

669.02

T 191

**Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія**



**К. В. Таратута
О. М. Гречаний**

МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ЗАВОДІВ

Частина 2

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Методичні вказівки до контрольних робіт

*для студентів ЗДІА
напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування»*

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ЗАВОДІВ
Частина 2
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ
Методичні вказівки до контрольних робіт
для студентів ЗДІА
напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування»

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри МОі,
протокол № 14 від 29.03.2016р.*

Запоріжжя
ЗДІА
2016

ББК 669.02
Т 191

*К. В. Таратута, к.т.н., доцент
О. М. Гречаний, ст. викладач*

Відповідальний за випуск: *в.о. зав. кафедри МОі,
доцент К. В. Таратута*

Таратута К. В.

Т 191 Механічне обладнання металургійних заводів. Частина 2. Обладнання для виробництва металів і сплавів: методичні вказівки до контрольних робіт для студентів ЗДІА на пряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» / Таратута К. В., Гречаний О. М.; Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2016. – 38 с.

Методичні рекомендації по виконанню контрольних робіт з дисципліни «Механічне обладнання металургійних заводів. Частина 2. Обладнання для виробництва металів і сплавів» мають за мету закріпити навички студентів по розрахунку металургійного обладнання.

ЗМІСТ

1	Короткі відомості про дугові електропечі.....	4
1.1	Механізми переміщення електродів.....	6
1.2	Механізми нахилу.....	7
2	Приклад розрахунку механізму нахилу печі.....	10
3	Контрольні завдання.....	16
4	Контрольні питання.....	17
5	Загальні відомості про обладнання вертикальних конверторів.....	18
5.1	Фурмені установки та їх розрахунок.....	22
6	Приклад розрахунку потужності двигуна механізм повороту конвертора...	23
7	Контрольні завдання.....	30
8	Контрольні питання.....	31
	Додатки.....	32
	Література.....	37

1 КОРОТКІ ВІДОМОСТІ ПРО ДУГОВІ ЕЛЕКТРОПЕЧІ

У кольоровій металургії печі застосовуються для рафінувальних процесів, у чорній - для виробництва електросталі. Останні працюють в більш напруженому режимі (особливо в період розплавлення металеві шихти). Основою шихти печей є металевий брухт, який завантажується зверху саморозвантажувальними баддями при відведеному у бік склепінні. Залежно від способу відносного зсуву ванни печі і склепіння розрізняють два основних типи печей: з викочувальною ванною (серія ДСВ) і з поворотним склепінням (серія ДСП). На нових підприємствах в основному встановлюють печі з поворотним склепінням типової серії ДСП місткістю 12, 25, 50, 80, 100 і 200 т. Електропечі середньої серії ДСП-12, ДСП-25 і ДСП-50 (цифра означає місткість печі) виконують з гідравлічним приводом основних механізмів, електропечі великої серії ДСП-100, ДСП-200 - з електроприводами всіх механізмів. Злив металу ведеться шляхом нахилу печі на кут 40-45 ° у бік зливного носка, а скачування шлаку - в протилежну сторону на кут 10-15 °.

Схема типовий печі показана на рис.1. Піч складається з циліндричного корпусу з внутрішньої вогнетривкої футеровки, знімного купольного склепіння та сферичного днища. У корпусі є робоче вікно для завантаження феросплавів, заправки печі і скачування шлаків і носок для зливу металу в ківш. У комплекс печі входять полупортал, призначений для підвішування склепіння, електродотримачів, в яких закріплені графітові електроди. Електропіч обслуговують наступні основні механізми: переміщення електродів, затиску електродів, підймання і повороту склепіння, нахилу печі. До числа допоміжних відносять механізми для відкривання заслінок робочих вікон [1,2].

Механізми підймання та поворот склепіння здійснюють механізмом підйому при завантаженні шихти зверху, і поворотом ванни печі навколо вертикальної осі, а також при встановленні склепіння на місце після зазначених операцій. У печах невеликої місткості склепіння підвішується до полупорталу (рис. 2, а) через пластинчасті ланцюги, які, огинаючи блоки, кріпляться до поступально-рухомих гвинтів спеціальних редукторів. Останні приводяться в обертання двигунами змінного струму. Для синхронізації руху редуктори з'єднані проміжним валом. У печах великої місткості склепіння підвішується через тяги до важільної системи, яка приводиться в дію від двох гідроциліндрів.

Механізм повороту склепіння на малих печах включає поворотну колону, яка приводиться в обертання через відкриту зубчасту передачу від електромеханічного або гідравлічного приводу. На великих печах замість колони застосовується поворотна платформа з опорними катками і центруючою віссю (рис. 2, б). Потужність двигуна механізму повороту визначається за статичним моментом з наступною перевіркою двигуна на перевантаження при пуску. Згідно розрахунковій схемі (див. рис.2, а) момент опору обертанню колони $M = 2 (G \cdot a/b) \cdot 0,5 d_1 \mu_1 + G \cdot 0,5 d_2 \mu_2$,

d_1, d_2 - відповідно діаметр цапфи радіальних опор і підп'ятника;

μ_1, μ_2 - коефіцієнти тертя ковзання.

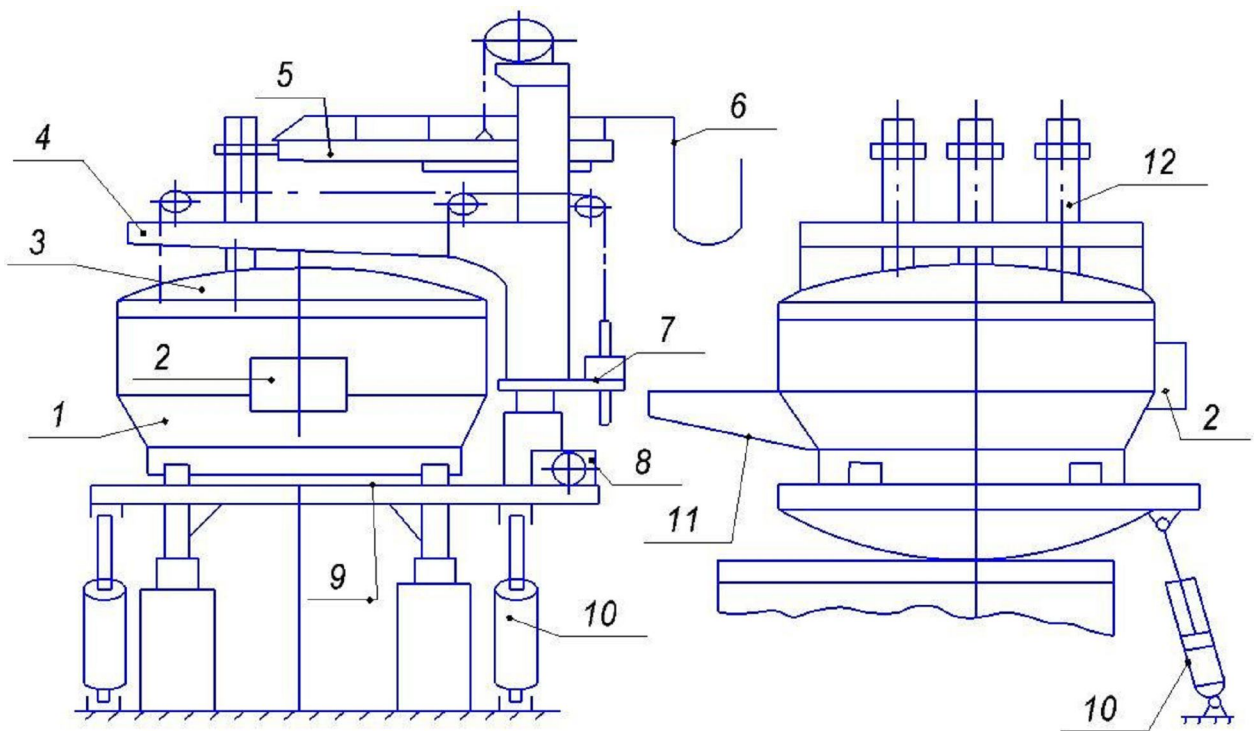


Рис. 1. Схема дугової електросталеплавильної печі:

- 1 - ванна; 2 - робоче вікно; 3 - склепіння; 4 - полупортал;
 5 - система переміщення електродів; 6 – струмопідвід; 7 - привід механізму підйому склепіння; 8 - механізм відвороту склепіння; 9 - люлька; 10 - механізм нахилу; 11 - зливний носок; 12 – електроди

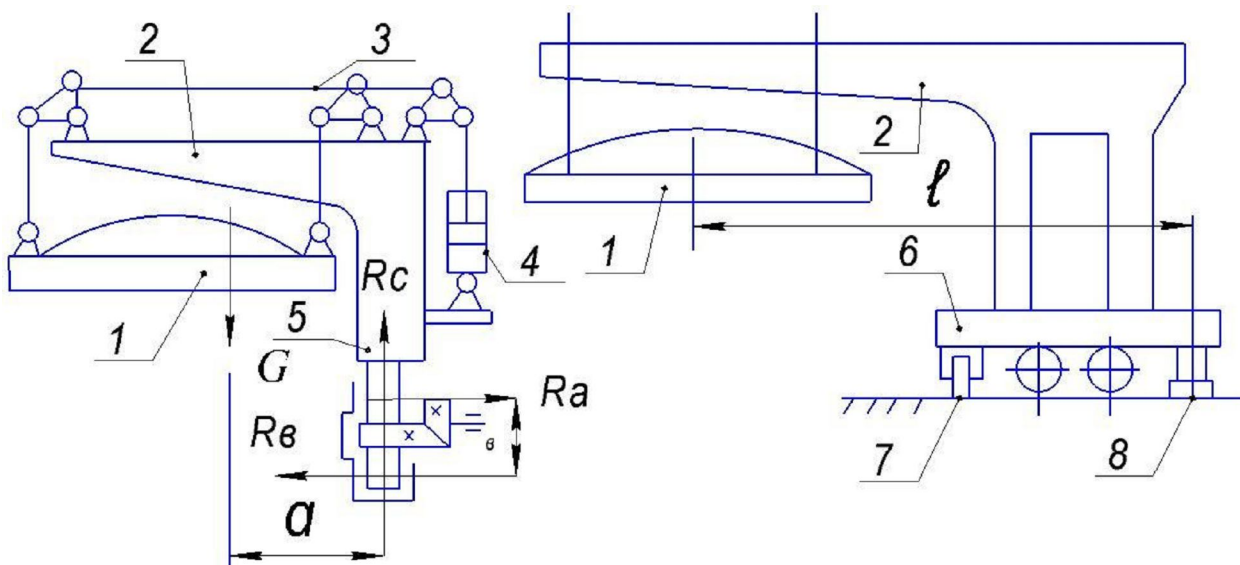


Рис. 2 Схеми механізмів підймання та повороту склепіння:

- а - з поворотною колоною; б - з платформою:
 1- склепіння; 2 - полупортал; 3 - система важеля; 4 - гідроциліндр;
 5- поворотна колона; 6 - поворотна платформа; 7 - катки;
 8- опорно - центруюча вісь.

1.1 Механізми переміщення електродів

Практично у всіх печах механізми оснащені системою автоматичного регулювання (САР), що дозволяє в автоматичному режимі вести процес плавлення.

Залежно від типу приводу розрізняють механізми з електроприводом (рис. 3, а, б, в) і гідроприводом (рис. 3, г). Електричні приводи виконують як з канатно-барабанными передачами (рис. 3, а, в), так і з рейковими (рис. 3, б). За конструктивним виконанням їх ділять на механізми з рухомими стійками (рис. 3, а, б, г) і рухливими каретками (рис. 3, в). Найбільшого поширення набули механізми з канатно-барабанною та рейковою передачами з рухомою стійкою, рейковий механізм з рухомою кареткою та гідравлічний механізм з рухомою стійкою. Для зменшення потужності приводу на всіх типах механізмів, крім гідравлічних, застосовують контрвантажі (противаги).

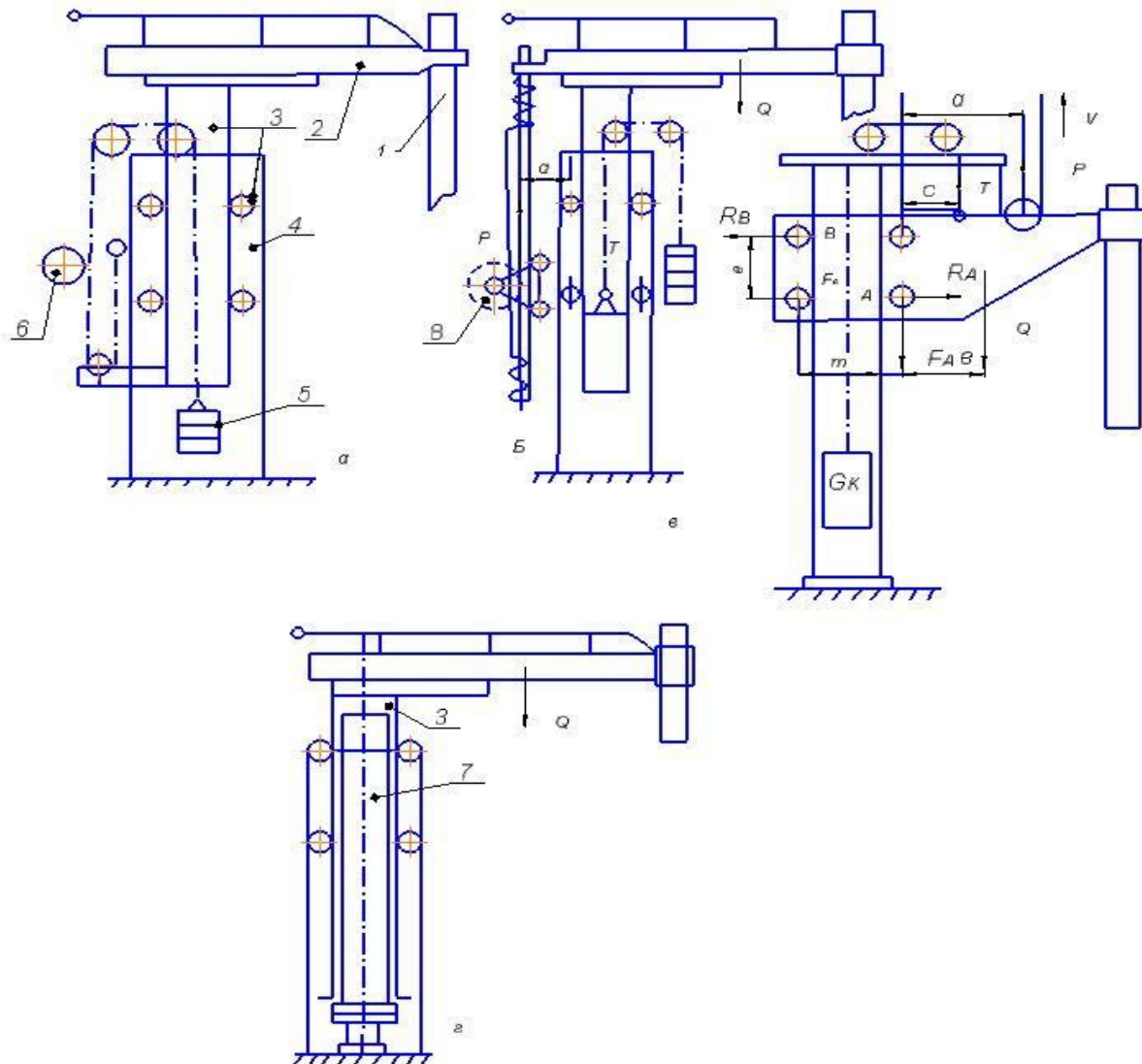


Рис. 3. Схеми механізмів переміщення електродів з канатною(а, в), рейковою (б), гідравлічною (г) передачами:
1 - електрод; 2 - рукав; 3 - рухома стійка; 4 - шахта; 5 - контрвантаж;
6 - лебідка; 7 - гідроциліндр; 8 - рейкова передача

Потужність двигуна механізмів з електромеханічним приводом визначають за статичним навантаженням з наступною перевіркою двигуна на перевантаження при пуску. Для визначення зусилля P , яке необхідне для підняття каретки з електродом, слід скласти три рівняння статички, тобто

$$\begin{aligned} \sum P_x = 0 & \quad R_A - R_B = 0 \\ \sum P_y = 0 & \quad P + T - Q - F_A - F_B = 0 \\ \sum M_A = 0 & \quad P_a + TC + R_B e + F_B m - Qb = 0 \end{aligned}$$

Невідомими величинами є P , R_A , R_B , F_A , F_B . Число невідомих можна зменшити, якщо врахувати, що сили опору переміщенню каретки F_A та F_B є функціями реакцій R_A , R_B у опорах A та B :

$$F_A = R_A f = R_A \left[\mu d + r k \right] D \bar{\beta}; \quad F_B = R_B f = R_B \left[\mu d + r k \right] D \bar{\beta},$$

де β - коефіцієнт, що враховує тертя реборд роликів.

Підставивши значення F_A та F_B в систему трьох рівнянь, визначають зусилля P .

Тут важливо врахувати, що сила, яка діє на систему з боку контрвантажів:

$$T = G_K \eta_\delta^\alpha \eta_K$$

де G_K - вага контрвантажів;

η_δ - ККД блока; η_K - ККД напрямних контрвантажів.

Натяг каната, що йде до барабана лебідки:

$$P' = P / \left(\eta_\delta \right)$$

Статичний момент на валу двигуна при підйомі електрода

$$M_c = P' \cdot R_\delta / \left(i_0 \cdot \eta \right)$$

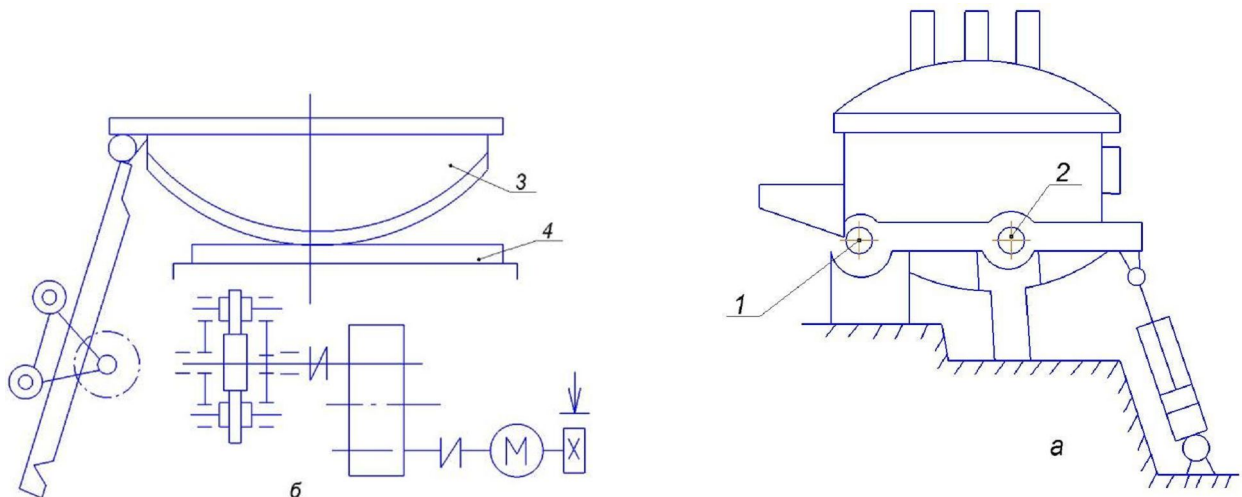
де R_δ - радіус барабана лебідки;

i_0 - повне передавальне відношення лебідки;

η - ККД лебідки.

1.2 Механізми нахилу

На рис. 4, а показана схема механізму нахилу печі для виплавки анодного нікелю з гідравлічним приводом при подвійних опорах.



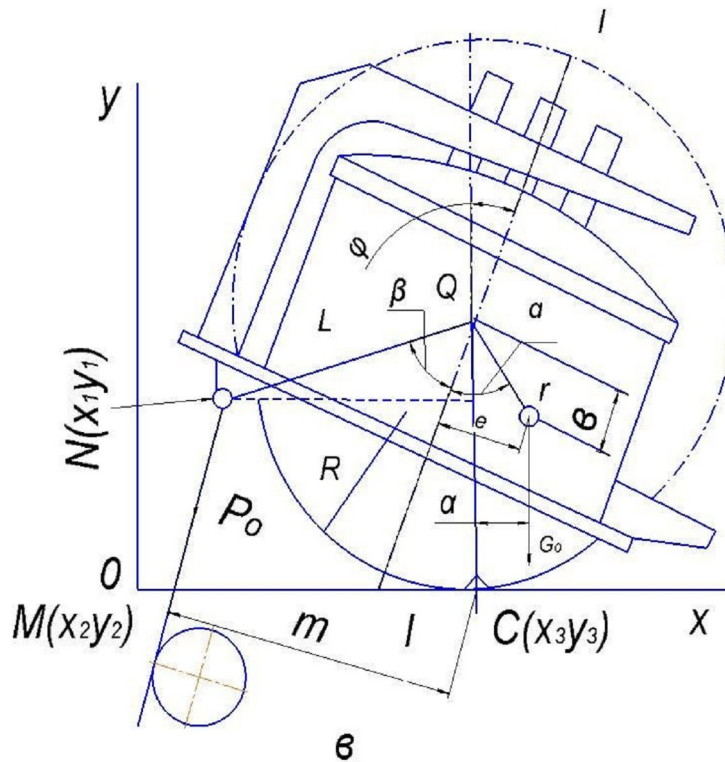


Рис. 4. Схеми механізмів нахилу печі:

а, б - принципова; в - розрахункова:

1, 2 - цапфи; 3 - опорні сегменти; 4 - опорні бруси

Перевагою такого рішення є значне переміщення зливного носка, що дає можливість зливати метал безпосередньо в виливниці розливної машини. Недолік - велике плече сили, що унеможливує застосування такого механізму у великих печах. Найбільш широко застосування отримали сегментні механізми з гвинтовою, рейковою і гідравлічною передачами. На нових печах переважно використовуються механізми з рейковою (рис. 4, б) і гідравлічною передачами. У цих механізмах піч спирається через два сегменти на фундаментні балки. Для виключення прослизання сегментів по брусам на сегментах виконані шипи, що входять в лунки на поверхні брусів. Основа правильного розрахунку механізму нахилу - точне визначення центру ваги всієї печі. Якщо відомі координати центру ваги \bar{b} , e (див. рис. 4) щодо умовної осі обертання для початкового положення печі, то радіус-вектор

$$r = \sqrt{b^2 + e^2}.$$

Кут нахилу радіуса-вектора до осі печі 1-1 для початкового положення печі

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{e}{r} \right)$$

Кут нахилу радіуса-вектора при повороті печі на кут буде $\alpha \pm \varphi$. Знаки "+" або "-" залежать від напрямку обертання печі та приймаються: "+" - при нахилі від початкового положення в бік робочого вікна; "-" - При нахилі від початкового положення в бік зливного носка.

Перекидаючий момент від ваги печі

$$M_n = G_n \cdot a = G_n \cdot r \cdot \sin(\varphi \pm \alpha)$$

Момент сили тертя кочення в опорних сегментах становить:

$$M_k = (G_n + G_m) K,$$

де G_m - вага металу:

$$K = 0,16/4 \sqrt{2R(G_n + G_m)El} - \text{коefficient тертя кочення,}$$

R - радіус сегментів;

E - модуль пружності,

l - сумарна довжина утворюють двох опорних сегментів.

Максимальний перекидаючий момент буде при нахилі печі на кут 40-45°, коли практично весь метал злитий. При цьому момент від ваги металу зменшується до нуля і повний перекидаючий момент:

$$M_0 = M_n + M_k$$

Для визначення зусилля P_0 , що діє на рейки, необхідно знайти плече цієї сили m . Воно може бути знайдено як відрізок перпендикуляра, опущеного з точки C (миттєвого центру обертання) на вісь рейок:

$$m = (Ax_3 + By_3 + C) \sqrt{A^2 + B^2},$$

$$A = (y_2 - y_1) \cos(\alpha) - (x_2 - x_1) \sin(\alpha)$$

де $B = -1$

$$C = Y_1 - Ax_1$$

Координату X_3 (точка C) визначають як довжину кола, що укладається на прямій при коченні (рис. 4, в):

$$X_3 = R(\beta + \varphi) - Y_3 = 0.$$

Координати точки N для будь-якого положення печі визначають за формулами:

$$X_3 = R(\beta + \varphi) - L \sin(\beta + \varphi); \quad Y_1 = R - L \cos(\beta + \varphi)$$

Координати точки M (X_2, Y_2) при нахилі печі залишаються практично постійними.

Таким чином, за обчисленими координатами X_1, Y_1 и X_3 знаходять величину m для заданих кутів повороту, а потім і зусилля в рейках або штоках гідроциліндрів:

$$P_0 = M_0 / m.$$

Момент на валу кожного з двох двигунів

$$M = P_0 \cdot r_M / (i \cdot \eta_M)$$

де r_m - радіус початкового кола шестерні; η_m - ККД механізму; i - передавальне відношення приводу.

За отриманим моментом визначають потужність двигуна і по каталогу обирають відповідний двигун.

2 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ МЕХАНІЗМУ НАХИЛУ ПЕЧІ

В якості прикладу розглянемо механізм нахилу з гідравлічним приводом дугової електропечі місткістю 100 т.

Вихідні дані (рис. 5, а, б): G_n - 3200 кН; G_M = 1000 кН; $\gamma=70$ кН/м³; $R = 3,05$ м; $R_1 = 2,68$ м; $L=3,05$ м; $z = 0,5$ м; $\omega c = 4,44$ м; $H = 1,4$ м; $e = 0,15$ м; $b = 0,5$ м; $\delta = 46^\circ 40'$; $l = 0,64$ м; $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

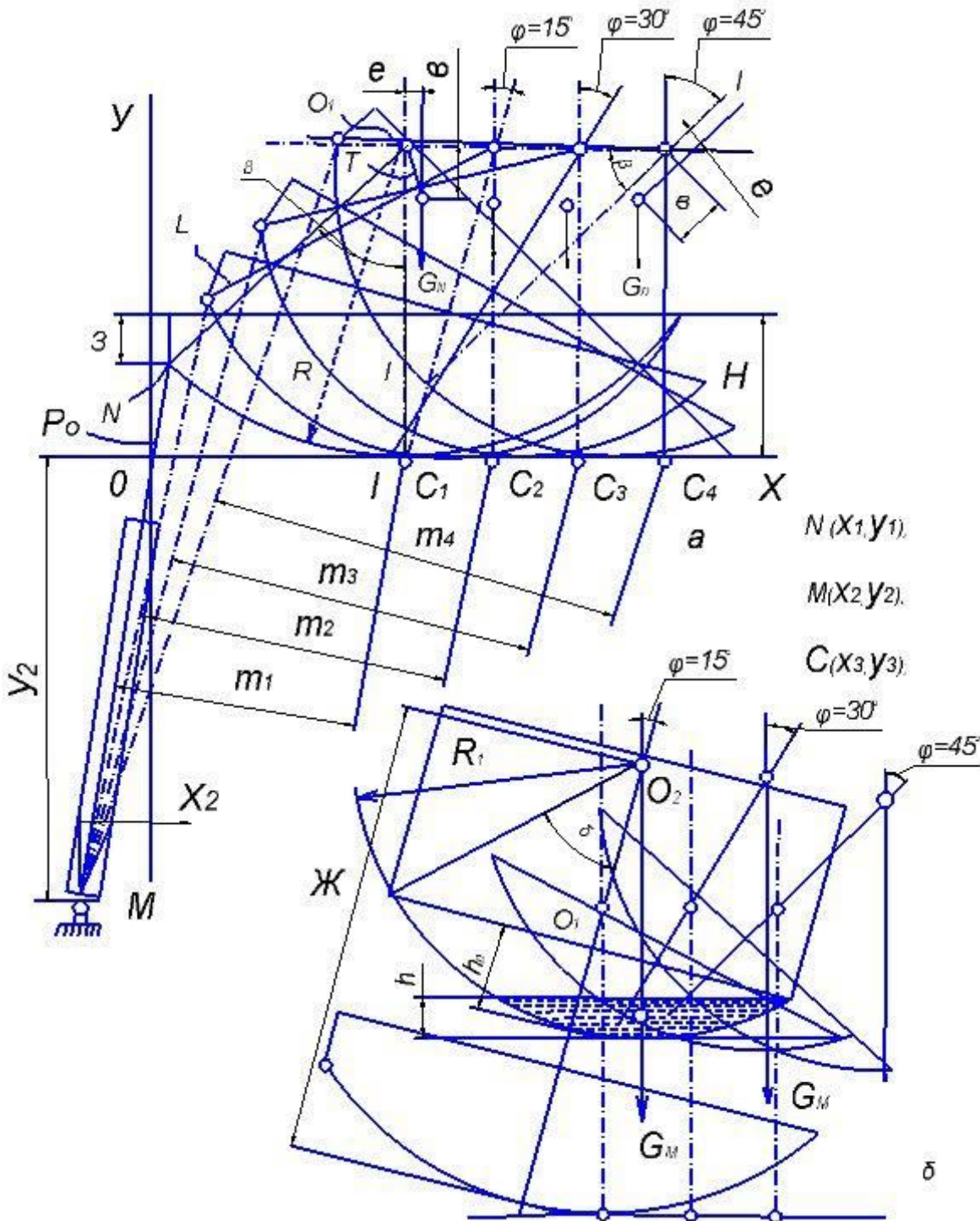


Рис. 5. Схеми до розрахунку механізму нахилу печі, з гідравлічним приводом

Розрахунок ведемо для декількох положень печі: 0° , -7° (при нахилі печі у бік робочого вікна на кут 7° при скачуванні шлаку); -7° , 0° (при нахилі печі після скачування шлаку у вихідне положення); 15° , 30° , 45° (при нахилі печі в бік зливного носка на кут 45° при зливні металу); 45° , 30° , 15° , 0° (при нахилі порожньої печі у вихідне положення).

Обчислення моментів зручно вести в порядку спрацьовування механізму нахилу.

2.1 Розрахунок моменту від ваги печі

При обчисленні моментів для положень 0° , -7° при нахилі печі у бік робочого вікна і -7° , 0° при поверненні печі у вихідне положення користуються формулою:

$$Mn = Gnr \sin(\alpha + \varphi).$$

Знак "+" приймається при нахилі печі у бік робочого вікна, а знак "-" - при поверненні її в початкове положення.

Моменти при нахилі печі в бік зливного носка ($0^\circ - 45^\circ$) обчислюють за формулою:

$$Mn = Gnr \sin(\varphi - \alpha),$$

а при поверненні порожньої печі у вихідне положення ($45^\circ - 0^\circ$) - за формулою:

$$Mn = -Gnr \sin(\alpha - \varphi).$$

Перед розрахунком моментів визначаємо радіус-вектор:

$$r = \sqrt{0,15^2 + 0,5^2} = \sqrt{0,2725} = 0,522 \text{ м},$$

і кут його нахилу до вертикалі

$$\alpha = \arcsin(0,15/0,522) = 0,2873, \quad \alpha = 16^\circ 42'.$$

Моменти для положень 0° , -7° :

$$Mn_0 = 3200 \cdot 0,522 \cdot \sin(16^\circ 42' + 0^\circ) = 479,9 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$Mn_7 = 3200 \cdot 0,522 \cdot \sin(16^\circ 42' + 7^\circ) = 671,33 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

для положень -7° , 0° :

$$M'n_7 = -671,38 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad M'n_0 = -479,9 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

для положень $15^\circ - 45^\circ$:

$$Mn_{15} = 3200 \cdot 0,522 \cdot \sin(15^\circ - 16^\circ 42') = -49,56 \text{ кН};$$

$$Mn_{30} = 3200 \cdot 0,522 \cdot \sin(30^\circ - 16^\circ 42') = 384,27 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{45} = 791,92 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

для положень $45^\circ - 0^\circ$:

$$M'n_{45} = -3200 \cdot 0,522 \cdot \sin(16^\circ 42' - 45^\circ) = -791,92 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M'n_{30} = -384,27 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad M'n_{15} = 49,56 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad Mn_0 = 477,9 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

За отриманими даними будуюмо графік $Mn = f(\varphi)$ (рис. 6,а).

2.2 Розрахунок моменту від ваги металу

Моменти від ваги металу визначають за формулою:

$$M_M = \pm G_M n \sin \varphi,$$

де $n = \rho - R$ - відстань між центрами O_1 і O_2 ;

$n \cdot \sin \varphi$ - плече сили тяжіння металу.

Знак "+" застосовується тільки при поверненні печі з положення -7° після скачування шлаку. В інших випадках знак "-", так як метал сприяє самоперекиданню печі.

Перед тим, як визначити вагу металу G_M , обчислюють для розглянутих положень печі ($0^\circ, -7^\circ, 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$) висоту металу h :

$$h = R_1 [1 - \cos(\delta - \varphi)],$$

$$h_0 = 2,68 [1 - \cos(46^\circ 40' - 0^\circ)] = 2,68 [1 - 0,6862] = 0,84 \text{ м};$$

$$h_1 = h_0; \quad h_{15} = 0,399 \text{ м}; \quad h_{30} = 0,112 \text{ м}; \quad h_{45} = 0.$$

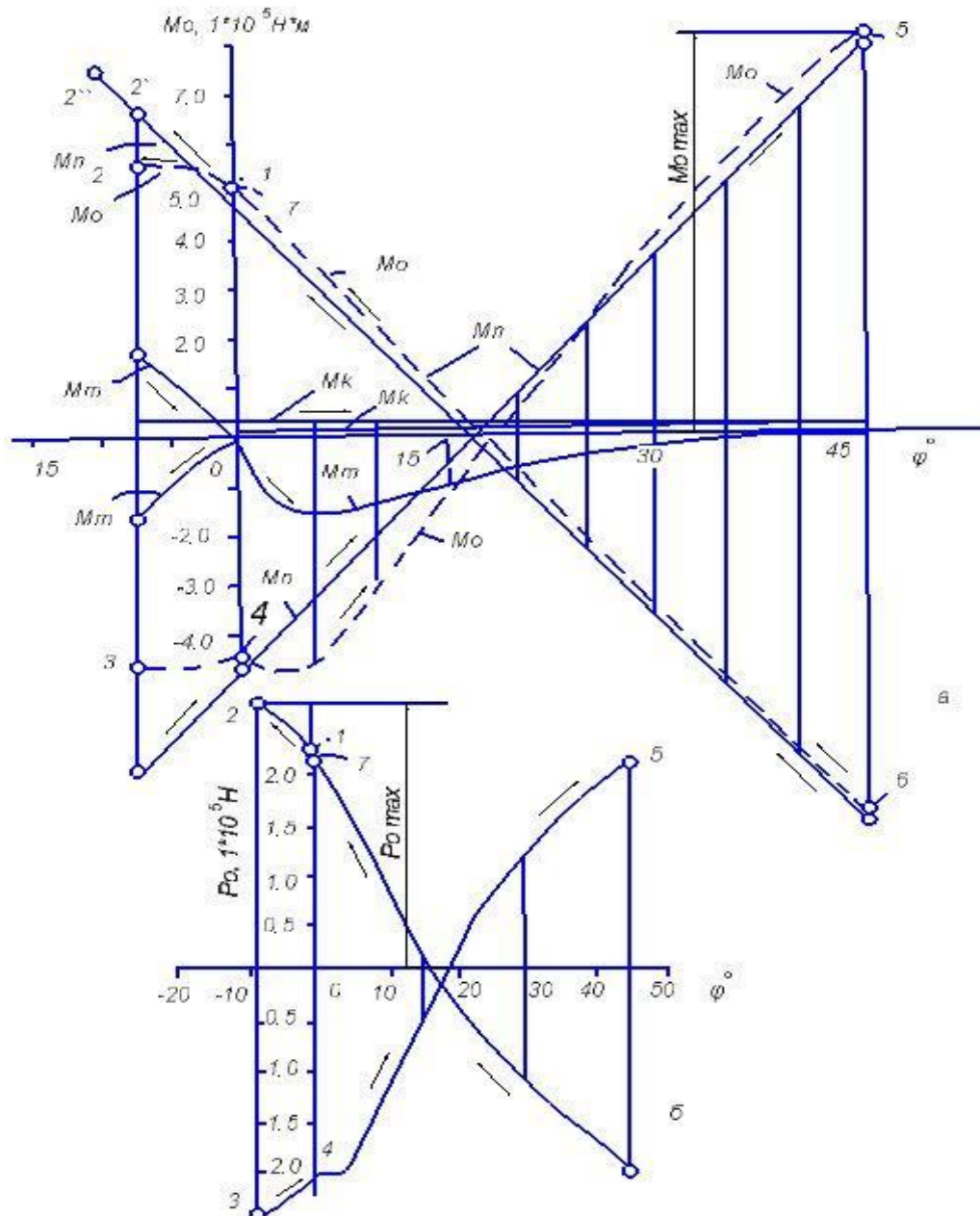


Рис. 6. Графіки залежності моментів (а) і зусиль (б) від кута нахилу печі

Вага металу визначають, приймаючи ванну металу у формі сферичного сегмента:

$$G_M = \pi R_1^2 h^2 \left[-h / 3R_1 \bar{\gamma} \right]$$

$$G_{M0} = 3,14 \cdot 2,68^2 \cdot 0,84^2 \left[1 - \frac{0,84}{3 \cdot 2,68} \right] \cdot 70 = 997,42 \text{ кН} \approx 1000 \text{ кН},$$

Тоді $G_{M15} = 238,83 \text{ кН}$, $G_{M30} = 19,52 \text{ кН}$,

$$G_{M45} = 0, G_{M1} = G_{M0}.$$

Моменти від ваги металу складають:

$$M_{M0} = 0; M_{M7} = -1000 (4,44 - 3,05) \cdot \sin 7^\circ = -169,44 \text{ кН м};$$

$$M'_{M7} = 169,44 \text{ кН м}; M_{n15} = -85,91 \text{ кН м}; M_{n30} = -13,57 \text{ кН м};$$

$$M_{n45} = 0.$$

За отриманими даними будуємо графік $M_M = f(\varphi)$ (рис. 6, а).

2.3 Моменти від сил тертя кочення в опорних сегментах

Визначаємо коефіцієнти K для розглянутих положень печі:

$$K_0 = K_0^1 = K_{07} = K_{07}^1 = \frac{2,16}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot 3,05(3200 + 1000)}{210000 \cdot 0,64}} = 0,00745 \text{ м}$$

$K_{15} = 0,067 \text{ м}$; $K_{30} = 0,00652 \text{ м}$; $K_{45} = K'_{45} = K'_{30} = K'_{15} = K_0'' = 0,0065 \text{ м}$ (тобто для порожньої печі $K_{\Pi} = 0,0065 \text{ м}$).

Тоді:

$$M_{ko} = M_{k7} = M'_{k7} = M'_{ko} = (3200 + 1000) \cdot 0,00745 = 31,29 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{k15} = (3200 + 238,83) \cdot 0,0067 = 23,04 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_{k30} = 20,93 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{k45} = M'_{k45} = M'_{k30} = M'_{k15} = M_{k0}'' = 3200 \cdot 0,0065 = 20,8 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

За отриманими даними будуємо графік $M_k = f(\varphi)$ (рис. 6,а).

2.4 Загальні перекидні моменти

$$M_{o0} = M_{n0} + M_{k0} = 479,9 + 31,29 = 511,19 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{o7} = M_{n7} + M_{k7} - M_{m7} = 671,33 + 31,29 - 169,44 = 533,18 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M'_{o7} = -M'_{n7} + M_{k7} + M'_{m7} = 671,33 + 31,29 + 169,44 = -470,6 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M'_{o0} = -M_{n0} + M_{k0} = -479,9 + 31,29 = -448,61 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{o15} = -M_{n15} - M_{M15} + M_{k15} = -49,56 - 85,91 + 23,04 = -112,43 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{o30} = M_{n30} - M_{M30} + M_{k30} = 384,27 - 13,57 + 20,93 = 391,63 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{o45} = M_{n45} + M_{k45} = 791,92 + 20,8 = 812,72 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M'_{o45} = -M'_{n45} + M'_{k45} = -791,92 + 20,8 = -771,12 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M'_{o30} = -M'_{n30} + M'_{k30} = -384,27 + 20,8 = -363,47 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M'_{o15} = M'_{n15} + M'_{k15} = 49,56 + 20,8 = 70,36 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M''_{o0} = M_{n0} + M''_{k0} = 479,9 + 20,8 = 500,7 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

За отриманими даними будуємо графік $M_0 = f(\varphi)$ (рис. 6, а).

2.5 Зусилля в штоках гідроциліндрів

Визначаємо плечі m_i сил P_{oi} попередньо обчисливши для кожного випадку необхідні для розрахунку величини: x_1, y_1, x_3, A, C, a з креслення (рис.

5, а) знаходимо значення кута $\beta = 44^\circ$ ($\beta = 0,767$ радий) і координати $x_2 = -0,64$ м и $y_2 = -4,3$ м.

При $\varphi = 0^\circ$:

$$x_1 = 3,05 \cdot (0,767 + 0) - 3,05 \cdot \sin(44^\circ + 0^\circ) = 0,22 \text{ м};$$

$$y_1 = 3,05 - 3,05 \cdot \cos(44^\circ + 0^\circ) = 0,856 \text{ м};$$

$$x_2 = -0,64 \text{ м}; \quad y_2 = -4,3 \text{ м};$$

$$A = \frac{-4,3 - 0,856}{-0,64 - 0,22} = 5,995; \quad C = 0,856 - 5,995 - 0,22 = -0,4629;$$

$$m_1 = \frac{5,995 \cdot 2,34 - (-1,0) - 0,4629}{\sqrt{5,995^2 + (-1)^2}} = 2,23 \text{ м}.$$

При $\varphi = 15^\circ$:

$$x_1 = 0,524 \text{ м}; \quad y_1 = 1,479 \text{ м}; \quad x_2 = -0,64 \text{ м}; \quad y_2 = -4,3 \text{ м};$$

$$x_3 = 3,139 \text{ м}; \quad y_3 = 0; \quad A = 4,965; \quad C = -1,223; \quad m_2 = 2,855 \text{ м}.$$

При $\varphi = 30^\circ$:

$$x_1 = 1,005 \text{ м}; \quad y_1 = 2,209 \text{ м}; \quad x_2 = -0,64 \text{ м}; \quad y_2 = -4,3 \text{ м};$$

$$x_3 = 3,937 \text{ м}; \quad y_3 = 0; \quad C = -1,768; \quad m_3 = 3,384 \text{ м};$$

$$A = 3,957.$$

При $\varphi = 45^\circ$:

$$x_1 = 1,686 \text{ м}; \quad y_1 = 2,997 \text{ м}; \quad x_2 = -0,64 \text{ м}; \quad y_2 = -4,3 \text{ м};$$

$$x_3 = 4,735 \text{ м}; \quad y_3 = 0; \quad A = 3,137; \quad C = -2,292; \quad m_4 = 3,815 \text{ м}.$$

Визначаємо також плечі m'_1 та m'_2 при нахилі печі у бік робочого вікна відповідно, на кут 7 і 10° . У цьому випадку координати x_1 и y_1 для кута $\varphi = 7^\circ$ обчислюють за формулами:

$$x_1 = 0,1315 \text{ м}; \quad y_1 = 0,614 \text{ м}; \quad x_2 = -0,64 \text{ м}; \quad y_2 = -4,3 \text{ м};$$

$$x_3 = 1,967 \text{ м}; \quad y_3 = 0; \quad A = 6,37; \quad C = -0,224; \quad m'_1 = 1,908 \text{ м};$$

для $\varphi = 10^\circ$:

$$x_1 = 0,103 \text{ м}; \quad y_1 = 0,521 \text{ м}; \quad x_2 = -0,64 \text{ м}; \quad y_2 = -4,3 \text{ м};$$

$$x_3 = 1,808 \text{ м}; \quad y_3 = 0; \quad A = 7,037; \quad C = -0,204; \quad m'_2 = 1,76 \text{ м}.$$

Тоді зусилля P_{oi} для відповідних положень печі:

$$P_{O_0} = \frac{501,19}{2,23} = 229,23 \text{ кН};$$

$$P_{O_7} = \frac{533,18}{1,908} = 279,44 \text{ кН};$$

$$P'_{O_7} = -\frac{470,6}{1,908} = -246,64 \text{ кН};$$

$$P'_{O_0} = -\frac{448,61}{2,23} = -201,17 \text{ кН};$$

$$P_{O_{15}} = -\frac{112,43}{2,855} = -39,38 \text{ кН};$$

$$P_{O_{30}} = \frac{391,63}{3,384} = 115,73 \text{ кН};$$

$$P_{o_{45}} = \frac{812,72}{3,815} = 213,03 \text{кН};$$

$$P'_{o_{30}} = -\frac{363,47}{3,384} = -113,55 \text{кН};$$

$$P''_{o_0} = \frac{500,7}{2,23} = 224,53 \text{кН};$$

$$P'_{o_{45}} = -\frac{771,12}{3,815} = -202,13 \text{кН};$$

$$P'_{o_{15}} = \frac{70,36}{2,855} = 24,64 \text{кН};$$

За отриманими даними будуюмо графік $P_o = f(\varphi)$ (рис. 6, б). З графіка видно, що максимальне значення M_0 має місце в точці 5, максимальне значення P_o - у точці 2. Разом з тим, також видно і те, що механізм нахилу печі найбільш навантажений при нахилі печі без металу в бік робочого вікна (точка 2). Тому що нахил печі у бік робочого вікна допускається до 10° , то доцільно визначити момент для цього випадку і за його значенням виконати подальший розрахунок за визначенням робочої площі гідроциліндрів нахилу.

$$M_{o_{10}} = Gr \sin(\alpha + \varphi) + M^{11}_{k_0} =$$

$$= 3200 - 0,522 \sin 26^\circ 42' + 20,8 = 771,3 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

$$P_{o_{10}} = 771,3 / 1,76 = 438,23 \text{кН}.$$

Визначаємо розрахункове зусилля

$$P_{op} = P_{o_{10}} \cdot K_1 \cdot K_2.$$

де $K_1 = 1,2$ - коефіцієнт, що враховує перерозподіл навантаження між циліндрами (циліндр, розташований з боку струмоподвода, є більш навантаженим);

$K_2 = 1,1$ - коефіцієнт запасу по зусиллю.

$$P_{op} = 438,23 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 578,46 \text{кН};$$

$$\text{Площа (штокова) одного гідроциліндра} \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) = \frac{P_{op}}{2 P_p \eta_m},$$

де $d = 0,5 \text{м}$ - діаметр штока.

Тоді:

$$D = \sqrt{\frac{P_{op}}{2 * 0,5887 * P_p \eta_m}} = \sqrt{\frac{578460}{2 * 0,5887 * 4000000 * 0,85}} = 0,38 \text{м}.$$

Тут $P_p = 4 * 10^6 \text{ Н/м}^2$ - робочий тиск в циліндрах.

Остаточно, керуючись низкою розмірів ДСТУ, встановлених для діаметрів циліндрів, приймаємо $D = 0,4 \text{м}$.

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ "РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ НАХИЛУ ДУГОВОЇ ЕЛЕКТРОПЕЧІ"

Позначення	Варіант				
	1	2	3	4	5
G_M , кН	1000	1000	1000	1000	1000
r , кН/м ³	70	70	70	70	70
$L=R$, м	3,05	3,1	3,15	3,2	3,25
R_1 , м	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
z , м	0,51	0,5	0,53	0,52	0,53
$ж$, м	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44
H , Н*м	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
e , м	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
$в$, м	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
l , м	0,64	0,66	0,66	0,68	0,7
E , МПа	$2,1 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^5$

Додаткові варіанти значень G_{np} , кН та δ , град	А	3250 45°30'	3300 45°30'	3500 46°	3700 46°40'	3900 46°50'
	Б	3100 45°	3150 45°20'	3250 45°20'	3550 45°	3600 46°
	В	3300 45°20'	3500 45°30'	3700 45°40'	3700 45°30'	3800 46°10'
	Г	3400 45°50'	3600 45°50'	3800 45°50'	4000 47°	4200 46°50'

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які області застосування електропечей?
2. Замалюйте схему типової печі, поясніть її пристрій і принцип дії.
3. Замалюйте схеми механізмів підйому і повороту склепіння та поясніть їх принцип дії і пристрій.
4. У чому суть методики розрахунку механізму отвороту склепіння з поворотною колоною?
5. Замалюйте схеми механізмів переміщення електродів з гідравлічним і електромеханічним приводами, канатної та рейкової передачами, поясніть їх пристрій і принцип дії, дайте порівняльну оцінку.
6. Яка методика розрахунку механізму переміщення електрода?
7. Замалюйте схеми механізмів нахилу печі.
8. Поясніть методику розрахунку механізму нахилу печі.
9. Охарактеризуйте дугову електропіч з екологічної точки зору, перерахуйте основні заходи щодо захисту навколишнього середовища.
10. Які основні етапи демонтажу механізмів печі?

5 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБЛАДНАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ КОНВЕРТОРІВ

У кольоровій металургії для одержання чорнової міді, нікелю, свинцю застосовуються вертикальні конвертори місткістю до 30 т, у чорній металургії для виробництва конверторних сталей використовуються такі ж конвертори місткістю 60, 100, 150, 250, 350 і 400 т, конвертори великої місткості відрізняються великими габаритами корпусу (висота до 12 м, діаметр до 8 м), великою масою, досягає 2000-2500 т, важкими умовами роботи механізму повороту і опорних вузлів, на які діють великі статичні і динамічні навантаження. Сучасні конвертори складаються з циліндричної середньої частини, сферичного днища і концентричної горловини у вигляді усіченого конуса. Середня циліндрична частина охоплюється сталевим масивним кільцем, в невеликих конверторах вона з'єднується з кожухом жорстко, а у великих - за допомогою шарнірних з'єднань. У кільця запресовуються сталеві ковані цапфи, якими конвертор спирається на підшипникові вузли стійок (рис. 7). Положення вісі обертання, як і інших ємностей з рідким металом, з умов безпеки встановлюється вище загального центру ваги конвертора.

У вертикальному конверторі відбувається більш інтенсивне перемішування маси розплаву (одна фурма вводиться через горловину), відпадає необхідність ручного прочищення фурм, а також в пристроях аварійного повороту. Найбільш великими їх недоліками є використання дугтя високого тиску і збільшення пиловиносу.

Механізм повороту є найбільш відповідальною частиною конверторного агрегату. Існує велика різноманітність конструктивних схем механізмів. На рис. 7. а, б показана схема конвертора з приводом багатодвигунним. У цьому випадку на одній або двох цапфах підвішується вільно спеціальний силовий редуктор з декількома підвісними приводами, що включають триступінчаті редуктори і фланцеві двигуни постійного струму. Кожен з приводів забезпечений амортизуючим пристроєм (демпфером). Гідравлічним демпфером забезпечений і силовий редуктор. Це дозволяє здійснити плавність ходу при пусках і зупинці, зменшити динамічні навантаження, що діють на привід і конвертор в цілому.

Навісними приводами обладнують конвертори місткістю 30, 50, 100, 160, 300-350 і 350-400 т. Конвертор — місткістю 100 т має односторонній восьмидвигунний привід, а конвертори місткістю 160, 300-350 і 350-400 т — однотипні, навісні приводи з однаковими параметрами: 160 т - односторонній шестидвигунний, 300-350 і 350-400 т - двосторонні дванадцятидвигунні. Потужність двигунів складає 60 кВт при частоті обертання 950 об/хв.

У порівнянні зі старими конструкціями стаціонарних приводів (рис 7, в, г) навісний має такі переваги: малі габарити і маса; зручність і простота монтажу; здатність гасити ударні навантаження в з'єднаннях і зачепленнях; висока надійність.

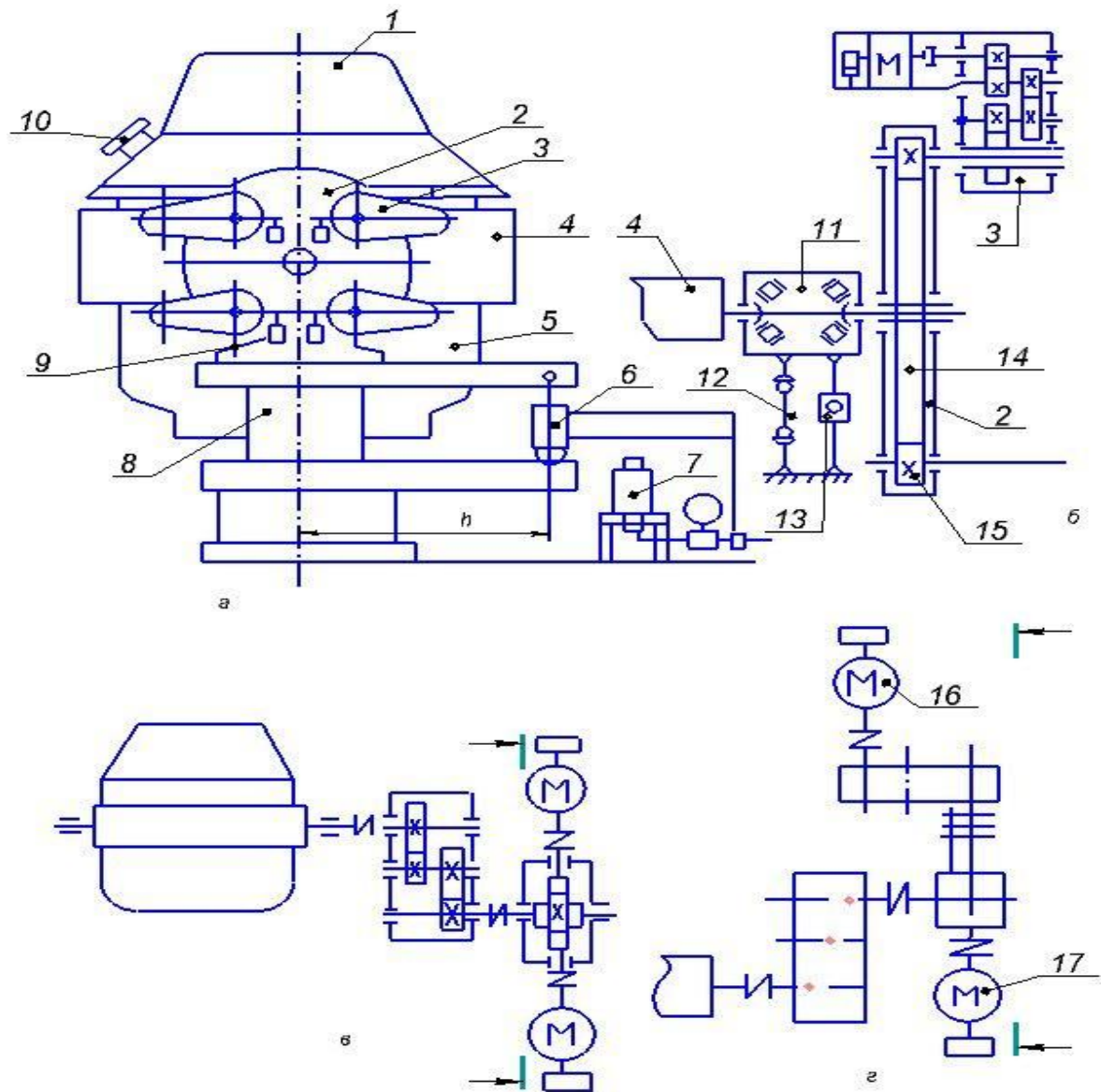


Рис. 7. Схеми конвертора з багатодвигунним приводом (а) і приводів: навісного багатодвигунного (б) і стаціонарного (в, г);

1 - горловина; 2 - навісний тихохідний редуктор; 3 - навісний привід;
 4 - опорне кільце; 5 - кожух; 6 - гідравлічний демпфер; 7 - джерело підживлення; 8 - опори; 9 - пружинний демпфер; 10 - зливний носок; 11 - підшипниковий вузол; 12, 13 - опора з фіксатором; 14 - центральне зубчасте колесо; 15 - периферійні шестерні; 16, 17 - двигуни робочої і маршової швидкості.

Потужність двигуна механізму повороту конвертора визначають за навантажувальної діаграмою. Порядок розрахунку наступний:

1. Відповідно до розрахункової схеми (рис. 8) визначають момент від ваги порожнього конвертора за формулою.

$$Mk = G_k \cdot r_c \cdot \sin \varphi$$

де G_k - вага конвертора, прикладена в центрі тяжіння (ЦТ);

$r_c = \sqrt{(C_0 - C_1)^2 + (d_0 - d_1)^2}$ - радіус-вектор; φ - кут повороту конвертора

від початкового положення. Якщо центр ваги зміщений від вертикалі, то момент визначається за формулою $Mk = G_k \cdot r_c \cdot \sin(\alpha_0 + \varphi)$ де $\alpha_0 = \arctg \left[\frac{x_0 - c_1}{y_0 - y_0} \right]$ - кут нахилу радіус-вектора до вертикалі. Розрахунки ведуть для декількох положень конвертора (через 10-15°) і будують графік моментів (рис. 8, д).

2. Встановлюють висоту металу в конверторі, знаючи місткість і питома вага металу. Загальна висота буде (рис. 8, б):

$$h_M = h_C + h_K + h_{Ц},$$

де $h_K, h_C, h_{Ц}$ - висоти сегмента, конічної частини днища, циліндричної частини конвертора. Висота h_K и h_C беруть за кресленням, а $h_{Ц}$ - визначають за формулою: $h_{Ц} = V_{Ц} / F_{Ц}$ де $F_{Ц}$ - площа циліндричної частини; $V_{Ц} = V - V_C - V_K$ обсяг циліндричної частини; $V = G_M / \gamma$ загальний обсяг металу в конверторі; γ - питома вага металу.

3. Визначають центри тяжіння і об'єм або вагу металу для декількох положень конвертора. Для цього розбивають весь об'єм металу на окремі елементарні об'єми V_i (рис. 8, в). В даному випадку отримали об'єми сферичного сегмента V_C усіченого конуса V_H і ряд неправильних циліндричних сегментів $V_{ЦС}$. Величини V_C, V_H і їх центри тяжіння визначають за допомогою довідкової літератури. Неправильні циліндричні сегменти перетворюють на правильні шляхом відсікання і додавання рівноцінних обсягів металу. Такий сегмент показаний на рис. 8, м. Розрізняють два види сегментів: сегменти з центральним кутом менше 180° і сегменти з більше 180°. Для першої групи сегментів обсяг і відстані від осі конвертора до центру їх тяжіння визначаються за формулою: $V_{ЦС} = fR^2h; \quad l = b^3R / (2 \cdot f)$

а для другої групи - за формулами:

$$V'_{ЦС} = (2 - f')R^2 \cdot h; \quad l' = b^3R / [2(2 - f')]$$

де f, f' - одиничні площі основного і допоміжного (відсіченого) сегментів (обираються за довідковими таблицями залежно від θ, a, b).

Після визначення окремих обсягів знаходять їх сумарне значення V' і порівнюють з початковим об'ємом V (для випадку, коли ще метал не почав зливатися). Якщо $V' < V$, то лінію, що обмежує поверхню металу, проводять на кресленні вище (для цього розрахункова схема виконується строго в масштабі), і навпаки, якщо $V' > V$, то лінію проводять нижче і продовжують перерахунок до тих пір, поки ці обсяги не будуть рівні. Завдання спрощується лише тоді, коли метал почне зливатися через випускний отвір. У цьому випадку вже достатньо провести лінію поверхні металу від зливного отвору по його верхній кромці з відповідною величиною кута φ .

Після того, як визначилися з рівністю обсягів, знаходять координати відносно центру ваги металу за формулами:

$$X_M = \sum V_i \cdot x_i / \sum V_i; \quad Y_M = \sum V_i \cdot y_i / \sum V_i$$

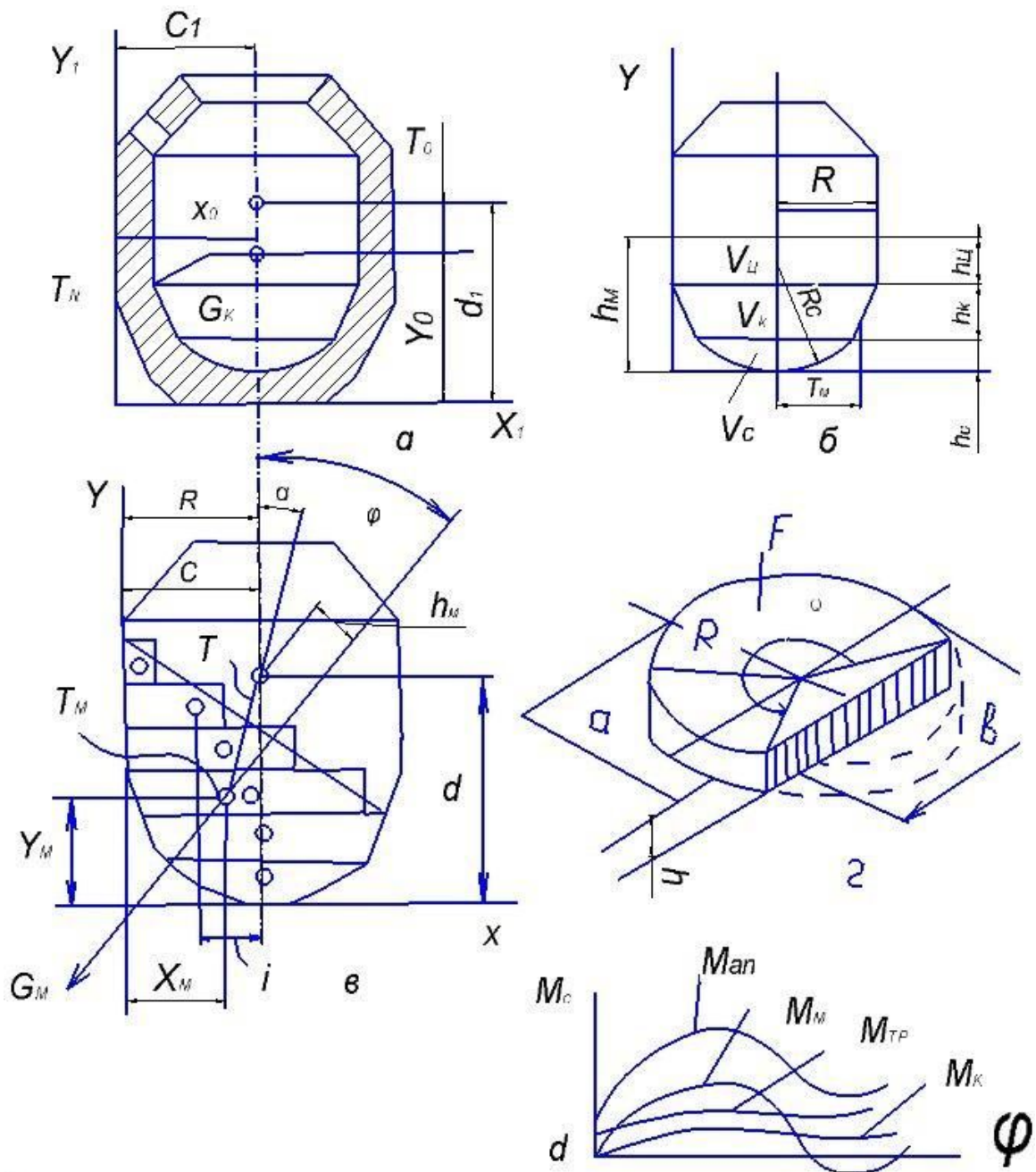


Рис. 8. До розрахунку приводу конвертора:

- а - до визначення моменту від ваги конвертора;
- б - до визначення висоти металу;
- в - до визначення моменту від ваги металу;
- г - циліндричний сегмент;
- д - графік статичного моменту

4. Визначають момент від ваги металу:

$$M_M = G_M \cdot r \cdot \sin(\varphi - \alpha)$$

$$r = \sqrt{(C - x_M)^2 + (C - Y_M)^2}, \quad \alpha = \arctg \frac{C - x_M}{C - Y_M}$$

За отриманими значеннями будують графік (рис. 8, д).

5. Визначають момент від сил тертя в цапфах для відповідних положень конвертора:

$$M_{mp} = Q \cdot m \cdot r_{ц}$$

де Q - повне навантаження на цапфи; m - коефіцієнт тертя ковзання; $r_{ц}$ - радіус цапф

6. Визначають загальний статичний момент на валу двигуна:

$$M_C = (M_K + M_M + M_{mp}) \cdot \eta$$

де i , η - загальне передавальне відношення і ККД приводу.

7. Здійснюють переклад залежності $M_C = f_1(\phi)$ в залежності $M_C = f_2(\phi)$

Далі розрахунок ведеться за відомою методикою.

5.1 Фурмені установки та їх розрахунок

Ці установки призначені для введення кисню в конвертор через водоохолоджувальну фурму, для вертикального і горизонтального переміщення, пов'язаних з подачею фурми всередину конвертора і заміною ушкодженої резервної фурми. Установки діляться на два основних типи - верхнього (над конвертором) і нижнього розташування (на робочому майданчику). Установки першого типу бувають стаціонарними, поворотними і пересувними, а другого - стаціонарними (консольно-поворотними або хитними). На рис. 9 показана схема поворотної установки. Вертикальне переміщення фурма отримує від канатного приводу через вертикально-рухливу колону. Для можливості повороту, фурма через рукав закріплена на поворотній головці, яка приводиться в дію через зубчасту передачу від електромеханічного приводу.

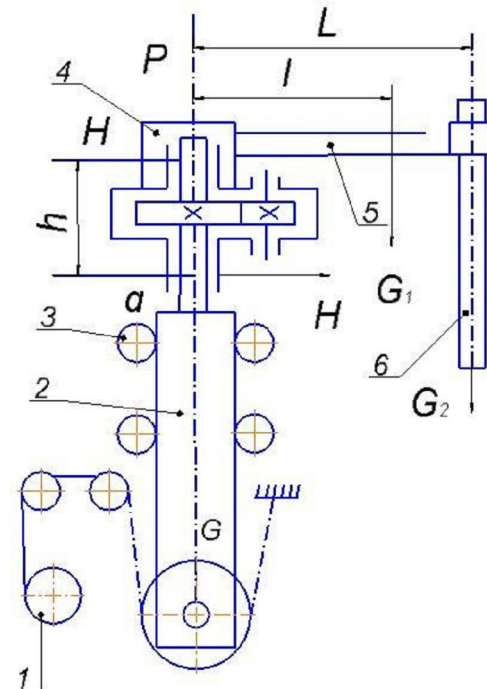


Рис. 9. Принципова і розрахункова схеми фурменної установки:

1 - лебідка; 2 - рухома колона; 3 - напрямні ролики; 4 - обертаюча голівка; 5 - рукав; 6 - фурма

У даній установці цікавий розрахунок механізму повороту фурми. Двигун тут обирають по статичному навантаженню, але з наступною перевіркою його на перевантаження з урахуванням статичного та динамічного навантаження. Потужність двигуна витрачається на подолання сил тертя в опорах. Момент від сил тертя:

$$M_{mp} = P \cdot \mu \cdot 0,5d_1 + 2H\mu \cdot 0,5d_2$$

де P, H - реакції у відповідних опорах; μ - коефіцієнт тертя ковзання; d_1, d_2 - діаметр відповідних цапф.

Для визначення P і H складають два рівняння статики:

$$\sum P_x = 0; \quad \sum M_0 = 0$$

Статичний момент на валу двигуна буде:

$$M_C = M_{mp} / (i \cdot \eta)$$

де i, η - загальне передавальне відношення і ККД приводу.

За отриманим значенням M_C визначають потужність і по довіднику обирають відповідний двигун.

Динамічний момент визначають за формулою

$$M_g = \left(\delta \frac{GD_{я}^2}{4q} + \frac{G_1 \cdot l^2}{q \cdot i^2 \cdot \eta} + \frac{G_2 \cdot L^2}{i^2 \cdot \eta} \right) \frac{\pi \cdot n}{30t_p \epsilon}$$

де G_1, G_2 - відповідно вага рукави і фурми; δ - коефіцієнт, що враховує маховий момент обертових частин, $t_{p(T)}$ - час розгону (гальмування) двигуна.

6 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ КОНВЕРТОРА

В якості прикладу розглянемо конвертор місткістю 60 т зі стаціонарним приводом і двома двигунами постійного струму МП-82, один з яких є резервним (однак при розрахунку враховується його маховий момент, так як він приєднаний до механізму). Вихідні дані (рис. 8): $G_K = 1,8$ МН, $G_M = 0,6$ МН, $X_0 = 2,17$ м. $U_0 = 2,83$ м, $C_1 = 2,17$ м. $d_1 = 2,92$ м, $C = 1,425$ м, $d = 2,23$ м, $R = 1,425$ м, $R_c = 5,19$ м, $\Gamma_K = 1,234$ м. $h_c = 0,15$ м, $h_K = 1,125$ м, $\gamma = 0,07$ МН/м³, $r_{Ц} = 0,375$ м, $i_0 = 564$, $n_{дв} = 47,5 \dots 475$ мин⁻¹ (діапазон регулювання обертів 1:10), $\eta = 0,8$, $\mu = 0,1$, $t_p = 2,5$ с, $t_T = 1,5$ с. Розрахунок ведемо в порядку, викладеному в п. 5, для $\varphi = 30^\circ$.

1. Відстань від центра ваги порожнього конвертора до осі його обертання (рис. 8, а) $r = d_1 - U_0 = 2,92 - 2,83 = 0,09$ м

Тоді момент від ваги конвертора

$$M_K = 1,8 \cdot 0,09 \cdot \sin 30^\circ = 1,8 \cdot 0,09 \cdot 0,5 = 0,081 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Аналогічні обчислення ведуться для інших значень φ . За результатами обчислень будують графік $M_K = f(\varphi)$ (рис. 8, д).

2. Висоту металу в конверторі визначаємо згідно зі схемою (рис. 8, б)

$$\text{Обсяг металу в конверторі } V_M = 0,6 / 0,07 = 8,57 \text{ м}^3.$$

Обсяг металу в циліндричній частині

$$V_{\text{ц}} = V_M - V_C - V_K = 8,57 - \frac{1}{3}\pi h_C^2 (R_C - h_C) - \frac{1}{3}\pi h_K (R^2 + Rr_K + r_K^2) =$$

$$8,57 - \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 (5,19 - 0,15) - \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 1,126 (4,23^2 + 1,425 \cdot 1,234 + 1,234^2) =$$

$$8,57 - 0,364 - 6,26 = 1,946 \text{ м}^3, \text{ площа } F_{\text{ц}} = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 1,425^2 = 4,806 \text{ м}^2$$

Тоді $h_{\text{ц}} = 1,946 / F_{\text{ц}} = 1,946 / 4,806 = 0,305 \text{ м}$.

повна висота $h_M = 0,15 + 1,125 + 0,305 = 1,58 \text{ м}$.

3. Схема до визначенні обсягу і центру тяжіння металу показана на рис. 10 і виконується строго в масштабі, оскільки по ній визначається ряд параметрів. Кут повороту конвертора для цього випадку також приймаємо $\varphi = 30^\circ$. Проводимо орієнтовно лінію поверхні металу і обсяг металу розбиваємо на окремі об'єми. З деякими припущеннями сегменти 1-8 замінюємо на циліндричні з радіусами R_i і стрілками a_i . Товщина сегментів для даного випадку $h = 0,2 \text{ м}$.

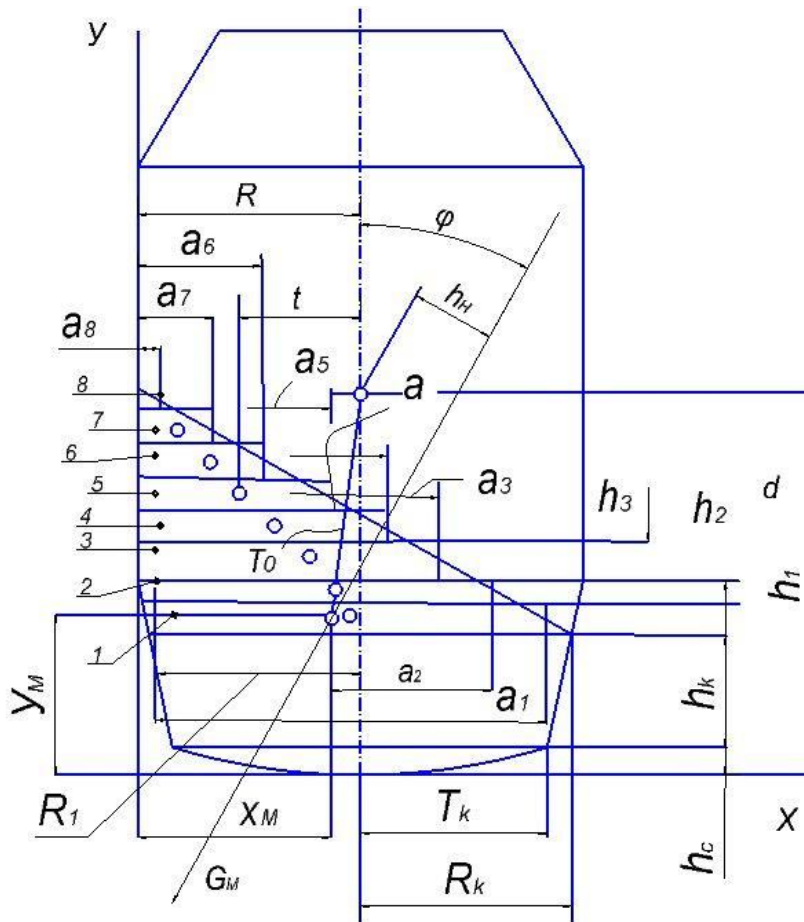


Рис. 10 До визначення моменту від ваги металу конвертора

Для прикладу обчислимо обсяги двох сегментів з центральним кутом $\theta < 180^\circ$ (сегмент 7) і $\theta > 180^\circ$ (сегмент 3). За значеннями $R_7 = 1,425 \text{ м}$ і $a_7 = 0,5$

(беруться зі схеми) та $a'_7 = a_7 / R_7 = 0,5 / 1,425 = 0,35$ і знаходимо з довідкової таблиці $b_7 = 1,52$ й $f_7 = 0,37$.

Тоді об'єм циліндричного сегменту 7 $V_{\text{ЦС}7} = 0,37 \cdot 1,425^2 \cdot 0,2 = 0,15 \text{ м}^3$.

Для визначення об'єму сегмента 3 необхідно знайти площу відсіченого сегмента f' і хорду b . У цьому випадку $R_3 = 1,425 \text{ м}$, $a_3 = 1,9 \text{ м}$, $b_3 = 1,88 \text{ м}$, $f' = 0,9$.

Тоді $V_{\text{ЦС}3} = (3,14 - 0,9) \cdot 1,425^2 \cdot 0,2 = 0,91 \text{ м}^3$

Аналогічним чином визначені $V_{\text{ЦС}1} = 1,16 \text{ м}^3$, $V_{\text{ЦС}2} = 1,04 \text{ м}^3$, $V_{\text{ЦС}4} = 0,72 \text{ м}^3$, $V_{\text{ЦС}5} = 0,512 \text{ м}^3$, $V_{\text{ЦС}6} = 0,322 \text{ м}^3$, $V_{\text{ЦС}8} = 0,027 \text{ м}^3$,

Обсяг металу восьми циліндричних сегментів

$V_{\text{ЦС}} = 1,16 + 1,04 + 0,91 + 0,72 + 0,512 + 0,322 + 0,15 + 0,027 = 4,841 \text{ м}^3$.

Обсяг металу в усіченому конусі (висота $h'_K = 0,65 \text{ м}$ та $R = 1,23 \text{ м}$ беруться зі схеми, а формула наведена вище)

$$V_K = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,65(1,23^2 + 1,234 \cdot 1,34 + 1,34^2) = 3,36 \text{ м}^3.$$

Об'єм сферичного сегмента при $\varphi = 30^\circ$ зберігається $V_C = 0,364 \text{ м}^3$.

Сумарний об'єм $V_{\text{мр}} = 0,364 + 3,36 + 4,841 = 8,565 \text{ м}^3$.

Так як розрахунковий об'єм $V_{\text{мр}} = 8,565 \text{ м}^3$ практично дорівнює фактичному $V_M = 8,57 \text{ м}^3$, тоді можна приступити до наступного етапу розрахунку - визначенню центра ваги металу.

Для тих же циліндричних сегментів (3 і 7) відстань від осі обертання конвертора до центрів їх тяжіння становить:

$$l_3 = \frac{1,88^3 \cdot 1,425}{12(3,14 - 0,9)} = 0,352 \text{ м} \quad l_7 = \frac{1,52^3 \cdot 1,425}{12 \cdot 0,37} = 1,127 \text{ м}.$$

Відповідно координати центрів ваги по осі X для цих сегментів:

$$X_{\text{ЦС}3} = 1,425 - 0,352 = 1,073 \text{ м} \quad X_{\text{ЦС}7} = 1,425 - 1,127 = 0,298 \text{ м}.$$

Аналогічним чином визначені $X_{\text{ЦС}1} = 1,372 \text{ м}$, $X_{\text{ЦС}2} = 1,230 \text{ м}$, $X_{\text{ЦС}4} = 0,909 \text{ м}$, $X_{\text{ЦС}5} = 0,705 \text{ м}$, $X_{\text{ЦС}6} = 0,51 \text{ м}$, $X_{\text{ЦС}8} = 0,089 \text{ м}$.

Координати центра ваги сегментів по осі Y:

$$Y_{\text{ЦС}1} = h_C + h'_K + h/2 = 0,15 + 0,65 + 0,2/2 = 0,9 \text{ м}$$

$$Y_{\text{ЦС}2} = Y_{\text{ЦС}1} + h = 0,9 + 0,2 = 1,1 \text{ м} \quad Y_{\text{ЦС}3} = Y_{\text{ЦС}2} + h = 1,1 + 0,2 = 1,3 \text{ м}$$

$$Y_{\text{ЦС}4} = 1,5 \text{ м}, Y_{\text{ЦС}5} = 1,7 \text{ м}, Y_{\text{ЦС}6} = 1,9 \text{ м}, Y_{\text{ЦС}7} = 2,1 \text{ м}, Y_{\text{ЦС}8} = 2,3 \text{ м}.$$

Координати загального центру ваги восьми сегментів:

$$X_{\text{ЦС}} = \frac{\sum V_{\text{ЦС}i} \cdot X_{\text{ЦС}i}}{\sum V_{\text{ЦС}i}} = 1,05 \text{ м}, \quad Y_{\text{ЦС}} = \frac{\sum V_{\text{ЦС}i} \cdot Y_{\text{ЦС}i}}{\sum V_{\text{ЦС}i}} = 1,21 \text{ м}$$

Координати центра ваги сферичного сегмента

$$Y_C = R_C - \frac{3}{4} \cdot \frac{(2R_C - h_C)^2}{3R_C - h_C} = 5,19 - \frac{3(2 \cdot 5,19 - 0,15)^2}{4 \cdot 3 \cdot 5,19 - 0,15} = 0,1 \text{ м},$$

усіченого конуса

$$Y_K = h_C + h'_K - \frac{h'_K}{4} \cdot \left(\frac{R_K^2 + 2R_r \cdot r_K + 3r_K^2}{R_K^2 + R_K \cdot r_K + r_K^2} \right) =$$
$$= 0,15 + 0,65 - \frac{0,65}{4} \cdot \left(\frac{1,34^2 + 2 \cdot 1,34 \cdot 1,23 + 3 \cdot 1,23^2}{1,34^2 + 1,34 \cdot 1,23 + 1,23^2} \right) = 0,48 \text{ м.}$$

Тоді координати центра ваги всього об'єму металу в конверторі будуть рівні:

$$X_M = \frac{\sum V_i \cdot X_i}{\sum V_i} = \frac{0,364 \cdot 1,425 + 3,36 \cdot 1,425 + 4,841 \cdot 1,05}{8,565} = 1,21 \text{ м,}$$

$$Y_M = \frac{\sum V_i \cdot Y_i}{\sum V_i} = \frac{0,364 \cdot 0,1 + 3,36 \cdot 0,48 + 4,841 \cdot 1,21}{8,565} = 0,875 \text{ м.}$$

4. Визначаємо відстань від центру ваги металу до осі обертання конвертора:

$$r = \sqrt{(1,425 - 1,21)^2 + (2,23 - 0,875)^2} = 1,375 \text{ м}$$

Та кут α нахилу від ваги металу складає:

$$\alpha = \arctg \frac{1,425 - 1,21}{2,23 - 0,875} = 8^\circ 58'.$$

Тоді момент від ваги металу складає:

$$M_M = 0,6 \cdot 1,375 \cdot \sin(30^\circ - 8^\circ 58') = 0,296 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

По ряду отриманих значень M_{Mi} будують графік $M_{тр} = f_1(\varphi)$ (рис. 8, д).

5. Момент від сил тертя в опорах.

$$M_{mp} = (G + G_M) \mu \cdot r_{Ц} = (1,8 + 0,6) \cdot 0,1 \cdot 0,375 = 0,09 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

По ряду отриманих значень $M_{три}$ будують графік $M_{тр} = f_1(\varphi)$ (рис. 8, д).

6. Загальний статичний момент, приведений до валу двигуна

$$M_C = \frac{0,081 + 0,296 + 0,09}{564 \cdot 0,8} = 1,035 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

По ряду отриманих значень M_C будують графік $M_C = f_1(\varphi)$ (рис. 12). На графіку зміна M_C при нахилі в бік зливу металу показана жирною лінією, а заміна M_C при поверненні конвертора у вихідне положення - пунктирною.

7. Для побудови навантажувальної діаграми слід перетворити залежність $M_C = f_1(\varphi)$ в залежність $M_C = f_2(t)$. З цією метою необхідно мати залежність яку отримують шляхом обчислення площі графіка кутової швидкості (рис. 11). Графічний метод перетворення залежності $M_C = f_1(\varphi)$ показаний на рис. 12.

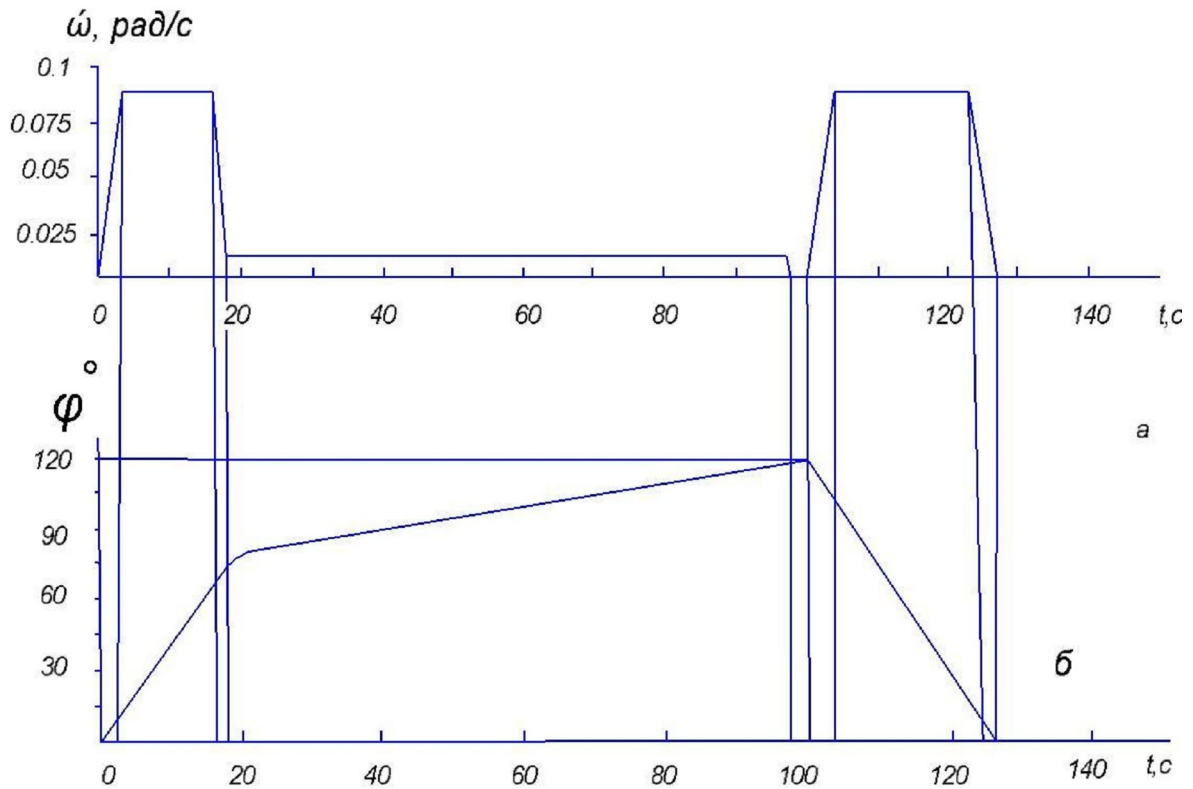


Рис. 11. Графіки $\omega = f(t)(\alpha)$ та $\varphi = f(t)(\delta)$

8. Динамічні моменти в період несталого руху при розгоні і гальмуванні двигуна:

$$M_{gp} = \frac{3200 \cdot 475}{375 \cdot 2,5} = 1,62 \text{ kH} \cdot \text{м} \quad M_{gt} = \frac{3200 \cdot 475}{375 \cdot 1,5} = 2,7 \text{ kH} \cdot \text{м}$$

9. За сумарною статичного та динамічного навантаження будемо навантажувальну діаграму двигуна $M_{gb} = f(t)$ (рис. 13).

10. Еквівалентний момент відповідно до діаграми становить:

$$M_{\text{экв}} = 888,7 \text{ H} \cdot \text{м}$$

При визначенні еквівалентного моменту $t_{\text{ну}}$ - час усталеного й уповільненого руху; $\beta_1 = 0,75$ и $\beta_2 = 0,5$ - коефіцієнти, що враховують погіршення умов охолодження двигуна на зниженій швидкості і при зупинках.

11. Еквівалентна потужність двигуна:

$$N_{\text{э}} = \frac{857,4 \cdot 475}{9550} = 44,2 \text{ кВт}$$

12. Остаточно обираємо двигун потужністю 50 кВт при $n = 475 \text{ мин}^{-1}$,
 $M_{\text{НОМ}} = 1005 \text{ Нм}$

13. Перевіряємо двигун на перевантаження (для двигунів типу МП

допустимий коефіцієнт $[\lambda] = 5 \dots 5,5$) по формулі:

$$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} \leq [\lambda]$$

в період розгону $\lambda = \frac{1080}{1005} = 2,07 < 5$,

в період гальмування $\lambda = \frac{2600}{1005} = 2,59 < 5$.

Як видно з обчислень, двигун потужністю 50 кВт в періоди розгону і гальмування має досить великий запас по перевантаженню.

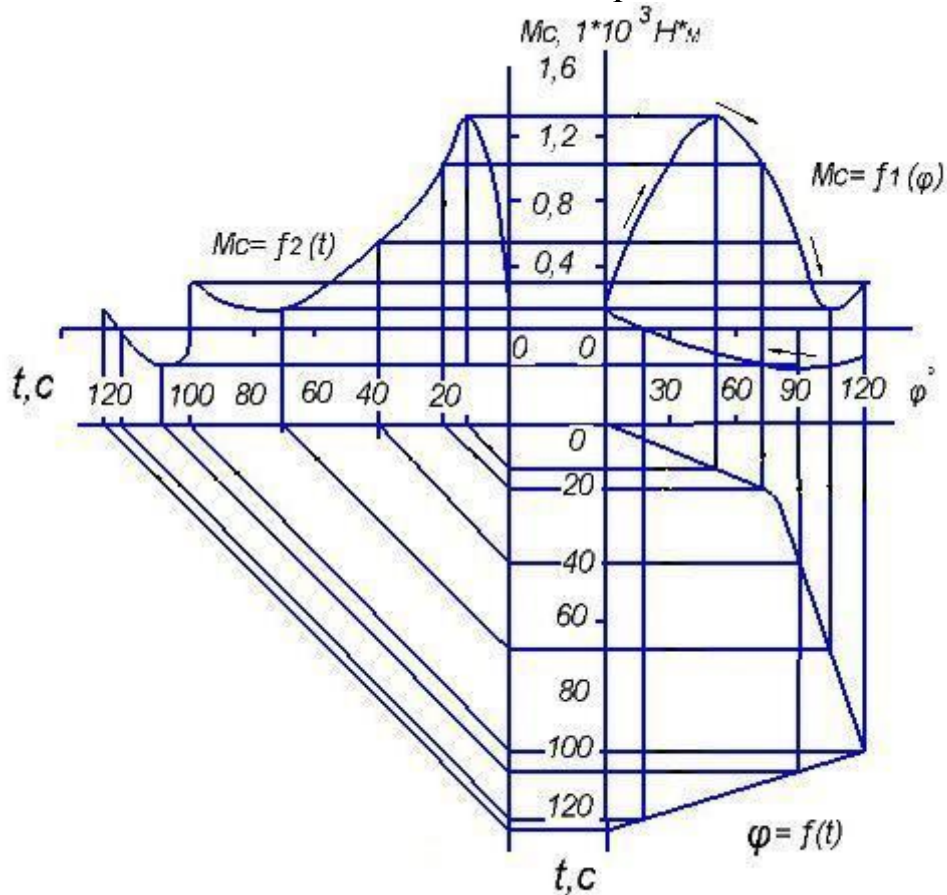


Рис. 12 До перетворення $M_c = f_1(\varphi)$ у $M_c = f_2(t)$

Фактична потужність двигуна складає 100 кВт і, отже, він має ще більший запас по перевантаженню. Встановити причину вибору двигуна такої потужності не представляється можливим через відсутність необхідних відомостей. У той же час, якби завдання зводилося до первинних розрахунків потужності, то перед визначенням динамічних навантажень слід було б визначити попередню еквівалентну потужність по статичному навантаженні з тим, щоб отримати орієнтовне значення махового моменту якоря двигуна.

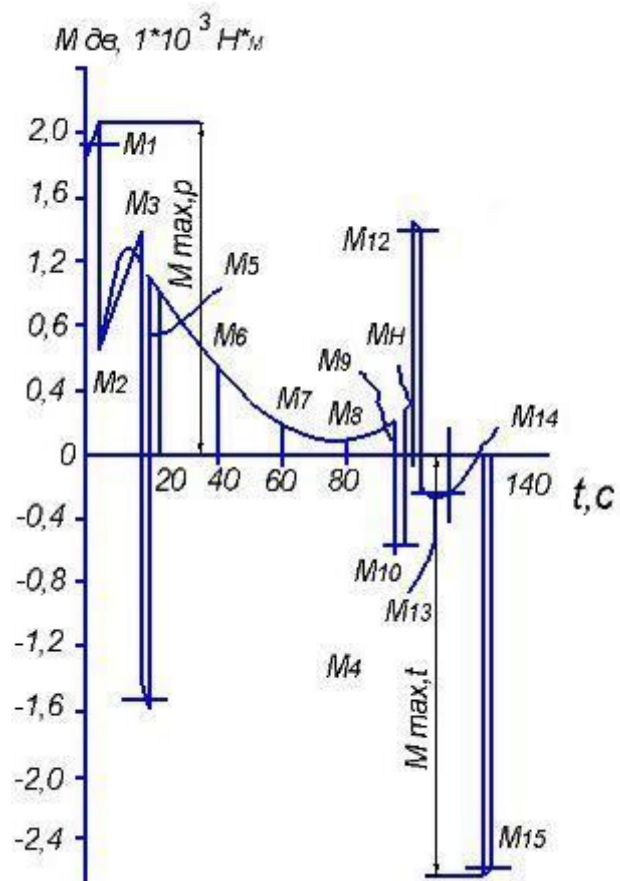


Рис. 13 Навантажувальна діаграма двигуна

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

величини	розмірність	варіанти					
		1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8
X_0	м	2,35	2,45	3,00	3,10	3,75	4,15
Y_0	м	2,81	3,15	2,80	2,60	3,40	3,70
C_1	м	2,35	2,45	3,00	3,10	3,75	4,15
d_1	м	2,90	3,20	3,00	3,05	3,70	4,10
C	м	1,60	1,70	2,30	2,35	3,00	3,40
d	м	2,20	2,50	2,75	3,00	3,20	4,40
R	м	1,60	1,70	2,30	2,35	3,00	3,40
R_C	м	2,71	2,40	2,51	2,55	3,00	9,60
r_K	м	1,3	1,3	1,75	1,8	2	2,25
h_C	м	0,4	0,45	0,71	0,75	0,78	0,25
h_K	м	0,6	0,6	0,86	0,86	0,9	I
γ	МН/м ³	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
$r_{Ц}$	м	0,4	0,9	0,4	0,95	0,375	1,2
i_0	-	564	471	564	471	471	564
n_{gb}	мин ⁻¹	475	475	475	475	475	475
η	-	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85
μ	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
t_p	с	2,5	2,6	2,7	3	3,1	3,5
t_T	с	1,5	1,7	2	2,2	2,5	2,5

Додаткові варіанти

№ п/п	G_K , МН	G_M , МН	№ п/п	G_K , МН	G_M , МН
1	1,6	0,42	6	11,5	2,35
2	1,9	0,52	7	4,5	0,95
3	1,7	0,46	8	4,8	1,05
4	2,0	0,58	9	5,0	1,15
5	4,1	0,80	10	12,0	2,4

8 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

5.1. Поясніть призначення і принцип дії вертикального конвертора.

5.2. Замалюйте схему конвертора і поясніть будову і призначення його основних вузлів і механізмів.

5.3. Замалюйте схеми механізмів повороту конверторів зі стаціонарним і напівнавісним приводами.

5.4. Поясніть призначення демпферів і принцип їх дії, як змінюється величина наведеної жорсткості при послідовній і паралельній установці пружних елементів.

5.5. Перерахуйте і проаналізуйте переваги навісних приводів.

5.6. Опишіть послідовність монтажу навісного приводу і перерахуйте необхідні для цього оснастки і обладнання.

5.7. Викладіть методику визначення потужності двигуна механізму повороту конвертора.

5.8. Замалюйте принципову схему фурменої установки, поясніть її пристрій і принцип дії.

5.9. Викладіть методику визначення потужності двигуна механізму повороту фурми.

5.10. Дайте оцінку конвертора з екологічної точки зору.

ДОДАТКИ

Довжина дуги, стрілка, довжина хорди і площа сегмента для радіуса, рівного одиниці.

Центральний кут α°	Довжина дуги, l	Стрілка, h	$\frac{l}{h}$	Довжина хорди, a	$\frac{a}{h}$	Площа сегмента
1	0,0175	0,0000	458,37	0,0175	458,36	0,00000
2	0,0349	0,0002	229,19	0,0349	229,18	0,00000
3	0,0524	0,0003	152,80	0,0524	152,78	0,00001
4	0,0698	0,0006	114,60	0,0698	114,58	0,00003
5	0,0873	0,0010	91,69	0,0872	91,66	0,00006
6	0,1047	0,0014	76,41	0,1047	76,38	0,00010
7	0,1222	0,0019	65,50	0,1221	65,46	0,00015
8	0,1396	0,0024	57,32	0,1395	57,27	0,00023
9	0,1571	0,0031	50,96	0,1569	50,90	0,00032
10	0,1745	0,0038	45,87	0,1743	45,81	0,00044
11	0,1920	0,0046	41,70	0,1917	41,64	0,00059
12	0,2094	0,0055	38,23	0,2091	38,16	0,00076
13	0,2269	0,0064	35,30	0,2264	35,22	0,00097
14	0,2443	0,0075	32,78	0,2437	32,70	0,00121
15	0,2618	0,0086	30,60	0,2611	30,51	0,00149
16	0,2793	0,0097	28,69	0,2783	28,60	0,00181
17	0,2967	0,0110	27,0,1	0,2956	26,91	0,00217
18	0,3142	0,0123	25,52	0,3129.	25,41	0,00257
19	0,3316	0,0137	24,18	0,3301	24,07	0,00302
20	0,3491	0,0152	22,98	0,3473	22,86	0,00352
21	0,3665	0,0167	21,89	0,3645	21,77	0,00408
22	0,3840	0,0184	20,90	0,3816.	20,77	0,00468
23	0,4014	0,0201.	20,00,	0,3987	19,86	0,00535
24	0,4189	0,0219	19,17	0,4158	19,03	0,00607
25	0,4363	0,0237	18,41 .	0,4329	18,26	0,00686
26	0,4538	0,0256	17,71	0,4499	17,55	0,00771
27	0,4712	0,0276	17,06	0,4669	10,90	0,00862
28	0,4887	0,0297	16,45	0,4838	16,29	0,00961
29	0,5061	0,0319	15,89	0,5008	15,72	0,01067
30	0,5236	0,0341	15,37	0,5176	15,19	0,01180
31	0,5411	0,0364	14,88	0,5345	14,70	0,01301
32	0,5585	0,0387	14,42	0,5513	14,23	0,01429
33	0,5760	0,0421	13,99	0,5680	13,79	0,01566
34	0,5934	0,0437	13,58	0,5847	13,38	0,01711
35	0,6109	0,0463	13,20	0,6014	12,99	0,01864
36	0,6283	0,0489	12,84	0,6280	12,63	0,02027

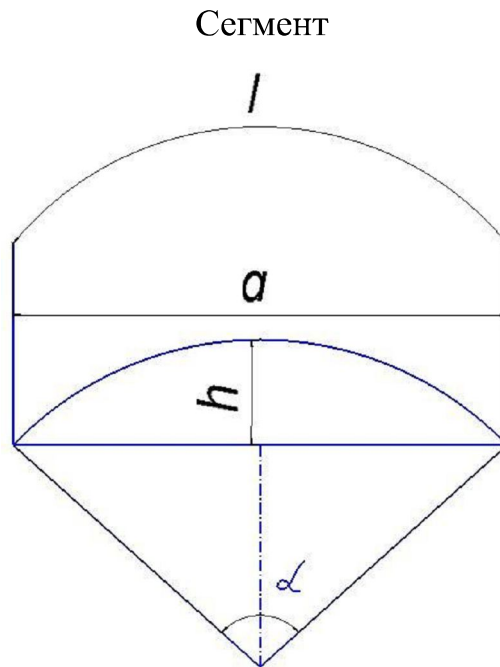
37	0,6458	0,0517	12,50	0,6346	12,28	0,02198
38	0,6632	0,0545	12,17	0,6511	11,95	0,02378
39	0,6807	0,0574.	11,87	0,6676	11,64	0,02568
40	0,6981	0,0603	11,58	0,6840	11,34	0,02767
41	0,7156	0,0633	11,30	0,7004	11,06	0,02976
42	0,7330	0,0664	11,04	0,7167	10,79	0,03195
43	0,7505	0,0696	10,79	0,7330	10,53	0,03425
44	0,7679	0,0728,	10,55	0,7492	10,29	0,03664
45	0,7854	0,0761	10,32	0,7654	10,05	0,03915
46	0,8029	0,0795	10,10	0,7815'	9,83	0,04176
47	0,8203	0,0829	9,89	0,7975	9,62	0,04448
48	0,8378	0,0865	9,69	0,8135	9,41	0,04731
49	0,8552	0,0900	9,50	0,8294	9,21	0,05025
50	0,8727	0,0937	9,31	0,8452	9,02	0,05331
51	0,8901	0,0974	9,14	0,8610	8,84	0,05649
52	0,9076	0,10;2	8,97	0,8767	8,66	0,05978
53	0,9250	0,1051	8,80	0,8924	8,49	0,06319
54	0,9425	0,1090	8,65	0,9080	8,33	0,06673
55	0,9599	0,1130	8,50	0,9235	8,17	0,07039
56	0,9774	0,1171'	8,35	0,9389	8,02	0,07417
57	0,9948	0,1212	8,21	0,9543	7,86	0,07808
58	1,0123	0,1254	8,07	0,9696	7,73	0,08212
59	1,0297	0,1296	7,94	0,9848	7,60	0,08629
60	1,0472	0,1340	7,82	1,0000	7,46	0,09059
61	1,0647	0,1384	7,69	1,0151	7,34	0,09502
62	1,0821	0,1428	7,58	1,0301	7,21	0,09958
63	1,0996	0,1474	7,46	1,0450	7,09	0,10428
64	1,1170	0,1529	7,35	1,0598	6,97	0,10911
65	1,1345	0,1566	7,24	1,0746	6,86	0,11408
66	1,1519	0,1613.	7,14	1,0893	6,75	0,11910
67	1,1694	0,1661	7,04	1,1039	6,65	0,12443
68	1,1868	0,1710	6,94	1,1184	6,64	0,12982
69	1,2043	0,1759	6,85	1,1328	6,44	0,13535
70	1,2217	0,1808	6,76	1,1472	6,34	0,14102
71	1,2392	0,1859	6,67	1,1614	6,25	0,14683
72	1,2566.	0,1910	6,58	1,1756	6,16	0,15279
73	1,2741	0,1961	6,50	1,1896	6,07 .	0,15889
74	1,2915	0,2014	6,41	1,2036	5,98	0,16514
75	1,3090	0,2066	6,33	1,2175	5,89	0,17154
76	1,3265	0,2120	6,26	1,2313	5,81	0,17806
77	1,3439	0,2174	6,16	1,2450	5,73	0,18477
78	1,3614	0,2229	6,11	1,2586	5,65	0,19160
79	1,3788	0,2284	6,04	1,2722	5,57	0,19859
80	1,3963	0,2340	5,97	1,2856	5,49	0,20573
81	1,4137	0,2396	5,90	1,2989	5,42	0,21301

82	1,4312	0,2453	5,83	1,3121	5,35	0,22045
83	1,4486	0,2510	5,77	1,3252	5,28	0,22804
84	1,4661	0,2569	5,71	1,3383	5,21	0,23578
85	1,4835	0,2627	5,65	1,3512	5,14	0,24367
86	1,5010	0,2686	5,59	1,3640	5,08	0,25171
87	1,5184	0,2746	5,53	1,3767	5,01	0,25990
88	1,5359	0,2807	5,47	1,3893	4,95	0,26825
89	1,5533	0,2867	5,42	1,4018	4,89	0,27675
90	1,5708	0,2929	5,36	1,4142	4,83	0,28540
91	1,5882	0,2991	5,31	1,4265	4,77	0,29420
92	1,6057	0,3053	5,26	1,4387	4,71	0,30316
93	1,6232	0,3116	5,21	1,4507	1,66	0,31226
94	1,6406	0,3180	5,16	1,4627	4,60	0,32152
95	1,6582	0,3244	5,11	1,4746	4,55	0,33093
96	1,6755	0,3309	5,06	1,4863	4,49	0,34050
97	1,6930	0,3374	5,02	1,4979	4,44	0,35021
98	1,7104	0,3439	4,97	1,5094	4,39	0,36008
99	1,7279	0,3506	4,93	1,5208	4,34	0,37009
100	1,7453	0,3572	4,89	1,5321	4,29	0,38026
101	1,7668	0,3639	4,84	1,5432	4,24	0,39058
102	1,7802	0,3707	4,80	1,5543	4,19	0,40104
103	1,7977	0,3775	4,76	1,5652	4,15	0,41166
104	1,8151	0,3643	4,72	1,5760	4,10	0,42242
105	1,8326	0,3912	4,68	1,5867	4,06	0,43333
106	1,8500	0,3982	4,65	1,5973	4,01	0,44439
107	1,8675	0,4052	4,61	1,6077	3,97	0,45560
108	1,8850	0,4122	4,57	1,6180	3,93	0,46695
109	1,9024	0,4193	4,54	1,6282	3,88	0,47845
110	1,9199	0,4264	4,50	1,6383	3,84	0,49008
111	1,9373	0,4336	4,47	1,6483	3,80	0,50187
112	1,9548	0,4408	4,43	1,6581	3,76	0,51379
113	1,9722	0,4481	4,40	1,6678	3,72	0,52586
114	1,9897	0,4554	4,37	1,6773	3,68	0,53806
115	2,0071	0,4627	4,34	1,6868	3,65	0,55041
116	2,0246	0,4701	4,31	1,6961	3,61	0,56289
117	2,0420	0,4775	4,28	1,7053	3,57	0,57551
118	2,0595	0,4850	4,25	1,7143	3,53	0,58827
119	2,0769	0,4925	4,22	1,7233	3,50	0,60116
120	2,0944	0,5000	4,19	1,7321	3,46	0,61418
121	2,1118	0,5076	4,16	1,7407	3,43	0,62734
122	2,1293	0,5152	4,13	1,7492	3,40	0,64063
123	2,1468	0,52 8	4,11	1,7576	3,36	0,65404
124	2,1642	0,5305	4,08	1,7659	3,33	0,66759
125	2,1817	0,5383	4,05	1,7740	3,30	0,68125
126	2,1991	0,5460	4,03	1,7820	3,26	0,69505

127	2,2166	0,5538	4,00	1,7899	3,23	0,70897
128	2,2340	0,5616	3,98	1,7976	3,23	0,72301
129	2,2515	0,5695	3,95	1,8052	3,17	0,73716
130	2,2689	0,5772	3,93	1,8126	3,14	0,75144
131	2,2864	0,5853	3,91	1,8299	3,11	0,76584
132	2,3038	0,5933	3,88	1,8271	3,09	0,78034
133	2,3213	0,6013	3,86	1,8341	3,05	0,79497
134	2,3387	0,6093	3,84	1,8410	3,02	0,80970
135	2,3562	0,6173	3,85	1,8478	2,99	0,82454
136	2,3736	0,6254	3,80	1,8544	2,97	0,83949
137	2,3211	0,6335	3,77	1,8608	2,94	0,85455
138	2,4086	0,6416	3,75	1,8672	2,91	0,86971
139	2,4260	0,6498	3,73	1,8733	2,88	0,88479
140	2,4435	0,6580	3,71	1,8794	2,86	0,90034
141	2,4609	0,6662	3,69	1,8853	2,03	0,91580
142	2,4784	0,6744	3,67	1,8910	2,80	0,93135
143	2,4958	0,6827	3,66	1,8966	2,78	0,94700
144	2,5133	0,6910	3,64	1,9021	2,75	0,96274
145	2,5307	0,6993	3,62	1,9074	2,73	0,97856
146	2,5482	0,7076	3,60	1,9126	2,70	0,99449
147	2,5656	0,7160	3,58	1,9176	2,68	1,01050
148	2,5831	0,7244	3,57	1,9225	2,65	1,02658
149	2,6005	0,7328	3,55	1,9273	2,63	1,04275
150	2,6180	0,7412	3,53	1,9319	2,61	1,05900
151	2,6354	0,7496	3,52	1,9363	2,58	1,07532
152	2,6529	0,7581	3,50	1,9406	2,56	1,09171
153	2,6704	0,7666	3,48	1,9447	2,54	1,10818
154	2,6878	0,7750	3,47	1,9487	2,51	1,12472
155	2,7053	0,7836	3,45	1,9526	2,49	1,14132
156	2,7227	0,7921	3,44	1,9563	2,47	1,15799
157	2,7402	0,8006	3,42	1,9598	2,45	1,17472
158	2,7576	0,8092	3,41	1,9633	2,43	1,19151
159	2,7751	0,8178	3,39	1,9665	2,40	1,20835
160	2,7925	0,8264	3,38	1,9696	2,38	1,22525
161	2,8100	0,8350	3,37	1,9726	2,36	1,24221
162	2,8274	0,8436	3,35	1,9754	2,34	1,25921
163	2,8449	0,8522	3,34	1,9780	2,32	1,27626
164	2,8623	0,8608	3,33	1,9805	2,30	1,29335
165	2,8798	0,8695	3,31	1,9829	2,28	1,31049
166	2,8972	0,8781	3,30	1,9851	2,26	1,32766
167	2,9147	0,8868	3,29	1,9871	2,24	1,34487
168	2,9322	0,8955	3,27	1,9890	2,22	1,36212
169	2,9496	0,9042	3,26	1,9908	2,20	1,37940
170	2,9671	0,9128	3,25	1,9924	2,16	1,39671
171	2,9845	0,9215	3,24	1,9938	2,16	1,41404

172	3,0020	0,9302	3,23	1,9951	2,14	1,43140
173	3,0194	0,9477	3,22	1,9963	2,13	1,44378
174	3,0369	0,9477	3,20	1,9973	2,1	1,46617
175	3,0543	0,9564	3,19	1,9961	2,09	1,48359
176	4,0718	0,9651	3,18	1,9988	2,07	1,50101
177	3,0892	0,9738	3,17	1,9993	2,05	1,51845
178	3,1067	0,9825	3,16	1,9997	2,04	1,53589
179	3,1241	0,9913	3,15	1,9999	2,02	1,55334
180	3.1416	1,0000	3.14	2,0000	2,00	1,57080

Примітка. Додаток містить дані, що відносяться до різних сегментів одного і того ж кола радіуса, рівного одиниці. Якщо довжина радіуса дорівнює r , то табличні значення l , h і a повинні бути помножені на r , а площа сегмента на r^2 . Якщо задається довжина дуги l (або хорда a) і стрілка h , то радіус сегмента дорівнює відношенню l (або a) до табличному значенню довжини дуги або хорди, що відповідає даному значенню l/h (або a/h).



ЛІТЕРАТУРА

1. Машины и агрегаты металлургических заводов: Учебник для вузов: В 3-х т. / А. И. Целиков, П. И. Лопухин, В. М. Гребеник. - М.: Металлургия, Т. 2 Машины и агрегаты сталеплавильных цехов, 1988. - 432 с.
2. Кохан Л. С, Сапко А. И., Жук А. Я. Механическое оборудование заводов цветной металлургии: учеб. Для вузов: В 3 ч. - Ч. 2- Механическое оборудование цехов для производства цветных металлов: - М.: Металлургия, 1988 - 312 с.
3. Расчет металлургических машин и механизмов/ В.М. Гребеник, Ф.К. Иванченко, В.И. Ширяев.- К.: Выща шк.. Головное из-во, 1988.- 448с.
4. Механическое оборудование металлургических заводов. Механическое оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов: Учеб. для вузов / В.М. Гребеник, А. И. Сапко, Л.А. Демьянец и др.-Киев: Выща школа, 1980, - 256 с.
5. Сапко А. И. Механическое и подъемно-транспортное оборудование электрометаллургических цехов. - М.: Металлургия, 1986. - 328 с.
6. Сапко А.И. Механическое оборудование цехов спецэлектрометаллургии. – М.: Металлургия, 1983. – 200 с.
7. Механическое оборудование металлургических заводов. Механическое оборудование конвертерных и мартеновских цехов: Учеб. для вузов / В.М. Гребеник, Ф.К. Иванченко, Б.А. Павленко и др.-Киев: Выща школа, 1990, - 288 с.
8. Методические указания и контрольные задания по теме «Оборудование конвертерных цехов» А.Я. Жук, И.Ю Кутина. - Запорожье : ЗИИ, 1991.- 24с.
9. Методические указания и контрольные задания по курсу «Механическое оборудование металлургических заводов». Раздел «Исполнительные механизмы электродуговых плавильных и рафинировочных печей ». А.Я.Жук, И.Ю Кутина. - Запорожье : ЗИИ, 1991.-20 с.