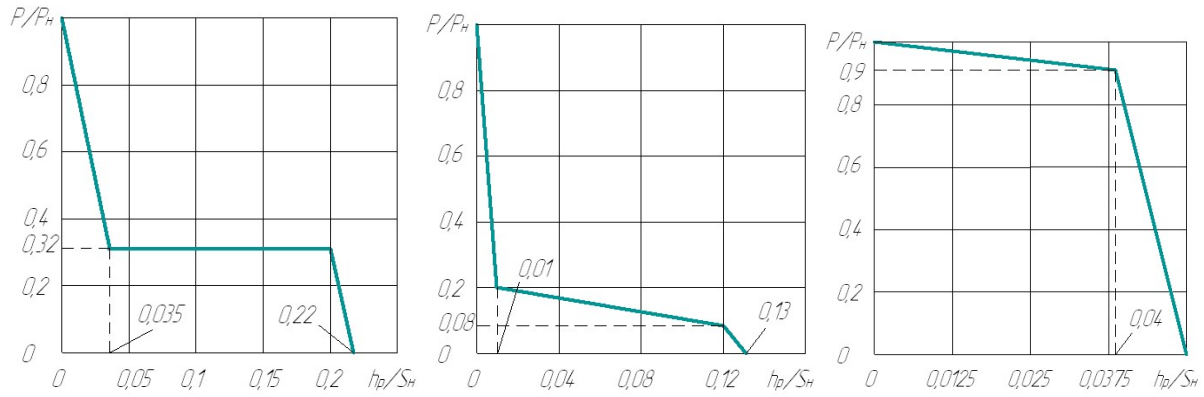
Графіки креслять в абсолютних координатах – по вісі абсцис відкладають базу деформації h_p , а по осі ординат – поточне значення зусилля. Оскільки графіки викреслюють без обліку пружної деформації, вони справедливі для застосування до різних типів пресів, що виконують ту саму операцію.

Таблиця 4.3 Параметри графіків зусилля деформації

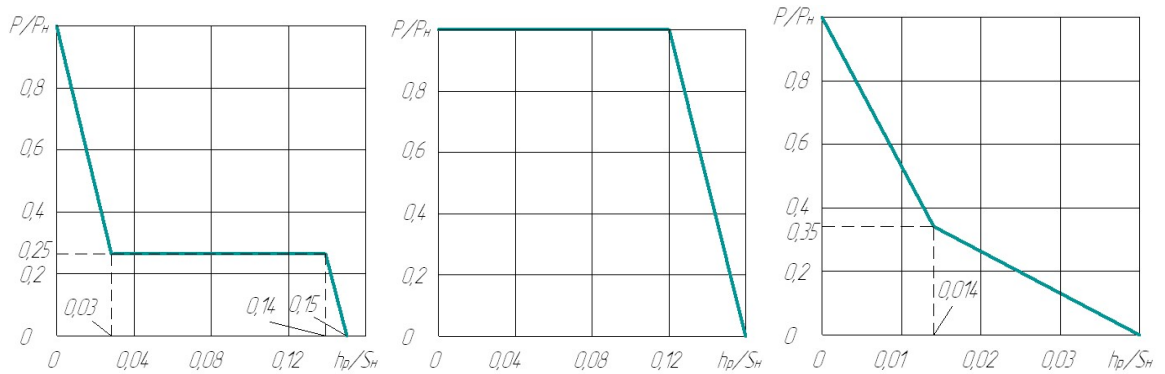
Технологічна операція	P_m / P_n	h_p / S_n	k_p
Витяжка на пресі простої дії	0,3	0,35	0,785
Витяжка на пресі подвійної дії	0,43	0,45	0,72
Гнуття	1	0,22	0,36
Об'ємне гаряче штампування	1	0,13	0,168
Калібрування, карбування	1	0,05	0,85
Холодне видавлювання	1	0,15	0,875
Гаряче видавлювання	1	0,16	0,32
Висадження	1	0,04	0,35



а) – вирубка звичайна б) – витяжка на пресі простої дії в) витяжка на пресі подвійної дії



г) – гнуття д) – гаряче штампування е) – холодне калібрування-карбування



ж) – гаряче видавлювання з) – холодне видавлювання и) – висадження

Рис. 4.1. Типові графіки зусиль деформації для листового й об'ємного штампування

Базою деформації h_p прийнято вважати повне переміщення повзуна для здійснення технологічної операції, що відповідає фактичному переміщенню повзуна при абсолютно жорсткому пресі і штампі.

Необхідно відзначити, що площа, обмежена осями координат і графіком зусилля деформації, представляє, з урахуванням масштабів зусилля і

переміщення повзуна, роботу пластичної деформації без обліку яких-небудь втрат.

Пружна піддатливість системи прес-штамп змінює форму графіка зусиль деформації, при чому, чим нижче жорсткість системи, тим зміни будуть сильніше. Змінений графік зусиль деформації, що враховує пружну деформацію системи, називають *навантажувальним графіком*.

Жорсткість преса C (МН/мм) приймають на підставі практичних даних для кожного типу преса, чи визначають по емпіричній залежності

$$C = K\sqrt{P_H}, \quad (4.11)$$

де K – коефіцієнт пропорційності, прийнятий у залежності від типу преса по таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Коефіцієнт пропорційності K

Тип преса	K
Відкриті листоштампувальні преси	0,5...0,6
Одно кривошипні закриті листоштампувальні преси	0,75...0,9
2-х і 4-х кривошипні листоштампувальні преси	0,6...1,0
Багато позиційні прес-автомати	0,8...1,1
Преси для розподільних операцій	2,0...2,7
КГШП, гаряче штампувальні автомати	1,7...1,9
ГКМ	0,9...1,2
Однопозиційні холодновисаджувальні автомати	1,1...1,6
Багатопозиційні холодновисаджувальні автомати	2,0...2,2
Преси для холодного видавлювання, карбувальні преси	1,0...1,6
Багато позиційні преси для холодного видавлювання	1,3...1,5

Графік пружної деформації будується в координатах зусилля P_D – пружна деформація Δl . Приймається лінійна залежність пружної деформації від зусилля деформації. Максимальне значення пружної деформації при номінальному зусиллі визначається за формулою

$$\Delta l_{max} = \frac{P_H}{C}. \quad (4.12)$$

У реальних пресах із жорсткістю, заданою графіком $PD = f(l)$ переміщення повзуна під час робочого ходу S_p (*активний хід повзуна*) визначається як сума

абсолютної деформації металу h і пружної деформації l , що відповідає активному навантаженню в цей момент

$$S_p = h + \Delta l. \quad (4.13)$$

Однак характер перетворення графіка зусиль деформації специфічні для кожного з наступних трьох типів технологічних процесів:

1. Штампування закінчується в КНП повзуна, максимальне значення зусилля деформації досягається значно раніше і до кінця процесу деформування поступово знижується до нуля. Така зміна зусилля характерно для усіх видів витяжки.

У цьому випадку зміни активного ходу повзуна не відбувається, тобто база деформації не змінюється, $S_p = h_p$, а зміщується тільки максимум зусилля.

У таких випадках при розвантаженні відбувається повне повернення в привод потенційної енергії пружної деформації

$$A_y = 0,5 P_{\max} \Delta l_{\max}, \quad (4.14)$$

і витрати енергії в період робочого ходу варто зменшити на цю величину або при побудові навантажувального графіка можна пружною деформацією нехтувати.

Тут позначено:

P_{\max} – максимальне зусилля деформації, вказане на рис. 4.1, б і 4.1, в;

l_{\max} – максимальна пружна деформація, яка обраховується по формулі (4.9)

при $P_n = P_{\max}$.

2. Штампування закінчується до КНП повзуна, але зусилля різко падає до нуля в момент закінчення деформації. Така зміна зусилля властиво всім розділовим операціям.

У такому випадку графік зусиль деформації перетвориться в навантажувальний зі значною зміною бази деформації

$$S_p = h_p + \Delta l_{\max}. \quad (4.15)$$

Тому що графік зусилля деформації після досягнення максимуму падає більш круто, чим графік жорсткості (розділові операції), то повернення енергії не відбувається, унаслідок її втрати через збільшений робочий хід повзуна.

3. Штампування закінчується при крайнім нижнім положенні повзуна з різким зниженням зусилля від максимального значення до нуля після КНП за графіком пружної деформації. Така зміна зусилля характерно для операцій гарячого об'ємного штампування, калібрування, гнуття й ін.

Графік зусиль деформації перетвориться також зі значною зміною бази деформації

$$S_p = h_p + \Delta l_{\max} . \quad (4.16)$$

У КНП повзуна продовжує діяти максимальне зусилля деформації і для подальшого повороту кривошипного вала необхідно прикласти момент, що крутить, доти, поки плече сили P_{AB} не стане рівним нулю, тобто поки вал не повернеться на кут, що називають кутом мертвого тертя. Величина кута мертвого тертя визначається за формулою (3.8) або (3.9).

Якщо величина кута мертвого тертя α_m більше кута повороту кривошипного вала α_y , протягом який відбувається розвантаження від пружної деформації, тоді зусилля знижується до нуля по розвантажувальній галузі і вся потенційній енергії пружної деформації губиться. Навантажувальний графік і графік крутильного моменту у цьому випадку будуються від кута початку робочого ходу α_{np} до кута α_y після крайнього нижнього положення. Якщо ж $\alpha_y > \alpha_m$, то при положенні вала, обумовленим кутом α_m , навантаження різко падає до нуля (графіки зусилля і крутильного моменту круто зменшуються до нуля) і губиться тільки частина накопиченої пружної енергії.

Кут повороту вала α_y для пружного розвантаження визначається по формулі (4.17) при $S = \Delta l_{\max}$.

З огляду на те, що зі збільшенням радіуса кривошипа і кута початку робочого ходу α_p збільшується приведенне плече крутильного моменту, а отже, і крутильний момент, відповідно зростає і робота робочого ходу A_p . Тому при проектуванні технологічної операції варто прагнути до зменшення кута початку робочого ходу α_{np} , а для пресів з регульованим ходом використовувати найменший, припустимий по технологічних розуміннях, хід повзуна.

Після побудови навантажувального графіка в координатах $P_D = f(S)$ його необхідно перетворити в графік $P_D = f(\alpha)$, де α – кут повороту ведучого вала. При цьому кут повороту вала можливо визначати по формулі

$$\cos \alpha = \frac{2(R-S)(R+L)+S^2}{2R(R+L-S)}, \quad (4.17)$$

чи використовувати раніше отриманий в розділі 2 графік переміщення повзуна $S = f(\alpha)$. При цьому визначаються кут початку робочого ходу $\alpha_{\text{нр}}$, кут кінця робочого ходу $\alpha_{\text{кр}}$, кут робочого ходу $\alpha_{\text{р}}$.

Використовуючи раніше обчислені значення приведенного плеча крутильного моменту (див. п. 3, формула (3.1)), для декількох значень положення вала в межах робочого кута $\alpha_{\text{р}}$ визначається величина крутильного моменту на головному валу $M_k = P_D m_k$.

Планіметруючи діаграму $M_k = f(\alpha)$ на ділянці робочого ходу $\alpha_{\text{р}} = \alpha_{\text{нр}} - \alpha_{\text{кр}}$, знаходиться величина витрати енергії на здійснення робочого ходу.

$$A_p = \int_{\alpha_{\text{нр}}}^{\alpha_{\text{кр}}} M_k(\alpha) d\alpha \approx F_M \mu_M \mu_\alpha, \quad (4.18)$$

де F_M – площа, обмежена кривою моменту, що крутить, і осями координат, мм²;

μ_M – масштаб моменту, що крутить, Нм/мм;

μ_α – масштаб кутів повороту головного вала, рад/мм.

Необхідно відзначити, що виділити з витрати A_p складові A_d , $A_{\text{тр}}$ і A_y не надається можливим.

Для більшої зручності і точності розрахунків рекомендується використовувати наступний графо-аналітичний метод визначення роботи робочого ходу.

Після побудови типового графіка пластичної деформації виділяються все точки перегину, координати яких по осі зусиль (P_i) і осі деформацій (h_i) відомі.

По формулі $\Delta l_i = \frac{P_i}{C}$ визначаються пружні деформації для вказаних точок. Координати всіх вказаних точок по осі деформацій змінюються відповідно до характеру перетворення графіків деформації, вказаних вище. Отриманий навантажувальний графік на кожному виділеному інтервалі, враховуючи лінійний характер залежності зусилля від деформації, послідовно розподіляється

навпіл на декілька (4 або 8) допоміжних інтервалів. Допоміжні точки легко визначаються як середнє арифметичне між двома сусідніми відомими точками. Після цього для кожної точки по формулі (4.17) визначається відповідний кут повороту головного валу, потім приведене плече крутильного моменту по формулі (3.1), і нарешті величина крутильного моменту в кожній додатковій точці.

В такому разі витрати енергії на робочий хід складають суму елементарних витрат

$$A_p = \sum \Delta A_i = \sum \left[(M_i + M_{i-1}) \frac{\alpha_i - \alpha_{i-1}}{2} \right]. \quad (4.19)$$

Всі розрахунки дуже легко виконувати з використанням обчислювального пакету *MathCAD* або пакету *Excel*. Використання обчислювальної техніки дозволяє легко виявити вплив конструктивних параметрів преса на витрати енергії, для чого необхідно лише змінити початкові дані, а решта розрахунків виконується автоматично. Найбільша похибка розрахунків не перевищує 3...7 %, і значно менша, чим при простому графічному визначенні роботи робочого ходу.

У пояснювальній записці приводять усі графіки, побудовані для визначення витрати роботи робочого ходу і таблицю розрахунку моменту, що крутить, на головному валу.

4.2. Визначення потужності двигуна і моменту інерції маховика

Вирішальним фактором при виборі системи електропривода преса є економічна доцільність у сполученні з технічними вимогами. Пікове зростання навантаження в період робочого ходу обумовлює використання в приводі кривошипних пресів маховикового приводу. У період робочого ходу велика частина роботи виконується за рахунок кінетичної енергії маховика, швидкість обертання якого зменшується. В інші періоди циклу кутова швидкість маховика відновлюється.

Потужність двигуна в такому випадку визначається виходячи із середньої роботи за цикл. При цьому чим більше число ходів преса і менше величина

витрати енергії на холосте переміщення механізмів преса, тим більше повинний бути запас потужності.

Потужність коротко замкнутого асинхронного двигуна визначається по формулі

$$N_{\partial} = \frac{k \left(\frac{A_p}{\eta_o} + \frac{A_{\epsilon}}{\eta_M} \right) + A_x}{t_u}, \quad (4.20)$$

де k – коефіцієнт запасу, приймається по табл. 4.6 у залежності від числа включень n_B , чи номінального ковзання двигуна S_H ;

η_o – загальний ККД приводу;

η_M – ККД передачі від муфти до двигуна.

Таблиця 4.6 Рекомендовані значення k , S_H

$n_B = n_H p_H$, хід/хв	S_H	k
До 15	0,12...0,08	1,15
15...50	0,08...0,04	1,20
50...150	0,04...0,02	1,30
Більше 150	0,02...0,01	1,40

Значення ККД η_o і η_M залежать від типу і числа передач, розташованих між головним валом (для η_o) чи валом муфти (для η_M) і електродвигуном

$$\eta_o = \eta_K \eta_3^{m_1}, \eta_M = \eta_K \eta_3^{m_2},$$

де η_K – ККД клиноремінної передачі, прийнятий рівним 0,97;

η_3 – ККД зубчастої передачі, $\eta_3 = 0,98$ при використанні підшипників кочення, і $\eta_3 = 0,96$ при використанні підшипників ковзання;

m_1 , m_2 – відповідно, загальне число ступенів зубчатого приводу і число ступенів від вала муфти до двигуна.

Час технологічного циклу приблизно визначається при обраному коефіцієнті використання ходів p_H , що являє собою відношення часу одного подвійного ходу $t_{ДХ}$ до часу циклу $t_{Ц}$, по формулі

$$t_u = \frac{t_{ДХ}}{p_u} = \frac{60}{n_H p_u}. \quad (4.21)$$

Середні значення коефіцієнта p_H приведені в таблиці 4.7. При роботі преса безупинними ходами, а також для пресів-автоматів коефіцієнт $p_H = 1$.

По каталозі вибирають найближчий більший двигун по номінальній потужності і рекомендованому номінальному ковзанні S_n (див. додатки 3–5). Надалі двигун перевіряється по часу розгону маховика (див. далі).

Таблиця 4.7 Коефіцієнт використання числа ходів p_u

Тип преса	p_u
Листоштампувальні простої дії:	
• відкриті	0,10...0,35
• закриті	0,40...0,80
• двох кривошипні	0,20...0,60
• чотирьох кривошипні	0,25...0,60
Листоштампувальні подвійної дії	
КГШП	0,15...0,25
ГКМ	0,25...0,35
Обрізні	0,30...0,35
Карбувальні	0,60...0,80
Ножиці	0,50...0,80

Примітка: більші значення p_u приймаються для пресів з більшим номінальним зусиллям.

Момент інерції маховика знаходять по формулі

$$J_M = k_\phi \frac{A_M}{j\omega_M^2}, \quad (4.22)$$

де A_M – робота маховика під час робочого ходу;

k_ϕ – коефіцієнт, що враховує форму графіка моменту сил опору на кривошипному валу;

j – коефіцієнт нерівномірності ходу маховика

$$j = 2\varepsilon k(S_n + S_p); \quad (4.23)$$

ε – коефіцієнт, що враховує відносні втрати холостого ходу, визначається по рис. 4.2 у залежності від коефіцієнта k , номінального ковзання S_n і відношення A_x/A_0 ; тут $A_0 = A_p + A_b$;

S_p – пружне ковзання клиноремінної передачі. У середньому $S_p = 0,02...0,04$, менші значення приймаються при більшому куті робочого ходу;

ω_M – кутова швидкість маховика.

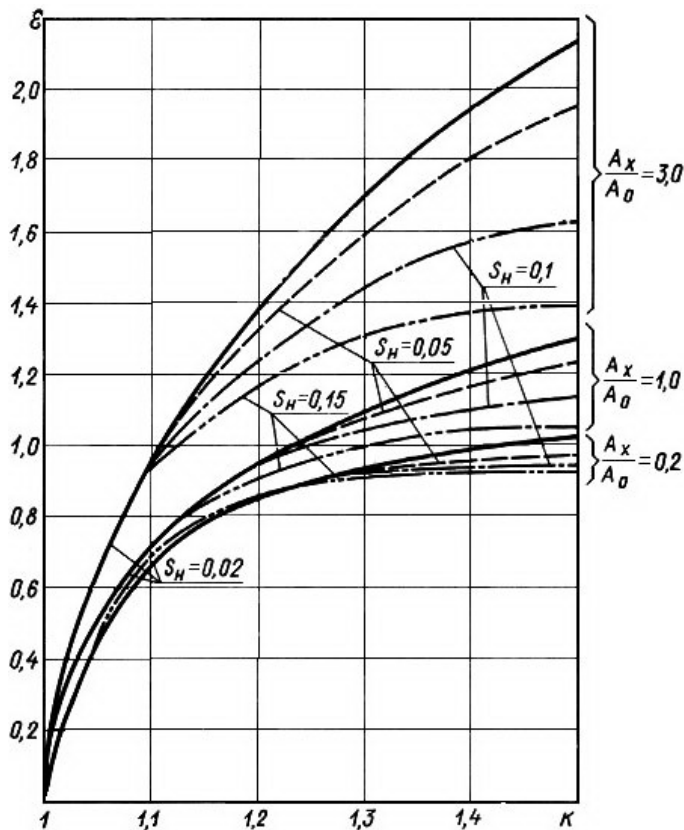


Рис. 4.2. Графік для визначення коефіцієнту $\square \varepsilon$

У період робочого ходу t_p робота двигуна, віднесена до вала ведучого кривошипа, складає $A_{др} = N_n t_p \eta_0$, де t_p – час робочого ходу $t_p = t_{дх} \alpha_p / 360$. Тоді робота маховика, що доповнює до загального рівня витрати енергії в період робочого ходу, буде

$$A_M = A_p - A_{др} . \quad (4.24)$$

Коефіцієнт k_ϕ визначається по формулах:

- для пресів, що працюють у режимі безупинних ходів

$$k_\phi = 1 - \frac{\alpha_p}{360}; \quad (4.25)$$

- для пресів, що працюють у режимі одиночних ходів

$$k_\phi = \sqrt{\left(1 - \frac{\alpha_p}{2\pi} p_u\right)^2 + (2 - 6p_u + 3p_u^2) \frac{A_g}{A_p} + \left(\frac{A_g}{A_p}\right)^2} . \quad (4.26)$$

Значення коефіцієнту k_ϕ можуть бути як менші 1, так і більші в залежності від співвідношення кута робочого ходу α_p , витрат енергії на вмикання A_B і коефіцієнту використання числа ходів p_u .

Слід зазначити, що момент інерції маховика в більшості типів пресів з муфтою в маховику складає 97–99 % від загального моменту інерції ведучих частин привода. У КГШП і ГKM момент інерції маховика складає, відповідно, 65...75 % і 85...90 %. Це варто враховувати при виборі розмірів маховика.

Зменшення моменту інерції, якщо це необхідне по конструктивним міркуванням, досягається:

- збільшенням частоти обертання маховика;
- використанням двигуна з підвищеним ковзанням;
- використанням більш потужного двигуна.

Після вибору розмірів маховика, що забезпечують необхідний момент інерції, необхідно перевірити максимальну лінійну швидкість обода, що обмежується умовами міцності обода під дією відцентрових сил

$$V = \frac{D_M \omega_M}{2} \leq [V], \quad (4.27)$$

де D_M – діаметр обода маховика.

Допустима швидкість $[V]$ приймається рівною 25 м/с для чавунних маховиків і 40 м/с – для сталевих.

Потужність двигуна перевіряється за часом розгону маховика

$$t_p = \frac{1,2 J_M \omega_M^2}{N_n}, \text{ с.} \quad (4.28)$$

Для асинхронних двигунів з нормальним ковзанням час розгону не повинний перевищувати 10 с, а для двигунів з підвищеним ковзанням – 18 с. При збільшеній тривалості розгону варто вибрати наступний двигун, або передбачити спеціальні методи пуску.

Особливості розрахунку двигунів з підвищеним ковзанням

Двигун з підвищеним ковзанням вибирають по каталозі (див. додаток 4) для потужності, розрахованої по формулі (4.20) і рекомендованого довгостроково припустимого ковзання по таблиці 4.6.

Довгостроково припустиму потужність N_d двигуна вибирають по каталозі в графі «Потужність при $ПВ = 100 \%$ », після чого в інших графах знаходять

номінальну потужність N_n і номінальне ковзання S_n . Довгостроково припустиме ковзання S_d обчислюють по формулі

$$S_d = S_n \frac{N_d}{N_n}, \quad (4.29)$$

Коефіцієнт нерівномірності ходу j визначають по формулі (4.23), але замість S_n підставляють значення S_d

$$j = 2\epsilon k(S_d + S_p). \quad (4.30)$$

Особливості розрахунку двигунів з фазним ротором

Розрахункову потужність двигуна, визначену по формулі (4.20), корегують для обліку втрат у додатковому постійно включеному опорі ротора і погіршення вентиляції при роботі на штучній характеристиці

$$N_{np} = \frac{\omega_n}{\omega_d} \sqrt{\frac{\omega_n}{\omega_d}} N_n, \quad (4.31)$$

де ω_n – номінальна швидкість двигуна

$$\omega_n = \omega_0(1 - S_n);$$

ω_d – довгостроково припустима швидкість двигуна

$$\omega_d = \omega_0(1 - S_d);$$

ω_0 – синхронна швидкість двигуна, що задається по каталогу двигуна.

Довгостроково припустиме ковзання S_d задають відповідно до рекомендацій таблиці 4.6, де рекомендації щодо значення S_n відносяться, у даному випадку, до величини S_d .

По величині потужності N_{np} і припустимому ковзанню S_d вибирають з каталогу необхідний двигун (див. додаток 5).

Коефіцієнт нерівномірності ходу j визначають також як і для двигунів з підвищеним ковзанням, тобто по формулі (4.30).

4.3 Коефіцієнти корисної дії кривошипного преса

Енергетичним коефіцієнтом корисної дії (ККД) технологічної машини називається відношення корисне витраченої роботи на подолання технологічних опорів до витраченої роботи протягом визначеного періоду часу.

Стосовно до кривошипних пресів, як і всім ковальсько-штампувальним машинам, корисно використовуваною технологічною роботою є робота пластичної деформації. У зв'язку накопиченням і витратою енергії привода преса з визначеною періодичністю, розрахунковим періодом повинний бути період одного технологічного циклу. Робота за цикл містить у собі повну витрату енергії в приводі на виготовлення одного виробу, а відносна частка корисно використовуваної роботи на пластичну деформацію складає середній ККД технологічного циклу, або інакше, цикловий ККД.

Ефективність привода кривошипного преса оцінюється по величині середнього ККД технологічного циклу, чи, інакше, цикловому ККД

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{A_{\text{д}}}{A_{\text{ц}}} = \frac{A_{\text{д}}}{A_{\text{в}} + A_{\text{р}} + A_{\text{х}}}. \quad (4.32)$$

Звичайно ККД циклу $\eta_{\text{ц}}$ складає 30...60 %.

Оцінка енергетичної досконалості ГВМу виконується по величині ККД робочого ходу, що являє собою ККД механізму за локальний період робочого ходу

$$\eta_{\text{р}} = \frac{A_{\text{д}}}{A_{\text{р}}}. \quad (4.33)$$

Практичні дані про ККД робочий хід при виконанні типових технологічних операцій для пресів звичайних конструкцій і звичайних умов експлуатації приведені в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 Середні значення $\eta_{\text{р}}$

Тип преса	$\eta_{\text{р}}$
Листоштампувальні універсальні простої дії:	
вирубка	0,55...0,65
витяжка	0,60...0,80
Листоштампувальні подвійної дії	0,65...0,75
КГШП	0,30...0,40
ГКМ	0,35...0,45
Обрізні	0,50...0,55
Карбувальні	0,80...0,90
Ножиці сортіві	0,50...0,60

4.4. Графік роботоспроможності кривошипного преса

Оскільки необхідна потужність двигуна визначається при певному значенні коефіцієнту використання числа ходів, то при його зміні величина допустимої пластичної деформації також змінюється. Витрати енергії на вмикання та холостий хід механізмів на протязі одного технологічного циклу вважаються незмінними.

В такому разі визначаючи роботу пластичної деформації через роботу робочого ходу і ККД робочого ходу (по табл. 4.8), тобто $A_{Д}=A_{р}\eta_{рх}$, з формули (4.16) слідує допустима робота пластичного деформації в залежності від коефіцієнту використання числа ходів

$$A_{Д} = \frac{\eta_{р}\eta_{о}}{k_{о}} \left(N_{н} \frac{60}{n_{н}\cdot p_{и}} - k_{о} \frac{A_{г}}{\eta_{м}} - A_{х} \right). \quad (4.34)$$

При коефіцієнті використання числа ходів рівному 1 (автоматичні ходи) допустима робота $A_{Д}$ зростає на величину витрат енергії на вмикання $A_{в}$.

Графік робото спроможності обов'язково приводиться в пояснювальній записці до проекту і в паспорті преса.