

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання розрахунків киснево-конвертерної плавки  
для студентів усіх спеціальностей

Затверджено  
на засіданні Вченої Ради  
академії  
Протокол № I від 30.01.01

Дніпропетровськ НМетАУ 2001

УДК 669.184

Методичні вказівки до виконання розрахунків киснево-конвертерної плавки для студентів усіх спеціальностей / Укл.: Б.М.Бойченко, С.В.Бочка. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2001. - 25 с.

Наведений розрахунок матеріального і теплового балансів киснево-конвертерної плавки з верхнім дуттям, а також дана структура розрахунку процесів розкислення конвертерної сталі.

Методичні вказівки призначені для студентів усіх спеціальностей.

Укладачі: Б.М.Бойченко, д-р техн. наук, проф.

С.В.Бочка, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск О.П.Чуванов, канд. техн. наук, доц.

Рецензент В.М.Ковшов, д-р техн. наук, проф. (НМетАУ)

Редактор А.Ю.Сосонна

Підписано до друку 05.02.01. Формат 60×84 1/16. Папір друк.  
Друк плоский. Облік.-вид.арк. 1,47. Умов.друк.арк. 1,45.  
Тираж 200 пр. Замовлення №

Національна металургійна академія України  
49635, Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ

## ВСТУП

Методика розрахунку матеріального і теплового балансів киснево-конвертерної плавки заснована на закономірностях і параметрах процесів, викладених в роботах [1-6] і отриманих під час аналізу експериментальних даних. Вона відображує умови роботи сучасних конвертерів з верхнім дуттям (процес "ЛД").

Під час оформлення розрахунку розділи і підрозділи необхідно нумерувати так, як це зроблено в дійсних методичних вказівках, детальні пояснення методики виконання розрахунку і прийнятих позначень не потрібні.

Розрахунок виконується на 100 кг металошихти (маса чавуну + маса скрапу).

### 1. ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНОК

(Варіант завдання вказується керівником)

Розрахувати параметри киснево-конвертерної плавки для наступних вихідних даних:

- хімічний склад чавуну;
- хімічний склад сталі, що виплавляється;
- температура чавуну, що заливається в конвертер –  $t_{\text{чав}}$ , °С;
- температура сталі в кінці продувки в конвертері –  $t_{\text{ст}}$ , °С;
- матеріал футеровки конвертера – смолодоломіт;
- ступінь допалювання вуглецю до  $\text{CO}_2$  в ванні конвертера (або частка  $\text{CO}_2$  в сумі  $\Sigma = \text{CO} + \text{CO}_2$  у складі конвертерних газів) –  $\alpha = 0,10 - 0,15$ .

Індивідуальні вихідні дані згідно з варіантом завдання (з додатку 1) записують в вигляді таблиці.

Таблиця 1.1

Вихідні данні для розрахунку.

Матеріал	Вміст елементів, %				
	C	Si	Mn	P	S
Рідкий чавун	$C_{\text{ЧАВ}}$	$Si_{\text{ЧАВ}}$	$Mn_{\text{ЧАВ}}$	$P_{\text{ЧАВ}}$	$S_{\text{ЧАВ}}$
Готова сталь	$C_{\text{СТ}}^H - C_{\text{СТ}}^B$	$Si_{\text{СТ}}^H - Si_{\text{СТ}}^B$	$Mn_{\text{СТ}}^H - Mn_{\text{СТ}}^B$	$P_{\text{СТ}}^B$	$S_{\text{СТ}}^B$

Примітка: індекси "н" і "в" – нижня і верхня межі вмісту елемента.

## 2. РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ ПЕРІОДУ ПРОДУВКИ

## 2.1. Передчасне визначення витрати скрапу

 $(M_{\text{СКР}}, \text{кг}/100 \text{ кг металошихти})$ 

$$M_{\text{СКР}}' = \frac{\sum \Delta H_{\text{ЧАВ}}^{\text{ХІМ}} + 88 \cdot t_{\text{ЧАВ}} - 105,6 \cdot t_{\text{СТ}} - 11440 \cdot C_{\text{ПОВ}} + 17600}{(10^{-2} \cdot \sum \Delta H_{\text{ЧАВ}}^{\text{ХІМ}} + 0,88 \cdot t_{\text{ЧАВ}})}, \quad (2.1)$$

де  $\sum \Delta H_{\text{ЧАВ}}^{\text{ХІМ}}$  – загальна кількість тепла, що виділяється при повному окисленні домішок чавуну, кДж/100 кг чавуну; $C_{\text{ПОВ}}$  – вміст вуглецю на повалці конвертера

$$C_{\text{ПОВ}} \approx \frac{C_{\text{СТ}}^H + C_{\text{СТ}}^B}{2}, \% \text{ (див. табл. 1.1).}$$

Хімічне тепло чавуну  $\sum \Delta H_{\text{ЧАВ}}^{\text{ХІМ}}$ , кДж/100 кг

$$\sum \Delta H_{\text{ЧАВ}}^{\text{ХІМ}} = (10182 + 23550 \alpha) \cdot C_{\text{ЧАВ}} + 26942 Si_{\text{ЧАВ}} + 7040 Mn_{\text{ЧАВ}} + 19777 P_{\text{ЧАВ}}, \quad (2.2)$$

де  $C_{\text{ЧАВ}}$ ,  $Si_{\text{ЧАВ}}$ ,  $Mn_{\text{ЧАВ}}$ ,  $P_{\text{ЧАВ}}$  – вміст відповідних домішок в чавуні, % (див. табл. 1.1); цифри біля символів – теплові ефекти окислення вказаних домішок, кДж/кг.

## 2.2. Визначення кількості домішок, внесених металевою частиною шихти

Маса чавуну, що заливається в конвертер, складає

$$M'_{\text{ЧАВ}} = 100 - M'_{\text{СКР}}, \text{ кг } (\%), \quad (2.3)$$

Однак на практиці чавун зважується разом з міксерним шлаком; кількість останнього "а" коливається в межах 0,5 – 1,8 % від маси чавуну. Тоді дійсна кількість залитого в конвертер чавуну дорівнює

$$M_{\text{ЧАВ}} = M'_{\text{ЧАВ}} \cdot \left(1 - \frac{a}{100}\right), \text{ кг } (\%), \quad (2.4)$$

Саме так дійсну кількість скрапу, що попадає в конвертер, треба визначати з урахуванням його забруднень "в" (звичайно  $v = 0,5 - 2,0 \%$ ) та окалини "с" ( $c = 1,0 - 1,5 \%$  від маси скрапу):

$$M_{\text{СКР}} = M'_{\text{СКР}} \cdot \left(1 - \frac{v+c}{100}\right), \text{ кг } (\%). \quad (2.5)$$

Кількість домішок, внесених металевою шихтою, приведемо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Кількість домішок, внесених металевою шихтою

Вносять	Вміст елементів в металошихті, %				
	C	Si	Mn	P	S
Чавун	$M_{\text{ЧАВ}} \cdot \frac{C_{\text{ЧАВ}}}{100}$	$M_{\text{ЧАВ}} \cdot \frac{Si_{\text{ЧАВ}}}{100}$	$M_{\text{ЧАВ}} \cdot \frac{Mn_{\text{ЧАВ}}}{100}$	$M_{\text{ЧАВ}} \cdot \frac{P_{\text{ЧАВ}}}{100}$	$M_{\text{ЧАВ}} \cdot \frac{S_{\text{ЧАВ}}}{100}$
Скрап *	$M_{\text{СКР}} \cdot \frac{C_{\text{СТ}}^H + C_{\text{СТ}}^B}{200}$	$M_{\text{СКР}} \cdot \frac{Si_{\text{СТ}}^H + Si_{\text{СТ}}^B}{200}$	$M_{\text{СКР}} \cdot \frac{Mn_{\text{СТ}}^H + Mn_{\text{СТ}}^B}{200}$	$M_{\text{СКР}} \cdot \frac{P_{\text{СТ}}^B}{100}$	$M_{\text{СКР}} \cdot \frac{S_{\text{СТ}}^B}{100}$
Разом	$C_{\text{МЕТ. Ш}}$	$Si_{\text{МЕТ. Ш}}$	$Mn_{\text{МЕТ. Ш}}$	$P_{\text{МЕТ. Ш}}$	$S_{\text{МЕТ. Ш}}$

\* Хімічний склад скрапу, оскільки він отриманий на данному заводі, приймається рівним хімічному складу готової сталі.

2.3. Визначення витрати шлакоутворюючих  
(на 100 кг металошихти)

2.3.1. Витрата плавикового шпату  $M_{\text{п.ш.}}$  складає 0,15 – 0,50 % від маси металошихти (чим нижче  $S^{\text{В}}$  ст, тим він вище).

2.3.2. Знос футерівки збільшується, якщо виплавляються сталі з більш низьким вмістом вуглецю  $C_{\text{пов}}$  і збільшується витрата чавуну на плавку  $M_{\text{чав}}$

$$M_{\phi} = \frac{M_{\text{чав}}}{100} \cdot (0,6 - 0,71 \cdot C_{\text{пов}}), \text{ кг.} \quad (2.6)$$

2.3.3. Потрібна кількість вапна визначається з рівняння

$$M_{\text{вап}} = \frac{\Sigma \text{SiO}_2 \cdot B'_K - \Sigma \text{CaO}}{F_{\text{вап}}}, \text{ кг,} \quad (2.7)$$

де  $\Sigma \text{SiO}_2$ ,  $\Sigma \text{CaO}$  - кількість кремнезему та оксиду кальція, що вносяться усіма шихтовими матеріалами (за винятком вапна) і футерівкою, кг;

$B'_K$  - основність кінцевого шлаку  $\frac{(\% \text{CaO})}{(\% \text{SiO}_2)}$ , приймається в межах 2,5–3,5;

$F_{\text{вап}}$  - флюсуюча здатність вапна.

З цього місця розрахунку треба приймати до уваги склад неметалевих матеріалів, які витрачаються при виплавці сталі (табл. 2.2). Можна прийняти любе значення вмісту компонента в шихтовому матеріалі у межах вказаного в цій таблиці діапазону, при цьому сума всіх компонентів шихтового матеріалу повинна бути не більше 100 %.

Флюсуюча здатність вапна дорівнює

$$F_{\text{вап}} = 0,9 \cdot \left( \frac{\text{CaO}_{\text{вап}}}{100} - \frac{\text{SiO}_{2\text{вап}}}{100} \cdot B'_K \right), \text{ кг CaO / кг вапна.} \quad (2.8)$$

Таблиця 2.2

Неметалеві матеріали, що витрачаються при виплавці сталі, їх склад, іх склад, які можуть бути використані в розрахунках, %

Матеріал	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CO <sub>2</sub>	S
1. Вапно	$\frac{\text{SiO}_{2\text{вап}}}{2-3}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_{3\text{вап}}}{1-2}$	-	$\frac{\text{CaO}_{\text{вап}}}{85-92}$	$\frac{\text{MgO}_{\text{вап}}}{1}$	-	-	$\frac{\text{CO}_{2\text{вап}}}{5-10}$	$\frac{S_{\text{вап}}}{0,05-0,10}$
2. Плавиковий шпат	$\frac{\text{SiO}_{2\text{п.ш.}}}{3-10}$	-	-	$\frac{\text{CaO}_{\text{п.ш.}}}{5-10}$	-	-	-	-	-
3. Футерівка смолодоломітова	$\frac{\text{SiO}_{2\phi}}{2}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_{3\phi}}{1,5}$	-	$\frac{\text{CaO}_{\phi}}{58}$	$\frac{\text{MgO}_{\phi}}{36}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_{3\phi}}{2}$	-	-	-
4. Міксерний шлак	$\frac{\text{SiO}_{2\text{м.ш.}}}{45}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_{3\text{м.ш.}}}{6}$	$\frac{\text{MnO}_{\text{м.ш.}}}{5}$	$\frac{\text{CaO}_{\text{м.ш.}}}{35}$	$\frac{\text{MgO}_{\text{м.ш.}}}{3}$	-	$\frac{\text{FeO}_{\text{м.ш.}}}{2}$	-	$\frac{S_{\text{м.ш.}}}{1,0-1,5}$
5. Забруднення лому	$\frac{\text{SiO}_{23\text{забр}}}{70}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_{33\text{забр}}}{30}$	-	-	-	-	-	-	-
6. Окалина лому	-	-	-	-	-	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{ок}}}{70}$	$\frac{\text{FeO}_{\text{ок}}}{30}$	-	-

Примітка: чисельник – компонент; знаменник – діапазон вмісту компонента, %.

Величини  $\Sigma SiO_2$ ,  $\Sigma CaO$  складають (див. табл. 2.2):

$$\Sigma SiO_2 = Si_{MET.Ш.} \cdot \frac{60}{28} + 0,01 \cdot (M_{П.Ш.} \cdot SiO_{2П.Ш.} + M_{\phi} \cdot SiO_{2\phi} + M_{ЧАВ} \cdot \frac{a}{400} \cdot SiO_{2М.Ш.} + M_{СКР} \cdot \frac{6}{100} \cdot SiO_{2ЗАБР}), \text{ кг}, \quad (2.9)$$

$$\Sigma CaO = 0,01 \cdot (M_{П.Ш.} \cdot CaO_{П.Ш.} + M_{\phi} \cdot CaO_{\phi} + M_{ЧАВ} \cdot \frac{a}{100} \cdot CaO_{М.Ш.}), \text{ кг}. \quad (2.10)$$

#### 2.4. Визначення вмісту окислів заліза в шлаці

$$(FeO) = K_1 \cdot \frac{5,15}{\sqrt[3]{C_{ПОВ}}} \cdot \sqrt[3]{B'_K}, \%, \quad (2.11)$$

$$(Fe_2O_3) = K_1 \cdot \frac{2,34}{\sqrt[3]{C_{ПОВ}}} \cdot \sqrt[3]{B'_K}, \%. \quad (2.12)$$

При кисневому дутті зверху  $K_1 = 1,0$ .

#### 2.5. Визначення орієнтовного виходу придатного металу на прикінці продувки $M'_{CT}$

$$M'_{CT} = M_{ЧАВ} + M_{СКР} - (C_{MET.Ш.} - C_{ПОВ} + Si_{MET.Ш.} + 0,8 \cdot Mn_{MET.Ш.} + 0,9 \cdot P_{MET.Ш.} + \Delta Fe_{ВТР}), \text{ кг}, \quad (2.13)$$

де  $\Delta Fe_{ВТР}$  - втрати заліза з димовими газами, викидами, зі шлаком у вигляді окислів і корольків металу, %; приймаються в межах 2,3 - 4,5 %.

#### 2.6. Визначення орієнтовної кількості шлаку

$$M'_{ШЛ} = \frac{100}{100 - [(FeO) + (Fe_2O_3)]} \cdot \left\{ Si_{MET.Ш.} \cdot \frac{60}{28} + 0,8 \cdot Mn_{MET.Ш.} \cdot \frac{71}{55} + 0,9 \cdot P_{MET.Ш.} \cdot \frac{142}{62} + 0,01 \cdot [M_{ВАП} \cdot (100 - CO_{2ВАП}) + M_{П.Ш.} \cdot (100 - CO_{2П.Ш.}) + M_{\phi} \cdot (100 - Fe_2O_{3\phi}) + \frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ} \cdot (100 - FeO_{М.Ш.}) + 6 \cdot M_{СКР}] \right\}, \text{ кг}. \quad (2.14)$$

#### 2.7. Уточнення складу металу під час повалки конвертера після продувки (перед розкисненням)

2.7.1. Вміст вуглецю прийнято на початку розрахунку (див. п.п. 2.1).

2.7.2. Вміст кремнію практично дорівнює нулю:  $Si_{ПОВ} = \text{сліди} \approx 0$ .

2.7.3. Вміст марганцю визначається за рівнянням (2.16), одержаним з урахуванням рівноважного розподілення марганцю між металом і шлаком з балансу марганцю до початку продувки і після неї.

Попередньо треба обчислити константу рівноваги марганцю  $K_{Mn}$

$$\lg K_{Mn} = -\frac{6234}{t_{CT} + 273} + 3,026, \quad (2.15)$$

( $K_{Mn}$  знаходять, наприклад, за допомогою таблиці антилогарифмів).

$$Mn_{ПОВ} = \frac{Mn_{MET.Ш.} + \frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ} \cdot \frac{MnO_{М.Ш.}}{100} \cdot \frac{55}{71}}{0,01 \cdot \left[ M'_{CT} + M'_{ШЛ} \cdot \frac{(FeO) + (Fe_2O_3)}{K_{Mn}} \right]}, \%. \quad (2.16)$$

2.7.4. Вміст фосфору також визначається з балансового рівняння (2.17) розподілення фосфору між шлаком і металом.

Попередньо потрібно знайти коефіцієнт розподілення фосфору між шлаком і металом  $\eta_p$ . Це можна зробити, наприклад, з даних табл. 2.3 в

залежності від окисленості шлаку (FeO) і його основності  $B'_K$ .

Таблиця 2.3

Коефіцієнт розподілення фосфору між шлаком і металом  $\eta_P = \frac{(P_2O_5)}{P_{ПОВ}}$

Основність кінцевого шлаку ( $B'_K$ )	(FeO), %					
	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0 і більше
2,6	46	53	62	71	80	89
2,8	50	57	65	75	83	92
3,0	57	64	73	82	91	100
3,2	64	71	80	89	98	107
3,4	71	78	87	96	105	114
3,6	77	85	94	103	112	120

$$P_{ПОВ} = \frac{100 \cdot P_{МЕТ.Ш.}}{M'_{СТ} + \eta_P \cdot M'_{ШЛ}} \cdot \frac{62}{142}, \% \quad (2.17)$$

2.7.5. Вміст сірки знаходять аналогічно з балансового рівняння (2.18)

розподілення сірки між шлаком і металом

$$S_{ПОВ} = \frac{S_{МЕТ.Ш.} + M_{ВАП} \cdot \frac{S_{ВАП}}{100} + \frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ} \cdot \frac{S_{М.Ш.}}{100}}{0,01 \cdot (M'_{СТ} + \eta_S \cdot M'_{ШЛ})}, \% \quad (2.18)$$

де  $\eta_S = \frac{(S)}{[S]}$  - коефіцієнт розподілення сірки між металом і шлаком, може бути

знайдений з наступного ряду:

Основність шлаку $B'_K$	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
$\eta_S$	5,4	6,5	7,4	8,0	8,3	8,5	8,7

Таким чином, склад металу перед розкисленням наступний, %:

C ПОВ	Si ПОВ	Mn ПОВ	P ПОВ	S ПОВ
-------	--------	--------	-------	-------

## 2.8. Уточнення кількості і складу кінцевого шлаку

2.8.1. Визначення кількості шлакоутворюючих окислів (крім окислів заліза) з усіх джерел:

$$M_{SiO_2} = Si_{МЕТ.Ш.} \cdot \frac{60}{28} + 0,01 \cdot (M_{ВАП} \cdot SiO_{2ВАП} + M_{П.Ш.} \cdot SiO_{2П.Ш.} + M_{\Phi} \cdot SiO_{2\Phi} + \frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ} \cdot SiO_{2М.Ш.} + \frac{b}{100} \cdot M_{СКР} \cdot SiO_{2ЗАБР}), \text{ кг}; \quad (2.19)$$

$$M_{Al_2O_3} = 0,01 \cdot (M_{ВАП} \cdot Al_2O_{3ВАП} + M_{П.Ш.} \cdot Al_2O_{3П.Ш.} + M_{\Phi} \cdot Al_2O_{3\Phi} + \frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ} \cdot Al_2O_{3М.Ш.} + \frac{b}{100} \cdot M_{СКР} \cdot Al_2O_{3ЗАБР}), \text{ кг}; \quad (2.20)$$

$$M_{MnO} = (Mn_{МЕТ.Ш.} - Mn_{ПОВ} \cdot \frac{M'_{СТ}}{100}) \cdot \frac{71}{55} + 0,01 \cdot \frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ} \cdot MnO_{М.Ш.}, \text{ кг}; \quad (2.21)$$

$$M_{CaO} = 0,01 \cdot (M_{ВАП} \cdot CaO_{ВАП} + M_{П.Ш.} \cdot CaO_{П.Ш.} + M_{\Phi} \cdot CaO_{\Phi} + \frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ} \cdot CaO_{М.Ш.}), \text{ кг}; \quad (2.22)$$

$$M_{MgO} = 0,01 \cdot (M_{ВАП} \cdot MgO_{ВАП} + M_{\Phi} \cdot MgO_{\Phi} + \frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ} \cdot MgO_{М.Ш.}), \text{ кг}; \quad (2.23)$$

$$M_{P_2O_5} = (P_{МЕТ.Ш.} - P_{ПОВ} \cdot \frac{M'_{СТ}}{100}) \cdot \frac{142}{62}, \text{ кг}; \quad (2.24)$$

$$M_S = S_{МЕТ.Ш.} - S_{ПОВ} \cdot \frac{M'_{СТ}}{100} + 0,01 \cdot (M_{ВАП} \cdot S_{ВАП} + \frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ} \cdot S_{М.Ш.}), \text{ кг}. \quad (2.25)$$

2.8.1. Кількість і склад кінцевого шлаку наступний:

$$M_{ШЛ} = \frac{M_{SiO_2} + M_{Al_2O_3} + M_{MnO} + M_{CaO} + M_{MgO} + M_{P_2O_5} + M_S}{1 - 0,01 \cdot [(FeO) + (Fe_2O_3)]}, \text{ кг}. \quad (2.26)$$

Таблиця 2.4

Хімічний склад кінцевого шлаку, %

(SiO <sub>2</sub> )	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(MnO)	(CaO)	(MgO)	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	(S)	(FeO)	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
$\frac{M_{SiO_2}}{0,01 \cdot M_{ШЛ}}$	$\frac{M_{Al_2O_3}}{0,01 \cdot M_{ШЛ}}$	$\frac{M_{MnO}}{0,01 \cdot M_{ШЛ}}$	$\frac{M_{CaO}}{0,01 \cdot M_{ШЛ}}$	$\frac{M_{MgO}}{0,01 \cdot M_{ШЛ}}$	$\frac{M_{P_2O_5}}{0,01 \cdot M_{ШЛ}}$	$\frac{M_S}{0,01 \cdot M_{ШЛ}}$	(FeO)	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )

Слід порівняти розраховану основність кінцевого шлаку  $B_K = \frac{(CaO)}{(SiO_2)}$  з

прийнятою в п.п. 2.3.4. (дозволяється відхилення на  $\pm 0,25$ ).

## 2.9. Уточнений вихід металу в кінці продувки

$$\begin{aligned}
 M_{СТ} = & 100 - \{C_{МЕТ.Ш.} + Si_{МЕТ.Ш.} + Mn_{МЕТ.Ш.} + P_{МЕТ.Ш.} + S_{МЕТ.Ш.} - \\
 & - 0,01 \cdot M'_{СТ} \cdot (C_{ПОВ} + Mn_{ПОВ} + P_{ПОВ} + S_{ПОВ}) + \frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ} + \frac{b+c}{100} \cdot M_{СКР} + \\
 & + M_{ШЛ} \cdot 0,01 \cdot [(FeO) \cdot \frac{56}{72} + (Fe_2O_3) \cdot \frac{112}{160}] + \Delta Fe_{ВТР} \} + \\
 & + 0,01 \cdot \frac{56}{72} \cdot \left( \frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ} \cdot FeO_{М.Ш.} + \frac{c}{100} \cdot M_{СКР} \cdot FeO_{ОК} \right) + \\
 & + 0,01 \cdot \frac{112}{160} \cdot \left( M_{\Phi} \cdot Fe_2O_{3\Phi} + \frac{c}{100} \cdot M_{СКР} \cdot Fe_2O_{3ОК} \right), \text{ кг.}
 \end{aligned} \quad (2.26)$$

## 2.10. Визначення кількості дуття

2.10.1. Потрібна для проведення плавки кількість кисню дорівнює:

$$\begin{aligned}
 M_{O_2 \text{ ВИТР}} = & (C_{МЕТ.Ш.} - 0,01 \cdot M_{СТ} \cdot C_{ПОВ}) \cdot \left[ (1-\alpha) \cdot \frac{16}{12} + \alpha \cdot \frac{32}{12} \right] + Si_{МЕТ.Ш.} \cdot \frac{32}{28} + \\
 & + (Mn_{МЕТ.Ш.} - 0,01 \cdot M_{СТ} \cdot Mn_{ПОВ}) \cdot \frac{16}{55} + (P_{МЕТ.Ш.} - 0,01 \cdot M_{СТ} \cdot P_{ПОВ}) \cdot \frac{80}{62} + \\
 & + 0,01 \cdot M_{ШЛ} \cdot \left[ (Fe_2O_3) \cdot \frac{48}{160} + (FeO) \cdot \frac{16}{72} \right] + \varphi \cdot \frac{48}{112}, \text{ кг.}
 \end{aligned} \quad (2.27)$$

де  $\varphi$  - втрати заліза випаровуванням (у вигляді парів Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), кг, складають 0,3 – 1,6 % від маси металошихти.

2.10.2. Кількість кисню, внесеного шихтовими матеріалами, визначається

$$\begin{aligned}
 M_{O_2 \text{ ПРИХ}} = & 0,01 \cdot M_{\Phi} \cdot Fe_2O_{3\Phi} \cdot \frac{46}{160} + 0,01 \cdot M_{ЧАВ} \cdot \frac{a}{100} \cdot FeO_{М.Ш.} \cdot \frac{16}{72} + \\
 & + 0,01 \cdot M_{СКР} \cdot \frac{c}{100} \cdot \left( Fe_2O_{3ОК} \cdot \frac{48}{60} + FeO_{ОК} \cdot \frac{16}{72} \right) + 0,01 \cdot M_{ВАП} \cdot CO_{2 \text{ ВАП}} \cdot (1-\alpha) \cdot \frac{16}{44}, \text{ кг.}
 \end{aligned} \quad (2.28)$$

2.10.3. Необхідно ввести в конвертер дуттєвого кисню масою

$$M_{ДУТТЯ} = (M_{O_2 \text{ ВИТР}} - M_{O_2 \text{ ПРИХ}}) \cdot \frac{100 \cdot 100}{k \cdot n}, \text{ кг,} \quad (2.29)$$

де  $k$  – ступінь засвоєння ванною дуттєвого кисню, %, складає 93 – 98 %; $n$  – чистота дуттєвого кисню, %, на практиці  $n = 97 - 99,7$  %;

об'ємом:

$$V_{ДУТТЯ} = M_{ДУТТЯ} \cdot \frac{22,4}{32}, \text{ м}^3. \quad (2.30)$$

2.11. Розрахунок кількості і складу виходячих з конвертера газів

2.11.1. Утворюється CO<sub>2</sub>:

$$M_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot (C_{МЕТ.Ш.} - 0,01 \cdot M_{СТ} \cdot C_{ПОВ}) \cdot \alpha + 0,01 \cdot M_{ВАП} \cdot CO_{2 \text{ ВАП}} \cdot \alpha, \text{ кг} \quad (2.31)$$

або

$$V_{CO_2} = M_{CO_2} \cdot \frac{22,4}{44}, \text{ м}^3. \quad (2.32)$$

2.11.2. Утворюється CO:

$$M_{CO} = \frac{28}{12} \cdot (C_{МЕТ.Ш.} - 0,01 \cdot M_{СТ} \cdot C_{ПОВ}) \cdot (1 - \alpha) + 0,01 \cdot M_{ВАП} \cdot CO_{2ВАП} \cdot (1 - \alpha), \text{ кг.} \quad (2.33)$$

$$V_{CO} = M_{CO} \cdot \frac{22,4}{28}, \text{ м}^3. \quad (2.34)$$

2.11.3. Виділяється N<sub>2</sub> (з дуття):

$$M_{N_2} = M_{ДУТТЯ} \cdot \frac{100 - n}{100}, \text{ кг,} \quad (2.35)$$

$$V_{N_2} = M_{N_2} \cdot \frac{22,4}{28}, \text{ м}^3. \quad (2.36)$$

2.11.4. Уходить O<sub>2</sub> з відхідними газами:

$$M_{O_2} = (M_{O_2ВІТР} - M_{O_2ПРИХ}) \cdot \frac{100 - k}{100}, \text{ кг,} \quad (2.37)$$

$$V_{O_2} = M_{O_2} \cdot \frac{22,4}{32}, \text{ м}^3. \quad (2.38)$$

2.11.5. В результаті отримуємо данні для таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Кількість і склад конвертерних газів

Складові газу	кг	м <sup>3</sup>	% за об'ємом
CO	M <sub>CO</sub>	V <sub>CO</sub>	100 · V <sub>CO</sub> / V <sub>ГАЗ</sub>
CO <sub>2</sub>	M <sub>CO2</sub>	V <sub>CO2</sub>	100 · V <sub>CO2</sub> / V <sub>ГАЗ</sub>
N <sub>2</sub>	M <sub>N2</sub>	V <sub>N2</sub>	100 · V <sub>N2</sub> / V <sub>ГАЗ</sub>
O <sub>2</sub>	M <sub>O2</sub>	V <sub>O2</sub>	100 · V <sub>O2</sub> / V <sub>ГАЗ</sub>
Сума	M <sub>ГАЗ</sub>	V <sub>ГАЗ</sub>	100

2.12. Матеріальний баланс плавки (до розкислення)

Наводиться у вигляді таблиці 2.6.

Для прикладу в табл. 2.6 наведений примірний матеріальний баланс звичайної киснево-конвертерної плавки.

Таблиця 2.6

Матеріальний баланс плавки (до розкислення)

ПОСТУПИЛО				ОТРИМАНО				
№	Матеріал	Позначення	кг	№	Матеріал	Позначення	кг	
1.	Чавун рідкий	M <sub>ЧАВ</sub>	75,64	1.	Рідкий метал	M <sub>СТ</sub>	90,639	
2.	Скрап	M <sub>СКР</sub>	23,96	2.	Шлак	M <sub>ШЛ</sub>	11,74	
3.	Міксерний шлак	$\frac{a}{100} \cdot M_{ЧАВ}$	0,46	3.	Гази	M <sub>ГАЗ</sub>	7,962	
4.	Забруднення скрапу	$\frac{b}{100} \cdot M_{СКР}$	0,155	4.	Втрати Fe під час продувки	ΔFe <sub>ВТР</sub>	3,553	
5.	Окалина скрапу	$\frac{c}{100} \cdot M_{СКР}$	0,285					
6.	Плавиковий шпат	M <sub>П.Ш.</sub>	0,45					
7.	Вапно	M <sub>ВАП</sub>	6,3					
8.	Футерівка	M <sub>Ф</sub>	0,2					
9.	Дуття	M <sub>ДУТТЯ</sub>	6,46					
			Всього	113,91			Всього	113,89

$$\text{Нев'язка} = \frac{113,91 - 113,894}{113,894} \cdot 100 = 0,01\% \quad (\text{припустимо до } 0,20\%).$$

### 3. РОЗРАХУНОК РОЗКИСЛЕННЯ СТАЛІ

Таблиця 3.2

Розкислення сталі виконується за найбільш поширеним варіантом – з присадкою усіх феросплавів в ківш під час випуску сталі з конвертера.

Для розкислення сталі використовуються феросплави, хімічний склад яких наведений в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Хімічний склад феросплавів

Розкислювачі	Mn	Si	C	P	S
Феромарганець	$\frac{Mn_{\text{ФМ}}}{75 - 85}$	$\frac{Si_{\text{ФМ}}}{1 - 2}$	$\frac{C_{\text{ФМ}}}{6 - 7}$	$\frac{P_{\text{ФМ}}}{0,10 - 0,45}$	$\frac{S_{\text{ФМ}}}{0,02 - 0,03}$
Феросіліцій	$\frac{Mn_{\text{ФС}}}{0,3 - 0,6}$	$\frac{Si_{\text{ФС}}}{63 - 68}$	$\frac{C_{\text{ФС}}}{0 - 0,1}$	$\frac{P_{\text{ФС}}}{0,03 - 0,05}$	$\frac{S_{\text{ФС}}}{0,02 - 0,03}$
Силікомарганець	$\frac{Mn_{\text{СМ}}}{60 - 65}$	$\frac{Si_{\text{СМ}}}{17 - 20}$	$\frac{C_{\text{СМ}}}{1,0 - 1,7}$	$\frac{P_{\text{СМ}}}{0,25 - 0,35}$	$\frac{S_{\text{СМ}}}{0,02 - 0,03}$

Для розрахунку розкислення необхідно вибрати склад матеріалу в межах, наведених в таблиці.

Розрахунок потрібної кількості розкислювачів (феромарганцю, феросіліцію, силікомарганцю) виконується на середньозаданий вміст Mn і Si в готовій сталі з урахуванням їх угару. В залежності від типу сталі, що виплавляється, (кипляча, спокійна) і вмісту вуглецю в металі перед розкисленням  $C_{\text{пов}}$  угар елементів розкислювачів можна приймати в межах, наведених в таблиці 3.2.

Величина угару елементів розкислювачів, %

Тип сталі	Вміст вуглецю в металі $C_{\text{пов}}$ , %	Угар елементів, %		
		C	Mn	Si
Кипляча	$\leq 0,10$	$\frac{L_C}{10 - 25}$	$\frac{L_{Mn}}{25 - 30}$	$\frac{L_{Si}}{60 - 70}$
	0,11 – 0,16	$\frac{L_C}{17 - 22}$	$\frac{L_{Mn}}{20 - 25}$	$\frac{L_{Si}}{55 - 60}$
	$\geq 0,17$	$\frac{L_C}{14 - 18}$	$\frac{L_{Mn}}{15 - 20}$	$\frac{L_{Si}}{50 - 55}$
Спокійна	$\leq 0,10$	$\frac{L_C}{17 - 22}$	$\frac{L_{Mn}}{20 - 25}$	$\frac{L_{Si}}{25 - 30}$
	0,11 – 0,16	$\frac{L_C}{15 - 20}$	$\frac{L_{Mn}}{15 - 20}$	$\frac{L_{Si}}{20 - 25}$
	$\geq 0,17$	$\frac{L_C}{12 - 16}$	$\frac{L_{Mn}}{12 - 16}$	$\frac{L_{Si}}{15 - 20}$

#### 3.1. Розрахунок необхідної кількості розкислювачів

3.1.1. Для одержання заданого вмісту марганцю в сталі необхідно ввести в неї феромарганець в кількості

$$M_{\text{ФМ}} = 0,01 \cdot M_{\text{СТ}} \cdot \left( \frac{Mn_{\text{СТ}}^B + Mn_{\text{СТ}}^H}{2} - Mn_{\text{пов}} \right) \cdot \frac{100}{Mn_{\text{ФМ}}} \cdot \frac{100}{100 - L_{Mn}}, \text{ кг.} \quad (3.1)$$

3.1.2. Для доведення вмісту кремнія в сталі до заданого необхідно ввести в неї феросіліцій в кількості

$$M_{\text{ФС}} = 0,01 \cdot M_{\text{СТ}} \cdot \left( \frac{Si_{\text{СТ}}^B + Si_{\text{СТ}}^H}{2} \right) \cdot \frac{100}{Si_{\text{ФС}}} \cdot \frac{100}{100 - L_{Si}}, \text{ кг.} \quad (3.2)$$

### 3.2. Вихід рідкої сталі після розкислення

$$M_{CT.P} = M_{CT} + 0,01 \cdot M_{\Phi M} \cdot \left( Mn_{\Phi M} \cdot \frac{100 - L_{Mn}}{100} + Si_{\Phi M} \cdot \frac{100 - L_{Si}}{100} + C_{\Phi M} \cdot \frac{100 - L_C}{100} + P_{\Phi M} + S_{\Phi M} \right) + 0,01 \cdot M_{\Phi C} \cdot \left( Mn_{\Phi C} \cdot \frac{100 - L_{Mn}}{100} + Si_{\Phi C} \cdot \frac{100 - L_{Si}}{100} + C_{\Phi C} \cdot \frac{100 - L_C}{100} + P_{\Phi C} + S_{\Phi C} \right), \text{ кг.} \quad (3.3)$$

### 3.3. Перевірка хімічного складу розкисленої (готової) сталі

Перевіряємо вміст в сталі вуглецю:

$$C_{CT.P} = \frac{M_{CT} \cdot C_{ПОВ} + (1 - 0,01 \cdot L_C) \cdot (M_{\Phi M} \cdot C_{\Phi M} + M_{\Phi C} \cdot C_{\Phi C})}{M_{CT.P}}, \text{ \%}; \quad (3.4)$$

марганцю:

$$Mn_{CT.P} = \frac{M_{CT} \cdot Mn_{ПОВ} + (1 - 0,01 \cdot L_{Mn}) \cdot (M_{\Phi M} \cdot Mn_{\Phi M} + M_{\Phi C} \cdot Mn_{\Phi C})}{M_{CT.P}}, \text{ \%}; \quad (3.4)$$

кремнію:

$$Si_{CT.P} = \frac{M_{CT} \cdot Si_{ПОВ} + (1 - 0,01 \cdot L_{Si}) \cdot (M_{\Phi M} \cdot Si_{\Phi M} + M_{\Phi C} \cdot Si_{\Phi C})}{M_{CT.P}}, \text{ \%}; \quad (3.4)$$

фосфору:

$$P_{CT.P} = \frac{M_{CT} \cdot P_{ПОВ} + M_{\Phi M} \cdot P_{\Phi M} + M_{\Phi C} \cdot P_{\Phi C}}{M_{CT.P}}, \text{ \%}; \quad (3.4)$$

сірки:

$$S_{CT.P} = \frac{M_{CT} \cdot S_{ПОВ} + M_{\Phi M} \cdot S_{\Phi M} + M_{\Phi C} \cdot S_{\Phi C}}{M_{CT.P}}, \text{ \%} \quad (3.4)$$

і порівнюємо одержані величини з заданими (табл. 1.1). Якщо  $C_{CT}^H < C_{CT.P} < C_{CT}^B$ ,  $Mn_{CT}^H < Mn_{CT.P} < Mn_{CT}^B$ ,  $Si_{CT}^H < Si_{CT.P} < Si_{CT}^B$ ,  $P_{CT.P} < P_{CT}^B$ ,  $S_{CT.P} < S_{CT}^B$ , то розрахунки в розділах 2 і 3 виконані вірно.

## 4. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ ПЛАВКИ

Наведені нижче рівняння вміщують теплоємкості, тепловмісти речовин, що беруть участь в плавці, і теплові ефекти хімічних реакцій, значення яких взяті з робіт [1-6].

### 4.1. Прихід тепла

Чавун вносить

$$Q_{ЧАВ} = M_{ЧАВ} \cdot (61,9 + 0,88 \cdot t_{ЧАВ}), \text{ кДж.} \quad (4.1)$$

Міксерний шлак вносить

$$Q_{М.Ш} = (1,53 \cdot t_{ЧАВ} - 710) \cdot a \cdot \frac{M_{ЧАВ}}{100}, \text{ кДж.} \quad (4.2)$$

Окислення домішок металошихти вносить

$$Q_{ДОМ} = [11680 \cdot (1 - \alpha) + 35300 \cdot \alpha] \cdot (C_{МЕТ.Ш} - 0,01 \cdot M_{CT} \cdot C_{ПОВ}) + 26930 \cdot Si_{МЕТ.Ш} + 7035 \cdot (Mn_{МЕТ.Ш} - 0,01 \cdot M_{CT} \cdot Mn_{ПОВ}) + 19755 \cdot (P_{МЕТ.Ш} - 0,01 \cdot M_{CT} \cdot P_{ПОВ}), \text{ кДж.} \quad (4.3)$$

Окислення заліза, що переходить в шлак і пил, вносить

$$Q_{\text{Fe}} = 0,01 \cdot M_{\text{шл}} \cdot [3600 \cdot (\text{FeO}) + 5110 \cdot (\text{Fe}_2\text{O}_3) + 5110 \cdot \varphi] , \text{кДж.} \quad (4.4)$$

Тепло шлакоутворення вносить

$$Q_{\text{шл.утв.}} = 0,01 \cdot M_{\text{шл}} \cdot [2300 \cdot (\text{SiO}_2) + 4,866 \cdot (\text{P}_2\text{O}_5)] , \text{кДж.} \quad (4.5)$$

Таким чином, прихід тепла дорівнює

$$Q_{\text{прихд}} = Q_{\text{чав}} + Q_{\text{м.ш.}} + Q_{\text{дом}} + Q_{\text{Fe}} + Q_{\text{шл.утв.}} , \text{кДж.} \quad (4.6)$$

#### 4.2. Витрата тепла

Рідка сталь уносить

$$Q_{\text{ст}} = M_{\text{ст}} \cdot (54,8 + 0,84 \cdot t_{\text{ст}}) , \text{кДж.} \quad (4.7)$$

Шлак уносить

$$Q_{\text{шл}} = M_{\text{шл}} \cdot (2,09 \cdot t_{\text{ст}} - 1380) , \text{кДж.} \quad (4.8)$$

Конвертерні гази уносять (для спрощення розрахунку прийняті постійні теплоємності газів, що відповідають температурам 1450 – 1500 °С)

$$Q_{\text{газ}} = \frac{t_{\text{чав}} + t_{\text{ст}}}{2} \cdot (1,466 \cdot V_{\text{CO}} + 2,353 \cdot V_{\text{CO}_2} + 1,44 \cdot V_{\text{N}_2} + 1,528 \cdot V_{\text{O}_2}) , \text{кДж.} \quad (4.9)$$

Дисоціація окислів заліза шихти

$$Q_{\text{дис}}^{\text{Fe}} = 3600 \cdot 0,01 \cdot \left( \frac{a}{100} \cdot M_{\text{чав}} \cdot \text{FeO}_{\text{м.ш.}} + \frac{c}{100} \cdot M_{\text{скр}} \cdot \text{FeO}_{\text{ок}} \right) + 5110 \cdot 0,01 \cdot \left( M_{\text{ф}} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{ф}} + \frac{c}{100} \cdot M_{\text{скр}} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{ок}} \right) , \text{кДж.} \quad (4.10)$$

Дисоціація CaCO<sub>3</sub>

$$Q_{\text{дис}}^{\text{CaCO}_3} = 4040 \cdot 0,01 \cdot M_{\text{вап}} \cdot \text{CO}_{2\text{вап}} , \text{кДж,} \quad (4.11)$$

де 4040 – теплота дисоціації CaCO<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, кДж/кг.

Уносятся з пилом

$$Q_{\text{пил}} = \varphi \cdot (23,05 + 0,69 \cdot \frac{t_{\text{чав}} + t_{\text{ст}}}{2}) , \text{кДж.} \quad (4.12)$$

Уносятся з викидами металу, корольками металу в шлаці і виплесками

$$Q_{\text{вкв}} = (\Delta\text{Fe}_{\text{втр}} - \varphi) \cdot (54,9 + 0,838 \cdot t_{\text{ст}}) , \text{кДж.} \quad (4.13)$$

Теплові втрати у конвертерах зручно класифікувати, прив'язуючи їх тільки до періоду продувки (часом виділення тепла):

- 1) втрати випромінюванням через корпус конвертера (0,2 – 0,7 % від приходу тепла);
- 2) втрати, пов'язані з акумуляцією тепла футерівкою (2,2 – 2,8 %);
- 3) втрати з охолоджуючою фурму водою (0,35 – 0,70 %).

Сумарні теплові втрати у великовантажних конвертерах (150 – 400 т) треба приймати в межах 2,6 – 3,1 % від загального приходу тепла на плавку:

$$Q_{\text{ВТР}} = 0,01 \cdot Q_{\text{ПРИХІД}} \cdot 2,6, \text{ кДж.} \quad (4.13)$$

Таким чином, витрата тепла складає

$$Q_{\text{ВИТРАТА}} = Q_{\text{СТ}} + Q_{\text{ШЛ}} + Q_{\text{ГАЗ}} + Q_{\text{ДИС}}^{\text{Fe}} + Q_{\text{ДИС}}^{\text{CaCO}_3} + Q_{\text{ПИЛ}} + Q_{\text{ВКВ}} + Q_{\text{ВТР}}, \text{ кДж.} \quad (4.14)$$

## 5. РОЗРАХУНОК КОРИГУЮЧИХ ДОБАВОК

Коригуючі операції призводяться, якщо різниця між приходом і витратою тепла перевищує 0,5 – 0,8 %, що відповідає відхиленню фізичної температури сталі від середньозаданої на  $\pm 10 - 15$  °С.

В студентських роботах розрахунок коригуючих добавок необхідно виконувати в усіх випадках (незалежно від величини різниці між приходом і витратою тепла).

Надлишок (дефіцит) тепла  $\Delta Q$  складає:

$$\Delta Q = Q_{\text{ПРИХІД}} - Q_{\text{ВИТРАТА}}, \text{ кДж} \quad (5.1)$$

або

$$\Delta Q' = \frac{\Delta Q}{Q_{\text{ПРИХІД}}} \cdot 100, \text{ \% від приходу тепла.} \quad (5.2)$$

Коригуюча кількість сталюого скрапу  $\Delta M_{\text{скр}}$  складає

$$\Delta M_{\text{скр}} = \frac{\Delta Q}{0,84 \cdot t_{\text{СТ}} + 54,9}, \text{ кг,} \quad (5.3)$$

де  $(0,84 \cdot t_{\text{СТ}} + 54,9)$  - охолоджуючий ефект сталюого скрапу, кДж/кг.

В кінці розділу 5 повинні бути наведені висновок щодо температури отриманої сталі (більше або нижче заданої), а також рішення автора роботи відносно використання розрахованої коригуючої кількості сталюого скрапу.

Для спрощення розрахунку зміною статей матеріального балансу плавки і хімічного складу сталі при зміні витрати скрапу, пов'язаній з коригуючими операціями, можна зневажити.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Баптизманский В.И., Бойченко Б.М., Черевко В.П. Тепловая работа кислородных конвертеров. – М.: Metallurgiya, 1988. – 176 с.
2. Бойченко Б.М., Яковлев Ю.Н. Расчет конвертерной плавки с верхним кислородным дутьем. Учеб. пособие. – Днепропетровск: ДМетИ, 1977. – 78 с.
3. Методические указания по расчету конвертерной плавки с использованием ЭВМ. – Днепропетровск: ДМетИ, 1989. – 57 с.
4. Бигеев А.М. Математическое описание и расчеты плавильных процессов. – М.: Metallurgiya, 1982. – 153 с.
5. Баптизманский В.И., Меджибожский М.Я., Охотский В.Б. Конвертерные процессы производства стали. – Киев-Донецк: Вища школа, 1984. – 343 с.
6. Явойский В.И., Кряковский Ю.В., Григорьев В.П. и др. Metallurgiya стали. М.: Metallurgiya, 1983. – 583 с.

Індивідуальні завдання

№	Склад чавуну, %					Склад готової сталі, %					Температура, °С	
	C	Si	Mn	P	S	C	Si	Mn	P не більше	S не більше	чавуну	сталі
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	4,32	0,85	1,0	0,17	0,05	0,38 – 0,46	0,20 – 0,30	0,58 – 0,78	0,04	0,04	1350	1595
2.	4,65	0,94	0,95	0,16	0,06	0,08 – 0,16	сліди	0,33 – 0,53	0,05	0,04	1370	1620
3.	4,45	0,88	1,15	0,17	0,45	0,15 – 0,23	0,19 – 0,29	0,44 – 0,64	0,04	0,05	1380	1600
4.	4,60	0,73	0,98	0,18	0,05	0,13 – 0,21	0,18 – 0,28	0,40 – 0,60	0,05	0,05	1335	1610
5.	4,25	0,82	1,08	0,15	0,045	0,30 – 0,38	0,18 – 0,28	0,48 – 0,68	0,045	0,04	1350	1590
6.	4,40	0,85	1,13	0,20	0,05	0,14 – 0,22	0,16 – 0,26	0,36 – 0,56	0,05	0,04	1330	1620
7.	4,70	0,91	0,98	0,20	0,040	0,08 – 0,16	сліди	0,30 – 0,50	0,05	0,04	1380	1620
8.	4,35	0,80	1,05	0,19	0,05	0,20 – 0,28	0,14 – 0,24	0,46 – 0,66	0,04	0,04	1340	1610
9.	4,29	0,78	1,13	0,18	0,05	0,10 – 0,18	0,18 – 0,28	0,40 – 0,60	0,05	0,05	1370	1620
10.	4,55	0,81	1,02	0,18	0,06	0,12 – 0,19	0,17 – 0,27	0,37 – 0,67	0,05	0,05	1360	1620
11.	4,70	0,83	0,73	0,12	0,05	0,25 – 0,33	0,20 – 0,30	0,60 – 0,80	0,04	0,04	1325	1600
12.	4,30	0,80	0,69	0,18	0,06	0,08 – 0,16	сліди	0,35 – 0,55	0,04	0,05	1380	1625
13.	4,40	0,91	0,92	0,20	0,04	0,10 – 0,18	0,15 – 0,25	0,40 – 0,60	0,05	0,05	1340	1620

Продовження табл. Д.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14.	4,50	0,95	0,85	0,16	0,04	0,06 – 0,14	сліди	0,30 – 0,50	0,05	0,05	1370	1620
15.	4,20	1,00	1,00	0,20	0,05	0,30 – 0,38	0,25 – 0,35	0,50 – 0,70	0,045	0,04	1330	1590
16.	4,50	0,85	0,67	0,11	0,06	0,42 – 0,50	0,18 – 0,26	0,58 – 0,78	0,05	0,04	1390	1580
17.	4,50	0,67	1,10	0,14	0,05	0,30 – 0,36	0,16 – 0,26	0,45 – 0,65	0,04	0,04	1380	1590
18.	4,22	0,70	0,70	0,18	0,05	0,14 – 0,22	0,17 – 0,27	0,40 – 0,60	0,05	0,05	1350	1610
19.	4,40	0,80	1,06	0,12	0,06	0,22 – 0,30	0,25 – 0,35	0,60 – 0,80	0,045	0,04	1320	1600
20.	4,50	0,90	1,02	0,19	0,05	0,12 – 0,20	0,16 – 0,26	0,35 – 0,55	0,05	0,05	1350	1620
21.	4,60	0,88	0,60	0,13	0,04	0,48 – 0,53	0,18 – 0,28	0,60 – 0,80	0,05	0,04	1360	1580
22.	4,55	0,77	0,85	0,12	0,06	0,25 – 0,33	0,23 – 0,33	0,40 – 0,60	0,04	0,04	1370	1590
23.	4,45	0,75	1,15	0,12	0,045	0,15 – 0,23	0,25 – 0,35	0,45 – 0,65	0,04	0,04	1380	1600
24.	4,38	0,84	1,08	0,13	0,05	0,40 – 0,48	0,18 – 0,28	0,65 – 0,85	0,045	0,04	1400	1590
25.	4,40	0,69	0,65	0,16	0,06	0,48 – 0,53	0,25 – 0,35	0,60 – 0,80	0,045	0,04	1380	1590
26.	4,60	0,93	1,12	0,14	0,05	0,22 – 0,30	0,16 – 0,26	0,45 – 0,65	0,05	0,04	1390	1600
27.	4,42	0,86	1,05	0,19	0,055	0,21 – 0,29	0,17 – 0,27	0,40 – 0,60	0,045	0,045	1370	1600
28.	4,35	0,70	0,80	0,16	0,05	0,16 – 0,24	0,18 – 0,28	0,55 – 0,75	0,04	0,04	1380	1600
29.	4,62	0,97	0,97	0,13	0,04	0,36 – 0,44	0,23 – 0,33	0,60 – 0,80	0,04	0,04	1370	1590
30.	4,29	0,72	0,90	0,14	0,045	0,15 – 0,23	0,25 – 0,35	0,45 – 0,65	0,04	0,04	1350	1600