

## РОЗРАХУНОК ПРОФІЛЮ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

Доменна піч - безперервно працюючий металургійний агрегат шахтного типу, принцип роботи якого заснований на протитечії шихтових матеріалів і гарячих газів.

Особливістю сучасного доменного виробництва є значне збільшення одиничної потужності агрегатів з одночасним вдосконаленням конструкцій і устаткування як самих доменних печей, так і допоміжних споруд.

В даний час працюють доменні печі (ДП) корисним об'ємом від 5000 м<sup>3</sup> до 5500 м<sup>3</sup>, з надмірним тиском газу на колошнику до 245 кПа, температурою гарячого дуття 1350...1400°C, збагаченням його киснем до 35% і використанням різних вуглецевоотримуючих добавок. Збільшення абсолютних вират шихтових матеріалів і кількості чавуну, що досягає в даний час 10000...11000 т/доб., зумовило великі зміни в конструктивних рішеннях всього комплексу доменної печі.

Профіль доменної печі – це внутрішній контур робочого простору у вертикальному перетині. Профіль печі ділиться на п'ять частин, відмінних одна від іншої формою і технологічним призначенням:

- колошник;
- шахта;
- розпар;
- заплечики;
- горн.

Оскільки розпал футеровки починається з моменту введення печі в експлуатацію, профіль її не є постійним.

Розрізняють профілі проектний (розрахунковий) і робочий, який стабілізується залежно від умов роботи і конструктивних особливостей печі, зокрема від системи охолодження. Робочий профіль як контур “робочого простору” печі іноді значно відрізняється від проектного. Це не виключає вплив останнього на хід доменної печі та техніко-економічні показники її роботи. Чим

правильніше розрахований профіль печі, тим краще використання хімічної і фізичної енергії газів, рівніше хід печі, рівномірніше розпал футеровки і більше стабільність співвідношень основних розмірів робочого і проектного профілів.

При нерівномірному розпалі футеровки, тобто при спотворенні профілю, продуктивність печі знижується, а витрата коксу збільшується.

Поєднання цих умов дає можливість одержати раціональний профіль, що забезпечує швидке досягнення після задування печі проектних показників і велику її продуктивність для даних конкретних умов виробництва.

На рис. 1. приведений профіль доменної печі з позначеннями основних розмірів, що застосовуються в розрахунках.

Розміри профілю доменної печі розраховуються за методами М.А. Павлова і А.Н. Рамма (рис.2).

В даний час при проектуванні нових доменних печей використовується єдиний метод розрахунку профілю - метод Діпромеца (проф. А.Н. Рамма).

## **1. РОЗРАХУНОК ПРОФІЛЮ ПО МЕТОДУ АКАДЕМІКА М.А. ПАВЛОВА**

Початкові дані:

- добова продуктивність печі (Р) - 3700 т/доб;

- коефіцієнт використання корисного об'єму печі (КІПО) – 0,35...  
0,55 м<sup>3</sup> доб/т. Приймаємо 0,4 м<sup>3</sup>.доб/т;

- відносна витрата коксу ( $K^1$ ) – 0,300...0,550 т/т чавуну.

Приймаємо 0,430 т/т чавуну;

- інтенсивність горіння коксу (Іх) - 0,9...1,1 т/м<sup>3</sup>.доб.

Приймаємо 0,70 т/м<sup>3</sup> доб;

- витрата природного газу (VГ) -100 м<sup>3</sup>/т чавуну;

- сумарний прихід вуглецю ( $\Sigma C$ ) - 0,48 т/т чавуну.

Данні основних розмірів профілю доменних печей різного об'єму приведені в табл.1.

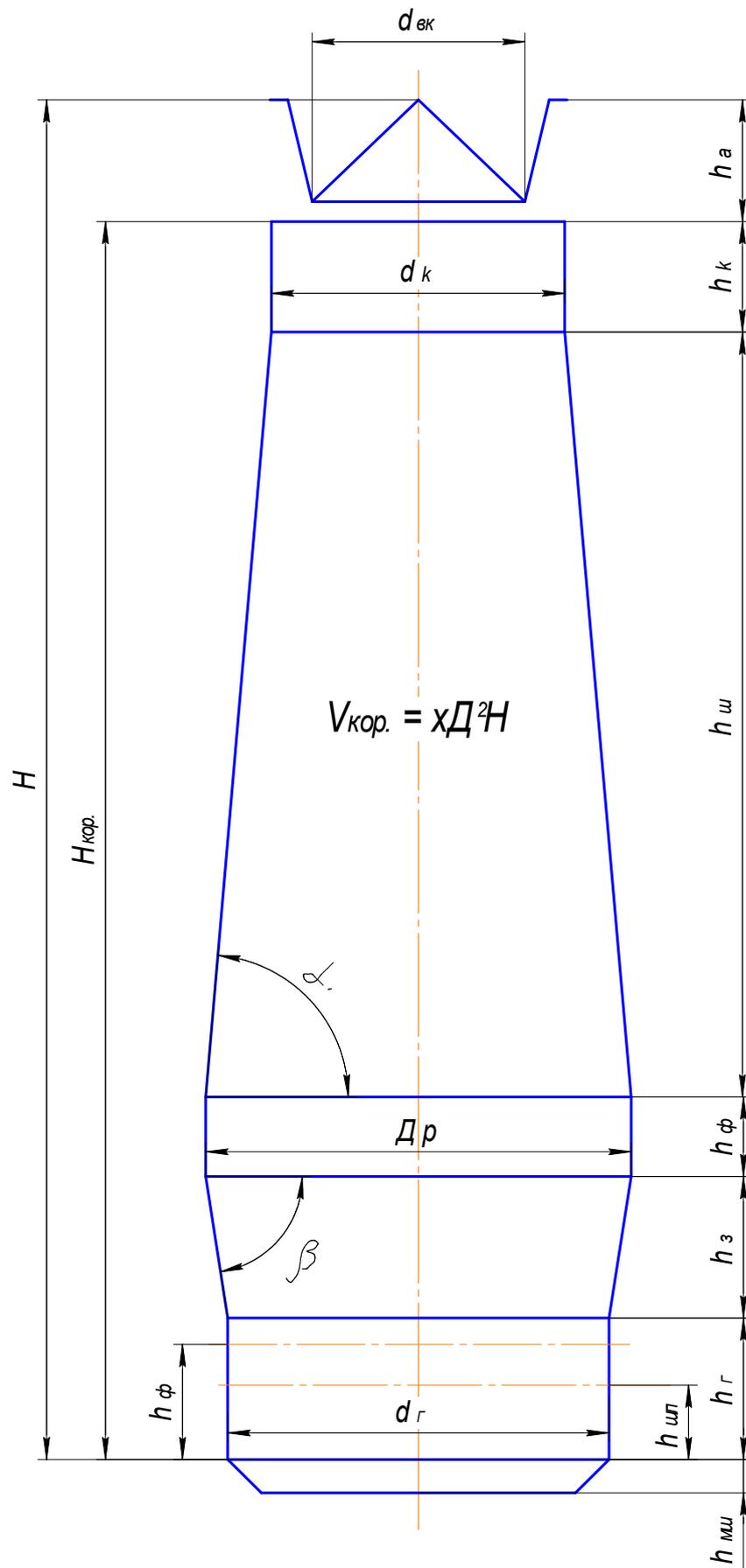


Рис.1. Профіль доменної печі

На сьогоднішній день прийняті наступні найменування і позначення елементів профілю доменної печі:

$H$  – повна висота печі, м (відстань між рівнями вісі чавунної льотки і верху опорного кільця на колошнику, несучого чашу засипного апарату);

$H_{кор}$  – корисна висота печі, м (відстань від рівня чавунної льотки до рівня нижньої кромки великого конуса в опущеному положенні);

$V_{кор}$  – корисий об'єм печі,  $m^3$  (об'єм, обмежений корисною висотою);

$D_p$  – діаметр розпара, м;

$d_g$  – діаметр горна, м;

$d_k$  – діаметр колошника, м;

$d_{вк}$  – діаметр великого конуса, м;

$h_g$  – висота горна, м (відстань від вісі чавунної льотки до нижньої кромки заплечиків);

$h_z$  – висота заплечиків;

$h_p$  – висота розпару;

$h_{ш}$  – висота шахти, м;

$h_k$  – висота колошника, м;

$h_a$  – висота засипного апарату, м;

$h_{ф}$  – відстань від вісі чавунної льотки до вісі повітряних фурм, м;

$h_{шл}$  – відстань від вісі чавунної льотки до вісі шлакової льотки, м;

$h_{мш}$  – висота мертвого шару, м (відстань від вісі чавунної льотки до лещаді);

$\alpha$  – кут нахилу шахти до горизонту, град.;

$\beta$  – кут нахилу заплечиків до горизонту, град.

Визначення корисного об'єму доменної печі:

$$V_{кор} = K_{IPO} \cdot P, \quad (1)$$

$$V_{кор} = 0,4 \cdot 3700 = 1480 m^3.$$

Для подальших розрахунків об'єм печі  $V_n$  приймаємо рівним  $1513 m^3$ .

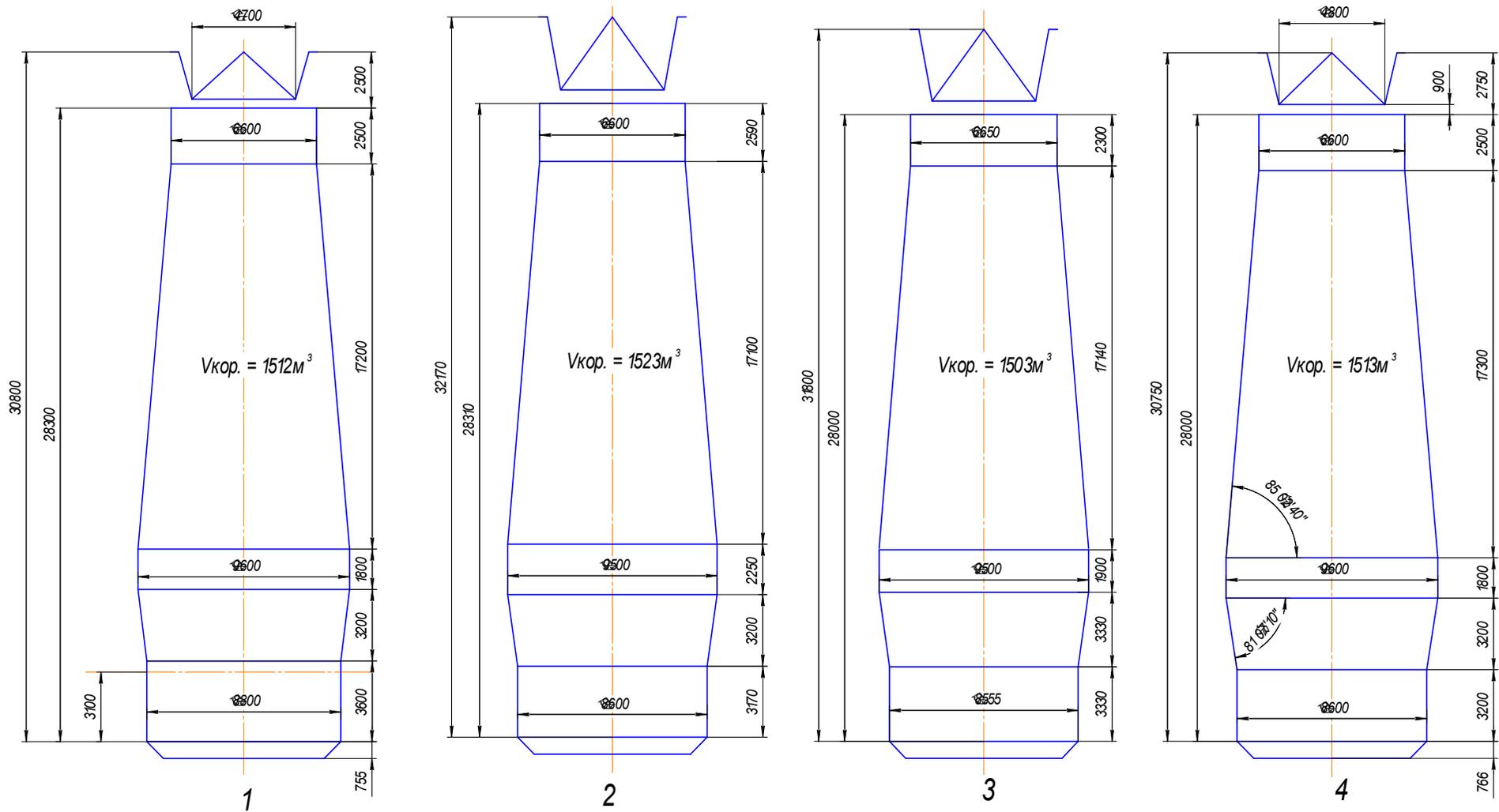


Рис. 2. Профілі, розраховані за методами академіка М.А. Павлова (а), А.Н. Рамма (б – нормальний профіль, в – геометрично подібний профіль) і Діпромеза (г)

Таблиця 1 - Основні розміри профілю доменних печей СНД

Розміри профілю	Корисний об'єм печі, м <sup>3</sup>											
	1033	1386	1513	1719	2000	2300	2700	3000	3200	5000	5500	
Висота, мм:												
повна Н	28700	31225	30750	31250	32358	33150	33650	34950	35290	36100	35500	
корисна Н <sub>пол</sub>	26000	27300	28000	28500	29400	30200	31200	32200	32190	33500	34800	
горна h <sub>г</sub>	3200	3200	3200	3200	3600	3800	3900	3900	3900	4400	5700	
запличиків h <sub>з</sub>	3000	3200	3200	3000	3000	3200	3400	3200	3400	3700	3700	
розпару h <sub>р</sub>	2000	2000	1800	2000	1700	1700	2200	2000	2300	1700	2000	
шахти h <sub>ш</sub>	15000	16000	17300	17800	18200	19000	18700	20100	19600	20700	20400	
колошника h <sub>к</sub>	2800	2900	2500	2500	2900	2500	3000	3000	2990	3000	3000	
“мертвого шару“	600	450	766	1099	1101	-	1699	1740	-	1113	1200	
Діаметр, мм:												
горна d <sub>г</sub>	7200	8200	8600	9100	9750	10500	11000	11600	12000	14700	15100	
розпару D <sub>р</sub>	8200	9300	9600	10200	10900	11700	12300	12800	13100	16100	16500	
колошника d <sub>к</sub>	5800	6500	6600	6900	7300	7300	8100	8400	8900	10800	11200	
великого конуса	4200	4800	4800	5000	5400	5400	6200	6500	7000	-	-	
Колошниковий зазор, мм.	800	850	900	950	950	950	950	950	950	-	-	
Кут нахилу:												
шахти	85°25'34"	84°59'52"	85°02'40"	84°42'14"	84°21'06"	83°23'47"	83°35'33"	83°45'14"	83° 53'	82°42'17"	82°35'55"	
запличиків	80°32'15"	80°14'51"	81°07'10"	79°36'40"	79°09'	79°22'49"	79°10'38"	79°22'49"	80° 49'	79°17'13"	79°17'13"	
Відносна величина:												
H <sub>пол</sub> : D <sub>р</sub>	3,18	2,94	2,92	2,79	2,70	2,68	2,64	2,51	2,46	2,08	2,11	
dk: D <sub>р</sub>	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,63	0,66	0,656	0,675	0,67	0,629	
D <sub>р</sub> : d <sub>г</sub>	1,14	1,13	1,12	1,12	1,12	1,11	1,12	1,12	1,09	1,095	1,095	
Кількість:												
повітряних фурм	16	16	18	18	20	20	20	28	28	36	40	
чавунних льоток	1	1	1	1	1(2)	2	2	3	4	4	4	
шлакових льоток	2	2	2	2	2	2	2	1	1	-	-	

## Розрахунок висоти печі

Повна висота доменної печі:

$$H = \sqrt[3]{\frac{V_n Z^2}{X}}, \quad (2)$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{1513 \cdot 3,2^2}{0,53}} = 30,8 \text{ м},$$

де  $X$  – коефіцієнт об'єму (для циліндра  $X=0,785$ ), що враховує відхилення профілю печі від циліндра;  $H$  – повна висота доменної печі, м;  $D$  – діаметр розпару.

Для сучасних доменних печей коефіцієнти  $X$ ,  $Z$  приведені в табл. 2.

Таблиця 2 - Значення коефіцієнтів  $X$ ,  $Z$  для печей різного об'єму

$V_n, \text{ м}^3$	1033	1386	1513	1719	2002	2300	2700	3000	3200	5000	5500
$X$	0,54	0,51	0,53	0,53	0,52	0,50	0,53	0,50	0,55	0,55	0,55
$Z$	3,50	3,36	3,20	3,10	2,97	2,80	2,70	2,69	2,60	2,27	2,20

М.А. Павлов рекомендує корисну висоту печі вибирати на основі досвіду роботи доменних печей в залежності від якості коксу (табл. 3).

Таблиця 3 - Висота печі залежно від міцності коксу

Висота печі, м	Барабан ДСТУ 5953-72 М 25, %
20,0 <sup>1</sup> ...22,5	<68
23,0...25,0	68...75
25,5...28,0	>75

<sup>1</sup> - нижні межі висот призначені для печей, що працюють на пильоватих рудах.

Висота сучасних доменних печей перевищує межі, рекомендовані М.А.Павловим, оскільки необхідність підвищення продуктивності печей примусила значно підвищити їх обсяг. Щоб не погіршала робота доменних печей, поліпшують якість коксу.

В даний час корисна висота печі при барабанній пробі коксу для умов зоадів України – 82%М25 збільшена до 32,2м – на печах об'ємом 3000...3200м<sup>3</sup> і до 33,5...34,8м на печах об'ємом 5000...5500м<sup>3</sup>.

Корисна висота доменної печі:

$$H_{кор} = H - h_a, \quad (3)$$

$$H_{кор} = 30,8 - 2,5 = 28,3 м,$$

де  $h_a$  - висота засипного апарату, м (табл. 4.4).

Діаметр розпара:

$$D = \sqrt{\frac{V_n}{xH}}, \quad (4)$$

$$D = \sqrt{\frac{1513}{0,53 \cdot 30,8}} = 9,63 м.$$

Приймаємо  $D = 9,6$  м.

Таблиця 4 - Висота чаші та хід великого конуса для печей різного об'єму

Найменування параметрів	Моделі засипного апарату						
	К31-4200	К33-4800	К21-5000	К23-5400	К22-6200	К25-6500	АЗК1-7000
Хід великого конуса, мм	750	750	750	750	750	590	600
Висота чаші ( $h_a$ ), мм	4520	4520	4650	5050	4550	4590	5720
Корисний об'єм печі ( $V_{кор}$ ), м <sup>3</sup>	1033	1386	1719	2000	2700	3000	3200

Примітка: Букви вказують тип засипного апарату: К – конусний, АЗК – апарат засипний конусний. Наступна за буквами цифра казує номер моделі засипного апарату, останнє число вказує діаметр великого конуса (мм).

Діаметр горна і його переріз М.А. Павлов визначав залежно від інтенсивності горіння коксу у фурм і його кількості, завантаженої в піч протягом доби:

$$S = \frac{K}{I_r}, \quad (5)$$

$$S = \frac{1996}{33,0} = 60,5,$$

де  $S$ - площа перерізу горна, м<sup>2</sup>;  $K$  - приведена добова витрата коксу, т/доб;  $I_r$  - інтенсивність горіння коксу, рівна витраті його на 1 м<sup>2</sup> перерізу

горна,  $\text{т/м}^2 \cdot \text{доб}$ .

Приведена добова витрата коксу з урахуванням вуглецю, вуглетермічних додатків до дуття визначаються за формулою:

$$K = \frac{\sum CP}{C_K}, \quad (6)$$

$$K = \frac{0,48 \cdot 3700}{0,89} = 1996 \text{ т},$$

де  $\sum C$  - сумарний прихід вуглецю,  $\text{т/т}$  чавуну;  $P$  - добова продуктивність печі,  $\text{т/доб}$ ;  $C_K$  - пайовий вміст вуглецю в коксі.

Інтенсивність горіння залежить від добової витрати коксу і визначається за табл. 4.5.

Таблиця 5- Інтенсивність горіння коксу при різній добовій його витраті

$K, \text{т/доб}$	800...950	950...1000	1100...1250	>1250
$I_G, \text{т/м}^2 \cdot \text{доб}$	21,6	22,8	24,0	26,4

Примітка: У сучасних умовах для печей об'ємом до  $3200 \text{ м}^3$  значення  $I_G$  більше вказаних на 20...25%, для печей об'ємом  $5000 \text{ м}^3$  –  $I_G$  більше на 40...45%.

Таким чином,  $I_G = 26,4 \cdot 1,25 = 33,0 \text{ т/м}^2$ .

Діаметр горна знаходиться за площею перерізу горна:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d_G = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}, \quad (7)$$

$$d_G = \sqrt{\frac{4 \cdot 169,2}{3,14}} = 8,6 \text{ м}.$$

Правильність розрахунку діаметру горна перевіряється по відношенню  $D/d_G$ , яке за емпіричними даними М.А. Павлова повинне бути рівним 1,1...1,15. Для сучасних доменних печей це відношення дорівнює 1,1...1,12.

У нашому випадку  $D/d_G = 9,6/8,8 = 1,09$ .

Відношення  $V_{II}/S$  повинно бути в межах 24...30.

Перевіряємо відношення  $V_{II}/S = 1513/60,5 = 25,0$ .

Діаметр колошника визначається із співвідношення:

$$\frac{d_K}{D} = 0,633...0,67. \quad (8)$$

Приймаємо це співвідношення рівним 0,69. Тоді:

$$d_x = 0,69 \cdot 9,6 = 6,6 \text{ м.}$$

В даний час для печей великого об'єму воно коливається в межах 0,633...0,67.

Висота горна між вісями чавунної льотки і повітряних фурм визначається як сума цих величин і відстані до нижньої кромки заплечиків:

$$h_z = h_\phi + a, \quad (9)$$

$$h_z = 3,06 + 0,5 = 3,56 \approx 3,6 \text{ м,}$$

де  $a$  – конструктивний розмір, який знаходиться в межах 0,4...0,5 м. Приймаємо  $a = 0,5$  м.

Висота (відстань) розрашування повітряних фурм над рівнем чавунної льотки до осі повітряних фурм визначається за формулою:

$$h_\phi = \frac{PV'_r}{S}, \quad (10)$$

$$h_\phi = \frac{3700 \cdot 0,05}{60,5} = 3,06 \text{ м,}$$

де  $V'_r$  - об'єм горна від вісі чавунної льотки до вісі повітряних фурм на 1 т добової виплавки,  $\text{м}^3 \cdot \text{доб/т}$ . За М.А. Павловим ця величина дорівнює 0,1...0,11. Для печей корисним об'ємом 2000...5000  $\text{м}^3$  вона складає 0,05...0,07.

Приймаємо  $V'_r = 0,05$ .

Висота заплечиків практично постійна (3...3,5 м), може корегуватися величиною кута нахилу заплечиків до горизонту ( $\beta$ ), що приймається для сучасних печей в межах  $79...81^\circ$ .

Висота заплечиків при куті нахилу ( $\beta = 81^\circ 07'$ ) дорівнює:

$$h_3 = \frac{D - d_r}{2 \text{ctg} \beta}, \quad (11)$$

$$h_3 = \frac{9,6 - 8,8}{2 \cdot 0,157} = \frac{0,8}{2 \cdot 0,157} = 2,5 \text{ м.}$$

Приймаємо 3,2 м.

Висоту розпару приймається рівною 1,7...2,2. Приймаємо для

розрахунку 1,8 м.

Висота шахти визначається залежно від кута нахилу стін за формулою:

$$h_{ш} = \frac{D - d_{к}}{2 \operatorname{ctg} \alpha}, \quad (12)$$

$$h_{ш} = \frac{9,6 - 6,6}{2 \operatorname{ctg} 85^{\circ} 02'} = \frac{3}{2 \cdot 0,087} = 17,2 \text{ м},$$

де  $\alpha$  - кут нахилу стін шахти до горизонту, град.

Кут нахилу шахти має велике значення для сходу шихти, розподілу матеріалів і газового потоку, і повинен бути в межах 85...87 град. В сучасних умовах  $\alpha$  зменшується до 83..85 град. Приймаємо  $\alpha = 85^{\circ} 02'$ .

Висоту колошника знаходимо по різниці загальної корисної висоти печі і суми висот інших елементів профілю:

$$h_{к} = H_{кор} - (h_2 + h_3 + h_p + h_{ш}), \quad (13)$$

$$h_{к} = 28,3 - (3,6 + 3,2 + 1,8 + 17,2) = 2,5 \text{ м}.$$

Висота колошника знаходиться в рекомендованих межах (2,3...3,0 м).

Контрольний розрахунок об'ємів окремих частин профілю

Розрахувавши основні розміри елементів профілю доменної печі, визначаємо її об'єм, підсумовуючи об'єми окремих частин профілю.

Об'єм горну:

$$V_2 = \frac{\pi d_{г}^2}{4} h_{г}, \quad (14)$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 8,6^2}{4} \cdot 3,2 = 185,788 \text{ м}^2.$$

Об'єм заплечиків:

$$V_3 = \frac{\pi}{3} \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 + \left( \frac{D}{2} \cdot \frac{d_{г}}{2} \right) + \left( \frac{d_{г}}{2} \right)^2 \right] \cdot h_3, \quad (15)$$

$$V_3 = \frac{3,14}{3} \left[ \left( \frac{9,6}{2} \right)^2 + \left( \frac{9,6}{2} \cdot \frac{8,6}{2} \right) + \left( \frac{8,6}{2} \right)^2 \right] \cdot 3,2 = 208,228 \text{ м}^3.$$

Об'єм розпару:

$$V_p = \frac{\pi D^2}{4} h_p, \quad (16)$$

$$V_p = \frac{3,14 \cdot 9,6^2}{4} \cdot 1,8 = 130,222 \text{ м}^3.$$

Об'єм шахти:

$$V_{ш} = \frac{\pi}{3} \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 + \left( \frac{D}{2} \cdot \frac{d_K}{2} \right) + \left( \frac{d_K}{2} \right)^2 \right] \cdot h_{ш}, \quad (17)$$

$$V_{ш} = \frac{3,14}{3} \left[ \left( \frac{9,6}{2} \right)^2 + \left( \frac{9,6}{2} \cdot \frac{6,6}{2} \right) + \left( \frac{6,6}{2} \right)^2 \right] \cdot 17,2 = 895,993 \text{ м}^3.$$

Об'єм колошника:

$$V_K = \frac{\pi \cdot d_K^2}{4} \cdot h_K, \quad (18)$$

$$V_K = \frac{3,14 \cdot 6,6^2}{4} \cdot 2,7 = 92,325 \text{ м}^3.$$

Корисний об'єм доменної печі:

$$V_{кор} = V_2 + V_3 + V_p + V_{ш} + V_K, \quad (19)$$

$$V_{кор} = 185,788 + 208,228 + 130,222 + 895,993 + 92,325 = 1512,556 \approx 1513 \text{ м}^3.$$

Діаметр великого конуса:

$$d_K - d_{вк} = 1,2 \dots 1,8 \text{ м}, \quad (20)$$

$$d_{вк} = 6,6 - 1,9 = 4,7 \text{ м}.$$

При проектуванні печей об'ємом 3200...5000 м<sup>3</sup> встановлюються безконусні засипні апарати.

Кількість повітряних фурм  $n$  звичайно встановлюються емпірично з таким розрахунком, щоб відстань між осями фурми  $\lambda$  було не менше 1 м, виходячи із забезпечення нормальної роботи окислювальних зон. На великих печах ця відстань досягає 1,5 м, отже кількість фурм рівна периметру горна, поділеному на відстань між вісями фурм:

$$n = \frac{\pi d_2}{\lambda} = 3,14 \frac{d_2}{1,5} \cong 2d_2 + 1, \quad (21)$$

$$n = 2 \cdot 8,8 + 1 = 19 \approx 20 \text{ шт}.$$

Зазвичай приймається парне число фурм.

## 2 РОЗРАХУНОК ПРОФІЛЮ ПО МЕТОДУ А.Н. РАММА

Аналізуючи профілі вітчизняних і зарубіжних доменних печей різного об'єму проф. А.Н. Рамм встановив залежність їх основних розмірів  $H$ ,  $D$ ,  $d_r$ ,  $d_k$  від корисного об'єму і показав, що для визначення цих величин застосовані формули типу:

$$X = C \cdot V_{\Pi}^n, \quad (22)$$

де  $C$  і  $n$  - постійні коефіцієнти для кожного з основних елементів профілю.

Кути нахилу стін шахти і заплечиків для всіх печей однакові і становлять відповідно  $85^{\circ}14'$  та  $81^{\circ}52'$ .

Формули А.Н. Рама для визначення розмірів доменних печей різного об'єму приведені в табл.6.

### 2.1 Нормальний профіль доменної печі

Корисний об'єм доменної печі  $1513 \text{ м}^3$ .

Діаметр розпару:

$$D = 0,59 \cdot V_{\Pi}^{0,38} = 0,59 \cdot 1513^{0,38}; \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \lg D &= \lg 0,59 + 0,38 \lg 1513; \quad \lg D = \lg 59/100 + 0,38 \cdot 3,180 = \\ &= (1,7709 - 2) + 0,38 \cdot 3,180 = -0,2291 + 1,2084 = 0,9793; \end{aligned}$$

$$\lg D = 0,9793; \quad D = 9,5 \text{ м.}$$

Діаметр горна:

$$d_r = 0,32 \cdot V_{\Pi}^{0,45} = 0,32 \cdot 1513^{0,45}; \quad (24)$$

$$\lg d_r = \lg 32/100 + 0,45 \lg 1513;$$

$$\lg d_r = (1,5051 - 2) + 0,45 \cdot 3,180 = -0,4949 + 1,431 = 0,9361;$$

$$\lg d_r = 0,9361; \quad d_r = 8,6 \text{ м.}$$

Діаметр колошника:

$$d_k = 0,59 \cdot V_{\Pi}^{0,33} = 0,59 \cdot 1513^{0,33}; \quad (25)$$

$$\lg d_k = \lg 0,59 \cdot 1513 \cdot 0,33; \lg d_k = - 0,2291 + 0,33 \cdot 3,180 = 0,8203;$$

$$d_k = 6,6 \text{ м.}$$

Таблиця 6- Формули А.Н. Рама для розрахунку елементів профілю доменних печей

Визначений розмір, м	Профіль	
	Нормальний	Геометрично подібний
Діаметр:		
розпару Д	$0,59 \cdot V_{\Pi}^{0,38}$	$0,833 \sqrt[3]{V_{\Pi}}$
горна $d_{\Gamma}$	$0,32 \cdot V_{\Pi}^{0,45}$	$0,9 \cdot Д$
колошника $d_k$	$0,59 \cdot V_{\Pi}^{0,33}$	$0,7 \cdot Д$
Висота:		
повна Н	$5,55 \cdot V_{\Pi}^{0,24}$	$3,35 \cdot Д$
корисна $H_{\text{кор}}$	$0,88 \cdot Н$	$2,95 \cdot Д$
горна $h_{\Gamma}$	$0,10 \cdot Н$	$0,35 \cdot Д$
заплечиків $h_3$	3,2	$0,35 \cdot Д$
розпара $h_p$	$0,07 \cdot Н$	$0,2 \cdot Д$
шахти $h_{\text{ш}}$	$0,63 \cdot Н - 3,2$	$1,8 \cdot Д$
колошника $h_k$	$0,08 \cdot Н$	$0,24 \cdot Д$

Повна висота доменної печі:

$$H = 5,55 \cdot V_{\Pi}^{0,24} = 5,55 \cdot 1513^{0,24}; \quad (26)$$

$$\lg H = \lg 5,55 + 0,24 \lg 1513; \lg H = 0,7443 + 0,24 \cdot 3,180 = 1,5075;$$

$$\lg H = 1,5075; H = 32,17 \text{ м.}$$

Корисна висота доменної печі:

$$H_{\text{кор}} = 0,88 \cdot H, \quad (27)$$

$$H_{\text{кор}} = 0,88 \cdot 32,17 = 28,3096 \approx 28,31 \text{ м.}$$

Висота горна:

$$h_{\Gamma} = 0,10 \cdot H, \quad (28)$$

$$h_{\Gamma} = 0,10 \cdot 32,17 = 3,17 \text{ м.}$$

Висота заплечиків:

$$h_3 = 3,2 \text{ м.}$$

Висота розпара:

$$h_p = 0,07 \cdot H, \quad (29)$$

$$h_p = 0,07 \cdot 32,17 \approx 2,25 \text{ м.}$$

Висота шахти:

$$h_{ш} = 0,63 \cdot H - 3,2, \quad (30)$$

$$h_{ш} = 0,63 \cdot 32,17 - 3,2 \approx 17,1 \text{ м.}$$

Висота колошника:

$$h_k = 0,08 \cdot H, \quad (31)$$

$$h_k = 0,08 \cdot 32,17 \approx 2,6 \text{ м.}$$

Перевіряємо об'єм доменної печі по знайденим значенням окремих елементів профілю.

Об'єм горна:

$$V_2 = \frac{\pi d_{\Gamma}^2}{4} h_{\Gamma}, \quad (32)$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 8,6^2}{4} \cdot 3,2 = 185,788 \text{ м}^3.$$

Об'єм заплечиків:

$$V_3 = \frac{\pi}{3} \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 + \left( \frac{D}{2} \cdot \frac{d_{\Gamma}}{2} \right) + \left( \frac{d_{\Gamma}}{2} \right)^2 \right] \cdot h_3. \quad (33)$$

$$V_3 = \frac{3,14}{3} \left[ \left( \frac{9,5}{2} \right)^2 + \left( \frac{9,5}{2} \cdot \frac{8,6}{2} \right) + \left( \frac{8,6}{2} \right)^2 \right] \cdot 3,2 = \frac{3,14}{3} (22,56 + 20,43 + 18,49) \cdot 3,2 = 205,917 \text{ м}^3.$$

Об'єм розпара:

$$V_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_p, \quad (34)$$

$$V_p = \frac{3,14 \cdot 9,5^2}{4} \cdot 2,3 = 162,946 \text{ м}^3.$$

Об'єм шахти:

$$V_{ш} = \frac{\pi}{3} \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 + \left( \frac{D}{2} \cdot \frac{d_k}{2} \right) + \left( \frac{d_k}{2} \right)^2 \right] \cdot h_{ш}, \quad (35)$$

$$V_{ш} = \frac{3,14}{3} \left[ \left( \frac{9,5}{2} \right)^2 + \left( \frac{9,5}{2} \cdot \frac{6,6}{2} \right) + \left( \frac{6,6}{2} \right)^2 \right] \cdot 17,1 = \frac{3,14}{3} (22,56 + 15,68 + 10,89) \cdot 17,1 = 879,329 \text{ м}^3$$

Об'єм колошника:

$$V_K = \frac{\pi d_K^2}{4} \cdot h_K, \quad (36)$$

$$V_K = \frac{3,14 \cdot 6,6^2}{4} \cdot 2,6 = 88,906 \text{ м}^3$$

Об'єм доменної печі:

$$V_{\text{кор}} = V_{\Gamma} + V_3 + V_p + V_{\text{ш}} + V_K, \quad (37)$$

$$V_{\text{кор}} = 185,788 + 205,917 + 162,946 + 879,329 + 88,906 = 1522,886 \approx 1523 \text{ м}^3.$$

## 2.2 Геометрично подібний профіль доменної печі

Діаметр розпару:

$$D = 0,833 \sqrt[3]{V_{\text{п}}}, \quad (38)$$

$$D = 0,833 \sqrt[3]{1513} \approx 9,5 \text{ м.}$$

Діаметр горна:

$$d_{\Gamma} = 0,9 \cdot D, \quad (39)$$

$$d_{\Gamma} = 0,9 \cdot 9,5 = 8,55 \text{ м.}$$

Діаметр колошника:

$$d_K = 0,7 \cdot D, \quad (40)$$

$$d_K = 0,7 \cdot 9,5 = 6,65 \text{ м.}$$

Повна висота печі:

$$H = 3,35 \cdot D, \quad (41)$$

$$H = 3,35 \cdot 9,5 \approx 31,8 \text{ м.}$$

Корисна висота печі:

$$H_{\text{кор}} = 2,95 \cdot D, \quad (4.42)$$

$$H_{\text{кор}} = 2,95 \cdot 9,5 \approx 28,0 \text{ м.}$$

Висота горна:

$$h_{\Gamma} = 0,35 \cdot D, \quad (4.43)$$

$$h_{\Gamma} = 0,35 \cdot 9,5 \approx 3,33 \text{ м.}$$

Висота заплечиків:

$$h_3 = 0,35 \cdot D, \quad (4.44)$$

$$h_3 = 0,35 \cdot 9,5 \approx 3,33 \text{ м.}$$

Висота розпару:

$$h_p = 0,20 \cdot D, \quad (4.45)$$

$$h_p = 0,20 \cdot 9,5 = 1,9 \text{ м.}$$

Висота шахти:

$$h_{ш} = 1,8 \cdot D, \quad (46)$$

$$h_{ш} = 1,8 \cdot 9,5 \approx 17,14 \text{ м.}$$

Висота колошника:

$$h_k = 0,24 \cdot D, \quad (47)$$

$$h_k = 0,24 \cdot 9,5 \approx 2,3 \text{ м.}$$

Перевіряємо об'єм доменної печі по знайденим значенням окремих елементів профілю.

Об'єм горна:

$$V_g = \frac{\pi d_g^2}{4} h_g, \quad (48)$$

$$V_g = \frac{3,14 \cdot 8,55^2}{4} \cdot 3,33 = 191,094 \text{ м}^3.$$

Об'єм заплечиків:

$$V_3 = \frac{\pi}{3} \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 + \left( \frac{D}{2} \cdot \frac{d_g}{2} \right) + \left( \frac{d_g}{2} \right)^2 \right] \cdot h_3, \quad (49)$$

$$V_3 = \frac{3,14}{3} \left[ \left( \frac{9,5}{2} \right)^2 + \left( \frac{9,5}{2} \cdot \frac{8,55}{2} \right) + \left( \frac{8,55}{2} \right)^2 \right] \cdot 3,33 = \frac{3,14}{3} (22,56 + 20,31 + 18,28) \cdot 3,33 = 213,132 \text{ м}^3.$$

Об'єм розпару:

$$V_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_p, \quad (50)$$

$$V_p = \frac{3,14 \cdot 9,5^2}{4} \cdot 1,9 = 134,608 \text{ м}^3.$$

Об'єм шахти:

$$V_{ш} = \frac{\pi}{3} \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 + \left( \frac{D}{2} \cdot \frac{d_k}{2} \right) + \left( \frac{d_k}{2} \right)^2 \right] \cdot h_{ш}, \quad (51)$$

$$V_{ш} = \frac{3,14}{3} \left[ \left( \frac{9,5}{2} \right)^2 + \left( \frac{9,5}{2} \cdot \frac{6,65}{2} \right) + \left( \frac{6,65}{2} \right)^2 \right] \cdot 17,1m = \frac{3,14}{3} (22,56 + 15,79 + 11,06) \cdot 17,1 = 884,340m^3$$

Об'єм колошника:

$$V_K = \frac{\pi \cdot d_K^2}{4} \cdot h_K, \quad (52)$$

$$V_k = \frac{3,14 \cdot 6,65^2}{4} \cdot 2,3 = 79,844m^3.$$

Корисний об'єм доменної печі:

$$V_{кор} = V_{Г} + V_{з} + V_{р} + V_{ш} + V_{к}, \quad (53)$$

$$V_{кор} = 191,094 + 213,132 + 134,608 + 884,340 + 79,844 = 1503,018 \approx 1503 \text{ м}^3.$$

За результатами розрахунку профілю доменної печі викреслюються профілі, одержані за методами академіка М.А. Павлова (рис.2, а), А.Н. Рамма (рис.2, б і рис.2, в) і Гіпромеца (див. данні табл. 1) (рис.2, г) на міліметровці формата А4 та виконується аналіз отриманих даних.

### Завдання для самостійної роботи

**Завдання 1.** Розрахувати профіль доменної печі за методом академіка М.А. Павлова. Вихідні дані надано в таблиці 7.

**Завдання 2.** Розрахувати профіль (нормальний і геометрично подібний) доменної печі за методом А.Н. Рамма. Вихідні дані надано в таблиці 7.

Таблиця 7 – Варіанти завдання на практичні заняття “Конструкція доменної печі”

Варіант	Добова продуктивність печі (P), т/доб	КВКО, м <sup>3</sup> доб/т	Відносна витрата коксу (K <sup>1</sup> ), т/т чавуну	Інтенсивність горіння коксу (Ix), т/м <sup>3</sup> .доб.	Витрата природного газу (VГ), м <sup>3</sup> /т чавуну	Сумарний прихід вуглецю (ΣC), т/т чавуну
1	2500	0,55	0,430	0,70	100	0,48
2	2700	0,55	0,430	0,70	100	0,48
3	3000	0,55	0,430	0,70	100	0,48
4	3200	0,55	0,430	0,70	100	0,48
5	3500	0,55	0,430	0,70	100	0,48
6	3700	0,50	0,430	0,70	100	0,48
7	4000	0,50	0,430	0,70	100	0,48
8	4200	0,50	0,430	0,70	100	0,48
9	4500	0,50	0,430	0,70	100	0,48
10	4700	0,50	0,430	0,70	100	0,48
11	5000	0,45	0,430	0,70	100	0,48
12	5200	0,45	0,430	0,70	100	0,48
13	5500	0,45	0,430	0,70	100	0,48
14	5700	0,45	0,430	0,70	100	0,48
15	6000	0,45	0,430	0,70	100	0,48
16	6200	0,40	0,430	0,70	100	0,48
17	6500	0,40	0,430	0,70	100	0,48
18	6700	0,40	0,430	0,70	100	0,48
19	7000	0,40	0,430	0,70	100	0,48
20	7200	0,40	0,430	0,70	100	0,48
21	7500	0,37	0,430	0,70	100	0,48
22	7700	0,37	0,430	0,70	100	0,48
23	8000	0,37	0,430	0,70	100	0,48
24	8500	0,37	0,430	0,70	100	0,48
25	9000	0,37	0,430	0,70	100	0,48
26	2500	0,35	0,430	0,70	100	0,48
27	5700	0,35	0,430	0,70	100	0,48
28	6200	0,35	0,430	0,70	100	0,48
29	7000	0,35	0,430	0,70	100	0,48
30	7500	0,35	0,430	0,70	100	0,48