

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до практичних занять з дисципліни  
«Ресурсозбереження та охорона довкілля»**

для студентів спеціальності 136 «Металургія»  
групи МЕ-03

## 1 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ СИРОВИНИ

Кількісною оцінкою безвідходності технологічного процесу може служити коефіцієнт використання сировини (КВС). КВС - відношення загальної маси зробленої продукції  $M_p$  до маси сировини, напівфабрикатів і інших споживаних у процесі виробництва речовин  $M_c$ :

$$\text{КВС} = M_p/M_c \quad (1)$$

КВС може розраховуватися для окремого технологічного агрегату, процесу, цеху, підприємства чи для галузі промисловості. КВС - головний показник досягнутого рівня безвідходності. Виробництво може вважатися безвідхідним при  $\text{КВС} \leq 0,9$ , маловідходним при  $0,8 \leq \text{КВС} < 0,9$ , за умови, що відходи цього виробництва не є високотоксичними чи радіоактивними. Для чорної металургії в цілому КВС складає близько 0,4.

Значення КВС залежить від того, які речовини враховуються в масах сировини і продукції. Наприклад, при аналізі доменного процесу в масу продукції ( $M_p$ ) може входити тільки чавун. Однак, як продукцію можна розглядати і колошниковий (доменний) газ, що використовується як паливо. КВС у такому випадку буде більше. Якщо доменний шлак використовується в будівництві, для виробництва цементу, шлакового лиття чи в інших цілях, використовувану масу шлаку також можна віднести до продукції. Значення КВС ще більш зросте.

До сировини можна відносити паливо, що спалюється при виробництві продукції, атмосферний кисень, що йде на горіння, енергетичне паливо, що витрачається на електростанціях для вироблення електроенергії, затрачуваної на виробництво продукції.

### Приклад

При виплавці сталі в мартенівській печі з 1т шихти (руди і брухту) отримано 700 кг сталі. При цьому було використано 200 кг флюсів. Витрата мазуту склала 580 кг/т сталі. Визначити КВС.

На 700 кг сталі було витрачено  $580 \cdot 0,7 = 406$  кг мазуту. Тоді маса сировини  $M_c = 1000 + 200 + 406 = 1606$  кг.

$$\text{КВС}_1 = 700/1606 = 0,436$$

Якщо як сировину розглядати тільки вихідні матеріали для виплавки сталі (без обліку палива), одержимо:  $M_c = 1000 + 200 = 1200$  кг.

$$KBC_2 = 700/1200 = 0,583$$

При спалюванні мазуту витрачається кисень атмосфери, що у даному випадку можна розглядати як сировину. На спалювання 1 кг мазуту витрачається близько  $11 \text{ м}^3$  повітря. При зміні кисню в повітрі 21% одержимо витрату кисню  $11 \cdot 0,21 = 2,31 \text{ м}^3$ . При рідині кисню  $1,43 \text{ кг/м}^3$  це складе  $3,3 \text{ кг/кг}$  мазуту. Для спалювання 406 кг мазуту необхідно  $3,3 \cdot 406 = 1341 \text{ кг}$  кисню. КВС з урахуванням витраченого кисню:

$$KBC_3 = 700/(1606 + 1341) = 0,238$$

У знайдених коефіцієнтах не враховані витрати електроенергії. На виплавку стали витрачається деяка кількість електроенергії, для вироблення якої необхідно спалювати паливо. КВС, розрахований з урахуванням цього палива, буде мати ще менше значення, чим  $KBC_3$ . При розрахунку кількості палива, що витрачається на виробництво електроенергії, необхідно знати частку ТЕС у виробленні спожитої енергії. Витрати сировини, матеріалів і т.д. при виробленні електроенергії на АЕС і ГЕС можна не враховувати, тому що вони вельми незначні.

Говорячи про безвідходність виробництва, звичайно мають на увазі  $KBC_2$ .

Якщо мається ряд послідовних технологічних переділів з коефіцієнтами  $KBC_i$ , то загальний  $KBC_\Sigma$  для усього виробництва знаходиться як добуток:

$$KBC_\Sigma = \prod KBC_i \quad (2)$$

### Задача 1

При плавці на лабораторній електропечі як сировину узяті  $m_1$  г мартенівського пилу (уловленого при очищенні газів, що відходять від мартенівської печі). У якості відновлювача використано  $m_2$  г антрациту. У результаті плавки отримано  $m_3$  г чавуну. Тривалість плавки -  $\tau$  хв. Середня сила струму -  $I$ , напруга -  $U$ . Визначити КВС без урахування і з урахуванням спожитої електроенергії. Вважати, що на ТЕС виробляється 40% електроенергії в енергосистемі, до якої підключена піч. Витрата умовного палива на ТЕС -  $300 \text{ г/кВт} \cdot \text{год}$ . На ТЕС спалюються донецькі вугілля з нижчою робочою теплотою згоряння  $25 \text{ МДж/кг}$ . Теплота згоряння умовного палива -  $29,3 \text{ МДж/кг}$ .

№ вар.	m <sub>1</sub> , Г	m <sub>2</sub> , Г	m <sub>3</sub> , Г	τ, хв.	I, А	U, В
1	100	30	65	10	1100	20
2	300	100	200	15	1200	25
3	150	40	80	15	1000	22
4	200	55	140	20	900	20
5	100	35	68	12	1200	20
6	500	140	330	25	1200	23
7	400	130	300	25	1000	20
8	350	110	250	18	1050	19
9	250	70	170	16	1100	21
10	600	190	410	27	1150	23

## Задача 2

Сировиною для виробництва алюмінію служить боксит, що містить гідроксиди алюмінію -  $Al(OH)_3$  і  $AlO(OH)$ . На першій стадії виробництва одержують з бокситу глинозем  $Al_2O_3$ . Технологічні операції – вилуживання (переведення з'єднань алюмінію в розчинний стан), карбонізація (осадження  $Al(OH)_3$ ) і кальцинація (прожарювання гідроксиду з одержанням глинозему). Частина алюмінію при цьому губиться з відходами: при вилуживанні - з червоним шламом, при кальцинації – з пилом.

Друга стадія – електроліз розчину глинозему в розплавленому кріоліті з одержанням металевого алюмінію.

Визначити КВС при виробництві глинозему, при електролізі й у цілому по виробництву алюмінію без обліку витраченого палива й електроенергії. Утрати сировини при електролізі не враховувати.

№ вар.	Вміст у бокситі $Al(OH)_3$ , %	Вміст у бокситі $AlO(OH)$ , %	Здобуття гідроксидів з бокситу, %
1	2	3	4
1	40	10	90
2	38	10	92
3	42	15	85
4	30	30	88

1	2	3	4
5	35	32	94
6	40	35	95
7	25	25	87
8	20	45	90
9	50	28	96
10	70	-	92
11	64	21	87
12	68	-	91
13	42	14	96
14	38	6	89
15	24	11	83
16	29	27	86
17	19	4	81
18	67	10	90
19	-	34	92
20	14	57	80

### Задача 3

Технологічний ланцюжок складається із трьох послідовних виробничих процесів. Визначити  $KBC_1$  першого переділу, якщо відомі  $KBC_i$  інших переділів і всього виробництва у цілому  $KBC$ .

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$KBC_2$	0,8	0,9	0,75	0,6	0,95	0,54	0,71	0,44	0,96	0,5
$KBC_3$	0,7	0,8	0,75	0,95	0,85	0,45	0,74	0,33	0,27	0,5
$KBC$	0,5	0,6	0,55	0,42	0,8	0,15	0,45	0,08	0,2	0,22

## 2 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДХОДНОСТІ

Екологічні показники безвідходності визначаються із порівняння фактичних і гранично допустимих концентрацій. За безвідхідний рівень концентрації шкідливих речовин у газах, що викидаються в атмосферу, приймають 50 ГДК. Екологічний показник безвідходності для атмосфери для  $i$ -ї шкідливої речовини:

$$\mathcal{E}_{Ai} = \text{ГДК}_i \cdot A_T / (\text{ГДК}_i \cdot A_T + 0,02C_i \cdot A_\Phi), \quad (3)$$

де  $\text{ГДК}_i$  - гранично допустима концентрація  $i$ -ї речовини,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $C_i$  - концентрація  $i$ -ї речовини в газах,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $A_T$  і  $A_\Phi$  - теоретична і фактична витрата газів на одиницю продукції ( $\text{м}^3/\text{т}$ ,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ,  $\text{м}^3/\text{шт.}$ ,  $\text{кг}/\text{т}$ ) чи за одиницю часу ( $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$ ,  $\text{м}^3/\text{рік}$ ,  $\text{кг}/\text{с}$  і т.д.).

Значення  $\mathcal{E}_{Ai}$  визначаються для всіх шкідливих компонентів, що містяться в газах. Про безвідходність судять за найменшим значенням  $\mathcal{E}_{Ai} = \mathcal{E}_A$ . Процес можна вважати безвідхідним при  $\mathcal{E}_A \geq 0,5$ .

Екологічний показник безвідходності для гідросфери:

$$\mathcal{E}_{\Gamma i} = \text{ГДК}'_i \cdot \Gamma_T / (\text{ГДК}'_i \cdot \Gamma_T + C_i \cdot \Gamma_\Phi), \quad (4)$$

де  $\text{ГДК}'_i$  - гранично припустима концентрація  $i$ -ї речовини у водоймах,  $\text{мг}/\text{л}$ ;  $C_i$  - дійсна концентрація  $i$ -ї речовини в стічних водах, що скидаються у водойми,  $\text{мг}/\text{л}$ ;  $\Gamma_T$  і  $\Gamma_\Phi$  - теоретична і фактична витрата стічних вод ( $\text{м}^3/\text{т}$ ,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{л}/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  і т.д.).

Так само, як і для атмосферного показника,  $\mathcal{E}_{\Gamma i}$  визначається для всіх шкідливих компонентів, що містяться в стічних водах. Для характеристики безвідходності вибирається мінімальний коефіцієнт.

Технологічний процес можна вважати безвідхідним при  $\mathcal{E}_\Gamma \geq 0,5$ , хоча в багатьох випадках вимоги до безвідходності такі, що процес по даному показнику повинний бути цілком безвідхідним ( $\mathcal{E}_\Gamma = 1$ ).

Екологічний показник безвідходності для літосфери:

$$\mathcal{E}_L = L_T / (L_T + L_\Phi), \quad (5)$$

де  $L_T$  і  $L_\Phi$  - теоретичний (чи нормований) і фактичний обсяги твердих відходів, що надходять у відвали, смітники ( $\text{т}/\text{т}$ ,  $\text{м}^3/\text{т}$ ,  $\text{т}/\text{рік}$ ).

Технологічний процес безвідхідний при  $\mathcal{E}_L = 1$ .

Ступінь досконалості технології може бути визначена по загальному екологічному коефіцієнту безвідходності, що відбиває сумарний вплив викидів на навколишнє середовище:

$$\mathcal{E} = 3 / (1/\mathcal{E}_A + 1/\mathcal{E}_\Gamma + 1/\mathcal{E}_L) \quad (6)$$

Більш точно відбиває вплив на навколишнє середовище підприємства (цеху, окремого агрегату) середньозважений екологічний показник безвідходності:

$$\mathcal{E}_c = 3(A_{\phi} + \Gamma_{\phi} + L_{\phi}) / (A_{\phi}/\mathcal{E}_A + \Gamma_{\phi}/\mathcal{E}_T + L_{\phi}/\mathcal{E}_L) \quad (7)$$

Усі величини, що входять у рівняння (7), повинні вимірятися в однакових одиницях.

#### Задача 4

Визначити показники  $\mathcal{E}_A$ ,  $\mathcal{E}_T$ ,  $\mathcal{E}_L$  і  $\mathcal{E}$ , якщо фактичні газоподібні викиди підприємства на 20% перевищують теоретичні, теоретична витрата стічних вод  $\Gamma_T = 4000 \text{ м}^3/\text{год}$ , відношення  $L_{\phi}/L_T$  зазначене в таблиці.

Показники  $\mathcal{E}_A$  і  $\mathcal{E}$  визначити для двох випадків:

- газові викиди підприємства не досягають житлової зони;
- газові викиди досягають житлової зони.

№ вар.	Вміст шкідливих речовин в газах, мг/м <sup>3</sup>			Вміст шкідливих р-ин в стоках, мг/л			$\Gamma_{\phi}$ , млн.м <sup>3</sup> За рік	$L_{\phi}/L_T$
	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	бензол	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S		
1	200	100	50	2	3	0,5	35	1,2
2	300	200	60	3	0,3	0,7	40	1,3
3	500	300	70	1	2	1,5	45	1,4
4	400	350	80	0,5	10	1	38	1,5
5	600	450	90	0,1	8	2	42	2
6	1000	250	100	0,8	6	3	54	1,15
7	1500	600	120	4	4	4	30	1
8	100	80	-	2,2	5	10	47	0,5
9	50	-	150	3	0,5	0,2	36	0,35
10	-	40	50	0,3	1	0,1	33	0

#### Задача 5

Визначити максимальну концентрацію шкідливої речовини в газах, що відходять, за якої технологічний агрегат може вважатися безвідхідним у відношенні викидів в атмосферу. Вважати, що викиди впливають на працівників підприємства.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Речо-Вина	CO	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	HCl	Cl <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
$A_T/A_{\phi}$	1	2	0,5	0,3	1,5	3	1,25	0,75	0,8	1,8

### Задача 6

Визначити екологічний показник безвідходності для атмосфери, якщо у газових викидах є оксид вуглецю. Витрати газів –  $Q$ , м<sup>3</sup>/год., до атмосфери викидається  $G$  кг СО за добу, що відповідає проектному значенню. Викиди діють на робітників підприємства.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q	1000	2000	$5 \cdot 10^5$	800	74500	1600	14000	29000	1350	7000
G	25	120	4400	32	1200	74	820	1700	110	670



### 3 ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДХОДНОСТІ

Розрахунок ефективності використання палива в теплових установках може бути заснований на першому законі термодинаміки. У цьому випадку основою визначення показника безвідходності є енергетичний баланс тепла. При порівнянні однотипних теплових установок між собою (нагрівальних печей різного типу, парових котлів різного виду) як енергетичний показник безвідходності може використовуватися коефіцієнт використання палива:

$$\text{КВП} = (Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{ф}} - Q_{\text{у}})/Q_{\text{н}}^{\text{р}}, \quad (8)$$

де  $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  - нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг чи МДж/м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{ф}}$  - фізичне тепло палива і повітря, що йде на горіння, віднесене до одиниці маси чи об'єму палива, МДж/кг, МДж/м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{у}}$  - утрати тепла з газами, що відходять, а також з хімічним і механічним недопалюванням на одиницю палива, МДж/кг, МДж/м<sup>3</sup>.

КВП не враховує втрати тепла в навколишнє середовище через стінки агрегату, зі шлаком і золою, з охолодною водою. Позначимо ці втрати  $Q_{\text{о}}$ . Тоді паливно-енергетичний показник безвідходності можна виразити так:

$$\text{ПЕП} = (Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{ф}} - Q_{\text{у}} - Q_{\text{о}})/Q_{\text{н}}^{\text{р}} = \text{КВП} - Q_{\text{о}}/Q_{\text{н}}^{\text{р}} \quad (9)$$

ПЕП дозволяє більш об'єктивно судити про енергетичну досконалість агрегату, чим КВП.

Енергетичною характеристикою безвідходності може служити і к.к.д. теплового агрегату:

$$\eta = (Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{ф}} - Q_{\text{у}} - Q_{\text{о}})/(Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{ф}}) = \text{ПЕП} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}/(Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{ф}}) \quad (10)$$

По іншому к.к.д. можна виразити у виді відношення корисно використуваної теплоти  $Q_{\text{п}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{ф}} - Q_{\text{у}} - Q_{\text{о}}$  до теплоти, що маємо  $Q_{\text{р}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{ф}}$ .

$$\eta = Q_{\text{п}}/Q_{\text{р}} \quad (11)$$

Позначимо усі втрати тепла  $Q_{\text{пот}} = Q_{\text{у}} + Q_{\text{о}}$ , тоді одержимо наступне вираження для к.к.д.:

$$\eta = (Q_{\text{р}} - Q_{\text{пот}})/Q_{\text{р}} = 1 - Q_{\text{пот}}/Q_{\text{р}} \quad (12)$$

К.к.д. найбільш повно характеризує теплову роботу агрегату.

З порівняння рівнянь (8 - 10) видно, що в будь-яких випадках виконується співвідношення:

$$\eta < \text{ПЕП} < \text{КВП} \quad (13)$$

### Задача 7

У котельному агрегаті втрати тепла з газами, що відходять, складають  $p\%$  від теплоти, що маємо. Паливом служить природний газ з нижчою робочою теплою згоряння  $Q_H^p$ . Знаючи к.к.д. агрегату, визначити ПЕП і КВП.

№ вар.	$\eta$	$Q_H^p, \text{МДж/м}^3$	$Q_\phi, \text{МДж/м}^3$	$p, \%$
1	89	36	1000	9
2	88	35	950	8
3	87	34,5	900	10
4	86	34	1050	7,5
5	85	33,7	500	11
6	84	32,8	800	8,5
7	83	32,6	850	9,5
8	82	35,3	1100	12
9	81	34,9	600	10,5
10	80	33	750	8,8

### Задача 8

У металургійній печі нагріваються сталеві заготовки від температури  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  до  $t_2$ . Маса садки -  $m$ . Тривалість нагрівання - 5 годин. Як паливо використовується природний газ з нижчою робочою теплою згоряння  $33 \text{ МДж/м}^3$ . Витрата палива -  $V$ .

Визначити енергетичні показники безвідходності, якщо втрати тепла з газами, що відходять, складають  $80\%$  від усіх теплових утрат. Питома витрата повітря на горіння  $9,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$  палива. Температура повітря  $300^\circ\text{C}$ , палива -  $200^\circ\text{C}$ . Теплоємність сталі  $0,46 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$ , теплоємність повітря  $1,33 \text{ кДж/м}^3\text{K}$ , природного газу -  $1,58 \text{ кДж/м}^3\text{K}$ .

№ вар.	$t_2, ^\circ\text{C}$	$m, \text{т}$	$V, \text{м}^3/\text{год.}$	№ вар.	$t_2, ^\circ\text{C}$	$m, \text{т}$	$V, \text{м}^3/\text{год.}$
1	1000	9	44	6	900	10	50
2	1100	20	100	7	920	12	60
3	1200	15	100	8	980	16	70
4	900	18	120	9	1020	22	110
5	950	30	180	10	1150	40	300

## 4 РЕКУПЕРАЦІЯ ВТОРИННИХ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ

Вторинні чорні метали (брухт і стружка) можуть перероблятися за двома принципово різними методами: з переплавою і без переплавки. Хоча другий метод переважніше з екологічної й економічної точок зору, утилізується за таким способом значно менше металу, чим за першим - з переплавою.

Велику частину вторметалів неможливо використовувати без переплавки. Однак металеві відходи можна переплавляти тільки після приведення їх у транспортабельний стан і оброблення на шматки визначених розмірів.

Підготовка брухту до переплавляння являє собою досить складний процес, що включає, у залежності від виду відходів, наступні операції: сортування, газова, плазменне чи ножичне різання, дроблення на стружкодробарках і кульових млинах, копрове дроблення, дроблення вибухом, пакетування, брикетування і т.д.

Газовим різанням переробляються відходи вуглецевої і низьколегованої сталі товщиною до 300 мм; плазменним - відходи нержавіючої сталі товщиною до 20мм; ножичним - відходи металу з межею міцності до 500 МПа, товщиною до 130...150 мм.

Для переробки великого сталевого і чавунного брухту (прокатні валки, станини, товстостінні труби великого діаметра) застосовують копрове дроблення.

Дуже великі сталеві і чавунні масиви (ковші з застиглим металом, масиви металу, що застиг у печі, браковані великі злитки, валки потужних прокатних станів) руйнують вибухом.

Легковагий сталевий брухт пакетують на електромеханічних чи гідравлічних пресах із зусиллям до 32МН.

Переробка стружки включає первинне дроблення, знежирення, вторинне дроблення і брикетування.

### Задача 9

На металургійному заводі щорічно переробляється  $M$  тонн вторинних чорних металів наступних груп:

- а) дуже великий сталевий брухт (злитки, ковші з застиглим металом і т.п.);
- б) великий сталевий брухт (піддони, прокатні валки);
- в) великий чавунний брухт (станини, вилівка і т.п.);
- г) сталевий брухт товщиною 150...300 мм;
- д) сталевий брухт товщиною менш 100 мм;
- е) сталева стружка;
- ж) чавунна стружка;
- з) легковагий сталевий брухт.

Чавунна сировина в кількості  $p\%$  йде на лиття, інше - на виплавку сталі. Сталева сировина в кількості  $r\%$  йде на трубопрокатне виробництво, інше - на прокат сталевих листів.

Утрати при підготовці до переробки вторинних чорних металів складають, % ( у дужках - у т.ч. повернення у виді доменного присаду ):

- сортування - 0,1 (0);
- газове різання - 0,8 (0,4);
- різання ножицями - 0,2 (0,1);
- пакетування - 0,8 (0,6);
- копрове дроблення - 1,9 (1,6);
- дроблення і брикетування стружки - 1,2 (0);
- дроблення вибухом - 2,5 (1,4)

Утрати при переробці сировини, %:

- доменне виробництво - 0,1;
- сталеплавильне виробництво - 0,4;
- чавунне лиття - 32;
- прокат сталевго листа - 22;
- трубопрокатне виробництво - 11.

Визначити річну кількість окремих видів продукції (чавунного лиття, труб, сталевго листа) із вторсировини.

№ варіанту	М, тис. Т	п, %	р, %	а, %	б, %	в, %	г, %	д, %	е, %	ж, %	з, %
1	25	6	12	2	3	5	10	33	17	8	22
2	34,6	5	8	0,5	2	1,5	21	19	10	6	40
3	10,7	30	5	4	6	4	26	47	3	4	6
4	68	4	50	1	1,5	3,5	17	31	15	3	28
5	14,8	3,3	7,8	3,2	3,8	3,1	12	50	7,6	0,3	20
6	95	1,5	11	5	5	3,5	17,5	23	18	13	15
7	41	21	4	1,7	8	4,5	12	27	3,5	1,3	42
8	28,5	0,8	1,6	6,6	7	5,4	9	63	3	1,5	4,5
9	7,54	70	65	8	9	7	10	10	32	20	4
10	24	6,8	14	1	3	2	17,5	29,5	6	3,5	37,5

## 5 УТИЛІЗАЦІЯ ДОМЕННИХ ШЛАКІВ

Модуль основності шлаку:

$$M_0 = (\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3), \quad (14)$$

де CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - зміст відповідних оксидів у шлаку.

Доменні шлаки по цьому показнику поділяються на 3 групи: основні ( $M_0 > 1$ ), нейтральні ( $M_0 \approx 1$ ) і кислі ( $M_0 < 1$ ). Сталеплавильні шлаки вважаються кислими за  $M_0 < 1,5$ , середньої основності при  $1,5 < M_0 < 2,5$  і підвищеної основності за  $M_0 > 2,5$ .

Більшість основних шлаків при повільному охолодженні схильні до силікатного розпаду, що обумовлений поліморфним перетворенням моносилікатів кальцію і магнію  $\text{MeSiO}_3$ , що мають кілька кристалічних модифікацій. Перехід з однієї модифікації в іншу супроводжується перебудовою кристалічних ґрат, зміною рідини й об'єму. При цьому шлак розсипається в порошок. Утилізація таких шлаків без попередньої стабілізації можлива лише в деяких випадках (коли необхідний шлаковий порошок). Такі шлаки доцільно переробляти способом грануляції.

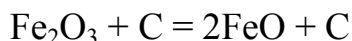
Кислі шлаки, не схильні до силікатного розпаду - гарна сировина для виробництва шлакового лиття, щебеню.

Таким чином, для визначення способу утилізації шлаку, необхідно знати його модуль основності. Склад шлаку можна розрахувати, знаючи склад шихти і ступінь відновлення окремих оксидів.

### Приклад

Маємо шихту складу: 90% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5% CaO, 2% SiO<sub>2</sub>, 1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2%MnO. Визначити модуль основності і склад шлаку при відновленні вуглецем.

Приймаємо, що 98% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> відновлюється до заліза і переходить у метал, а 2% - до FeO і переходить у шлак.



Молекулярна маса Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 160 кг/кмоль, FeO - 72 кг/кмоль. Розрахунок ведемо на 100 кг шихти. Тоді з  $90 \cdot 0,02 = 1,8$  кг Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> утвориться  $1,8 \cdot 72/160 = 0,81$  кг FeO.

Кремнезем відновлюється на 30%, у шлак переходить:  $2 \cdot 0,7 = 1,4$  кг SiO<sub>2</sub>. Оксид марганцю відновлюється на 25%, у шлак переходить  $2 \cdot 0,75 = 1,5$  кг MnO. Оксиди кальцію й алюмінію цілком переходять у шлак.

Маса шлаку, що утворився з 100 кг шихти:

FeO - 0,81 кг, SiO<sub>2</sub> - 1,4 кг, MnO - 1,5 кг, CaO - 5 кг, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1 кг.

Усього - 9,71 кг. Склад шлаку: FeO - 8,3%, SiO<sub>2</sub> - 14,4%, MnO - 15,4%, CaO - 51,5%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 10,4%.

Модуль основності

$$M_0 = 51,5 / (14,4 + 10,4) = 2,08$$

### Задача 10

Визначити модуль основності шлаку за заданим складом шихти. Вважати, що оксиди заліза на 2% відновлюються до FeO; двооксид кремнію відновлюється до кремнію на 30%; оксиди хрому і марганцю відновлюються на 25%. Інші оксиди цілком переходять у шлак.

Визначити, скільки необхідно додати на 100 кг шихти CaO (якщо модуль основності менше одиниці) чи SiO<sub>2</sub> (якщо M<sub>0</sub>>1), щоб модуль основності шлаку дорівнював одиниці.

Розрахувати процентний склад шлаку до і після добавки.

Склад шихти, %

№ вар.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	80	-	6	4	2	5	2	1
2	-	85	4	2	3	4	1	1
3	70	10	3	2	5	6	3	1
4	45	45	1,5	1,5	3	3	-	1
5	40	35	5	5	5	4	6	-
6	75	-	3	2	5	3	10	2
7	-	75	15	1	-	8	1	-
8	90	-	3	-	2	5	-	-
9	38	41	9	0,5	7	4	-	0,5
10	92	-	2	1,4	3,1	1,2	0,3	-

### Задача 11

У шлаку приведенного мінералогічного складу кремній, кальцій, магній і алюміній представлені силікатами й алюмосилікатами. Знайти модуль основності шлаку.

Склад шлаку, %

№ вар.	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	CaSiO <sub>3</sub>	CaSi <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	MgSiO <sub>3</sub>	MgAl <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub>
1	10	25	5	20	30	10
2	70	8	2	4	11	5
3	33	15	4	-	40	8
4	80	8	5	2	7	3
5	22	18	23	17	10	10
6	75	15	-	4	6	-
7	30	20	10	5	10	25
8	90	6	-	-	2	2

9	25	25	25	8	8	9
10	65	20	2	6	-	7

## 6 УТИЛІЗАЦІЯ ШЛАМІВ ГАЗООЧИСНИХ УСТАНОВОК

Технологічні гази, що відходять, багатьох металургійних виробництв підлягають очищенню в апаратах мокрого типу. При цьому утворюється шлам – суспензія твердих часток у воді. Шлами виробництв металургії містять оксиди заліза: сталеплавильний шлам – 84...88%, доменний шлам – 59...63%, червоний шлам виробництва глинозему способом Байєра – 45%, сухим способом – 38%.

Ці залізовмісні шлами можна використовувати у чорної металургії. Збезводнений до 8% шлам додається у шихту агломераційного виробництва. Щоб застосовувати шлам як сировину безпосередньо у сталеплавильному процесі, його треба огрудкувати. До шламу додається сполучна речовина, наприклад, бентоніт. Із отриманої суміші робляться окатиші, які потім випалюються для надання їм міцності. Ці окатиші служать сировиною для виплавляння сталі у мартенівських чи електродугових печах.

Запорізьким індустріальним інститутом (тепер ЗДІА) був розроблений комплексний спосіб утилізації шламів сталеплавильного, доменного та глиноземного виробництв. При переплавленні суміші трьох шламів утворюються два продукти – сталь і шлак. Останній, у залежності від змісту в ньому глинозему використовується в алюмінієвому виробництві ( $\geq \text{Al}_2\text{O}_3$ ) або у виробництві цементу.

Інші шляхи утилізації залізовмісних шламів – корегуюча добавка у виробництві цементу; фарбувальна добавка у виробництві кольорових цементів; добавка до сировини у виробництві червоної цегли; виробництво барвників.

### Задача 12

Визначити масу і склад сталі, що виплавляється з 1 тонни мартенівського шламу наданого складу. Вважати, що у сталі міститься 1% вуглецю. Відомості по відновленню оксидів узяти із задачі 10.

№ вар.	Вміст компонентів, %					
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$
1	88	3	2	2,5	2,5	2

2	87	6	2	2	2	1
3	86	5	4	1	1	3
4	85	4	6	2	0,5	2,5
5	84	3,5	2,5	3,5	4	2,5
6	88	6	1,5	3	-	1,5
7	87	2,5	4	2,5	3	1
8	86	3	1	3	3	4
9	85,5	8	4,5	-	1,5	0,5
10	84,5	4	2	2,5	2	5

### Задача 13

Визначити масу і склад сталі, що виплавляється з 1 тонни доменного шламу наданого складу (%). Вважати, що у сталі міститься 0,5% вуглецю. Відомості по відновленню оксидів узяти із задачі 10.

№ вар.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
1	59	11	10	2	4	9	5
2	59,5	10	11	4	5	5	5,5
3	60	9	12	6	6	4	3
4	60,5	8	12,5	5	3	7	4
5	61	7	13	3	2	8	7
6	61,5	8	13,5	7	3	3	4
7	62	9	11,5	6,5	5	-	6
8	62,5	10	9,5	2,5	5	5,5	5
9	63	11	8,5	3,5	3	4	7
10	63,5	12	10	4,5	2	-	8

### Задача 14

Комплексним способом перероблюються шлами металургійних виробництв. При цьому використовуються доменний, сталеплавильний та червоний шлами для виплавки сталі і отримання алюмінатного шлаку. Доменний та сталеплавильний шлами беруться у рівних кількостях. Визначити вміст (у %) червоного шламу у суміші, необхідний для виплавки шлаку, який можна використовувати у глиноземному виробництві. Відомості по відновленню оксидів узяти із задачі 10.

Шлам	Склад шламів, %						
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	
Доменний	61	10	9	6	7	7	
Сталепл.	88	3	2	2,5	1	3,5	
№ вар.	Склад червоного шламу, %						
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	SO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O
1	45	13	13	8	10	6	5



2	38	16	16	6	11	7	6
3	47	14	10	10	8	5	6
4	39	15	15	7	9	9	6
5	43	15	12	9	12	8	1
6	37	12,5	11	15	10	12	2,5
7	44	17	7	12	5	11	4
8	35	15,5	10	16	5	15	3,5
9	40	15	14	14	12	5	-
10	46	19	4	18	3	10	-

## 7 УТИЛІЗАЦІЯ ОКАЛИНИ

Перед прокаткою сляби або блюми нагріваються у методичних печах до температури 1150...1350°C. У процесі нагрівання метал на поверхні зазнає часткового окислення киснем повітря з отриманням окалини, яка складається, в основному, з оксидів заліза.

При видачі заготовки з печі та її русі по роликовому конвеєру температура поверхні металу знижується. Внаслідок відмінності у коефіцієнтах лінійного розширення окалини і металу відбувається утворення тріщин в окалині. Це сприяє кращому усуненню окалини гідрозбиванням.

Стічні води, які забруднені окалиною та мастилами, є основним відходом прокатного виробництва.

Окалина, як правило, використовується в агломераційному виробництві. Стічні окалиновмісні води проходять дво- або триступеневе очищення. Масова частка вологи в окалині повинна складати не більш 8...10%; розмір часток – не більш 5 мм; вміст мастил допускається у такої кількості, щоб в аглошихті загальний вміст мастил не перевищував 1 кг на 1 т агломерату.

### Приклад

Продуктивність прокатного цеху – 1500 т/доб. Вихід окалини – 25 кг на 1 т прокату. Втрати при очищенні – 2%. Визначити добову масу окалини вологістю 8%, яка подається в аглоцех. Знайти кількість залізу в ній, якщо суха окалина містить 80% FeO і 20% Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

Кількість окалини, яка утворюється за добу:

$$m_1 = 0,025 \cdot 1500 = 37,5 \text{ т}$$

Кількість окалини після очищення:

$$m_2 = 0,98 \cdot 37,5 = 36,75 \text{ т}$$

Кількість вологої окалини:

$$m_3 = 36,75 / (1 - 0,08) = 39,95 \text{ т}$$

Маса FeO в окалині:

$$m_4 = 0,8m_2 = 0,8 \cdot 36,75 = 29,4 \text{ т}$$

Маса Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> в окалині:

$$m_5 = 0,2m_2 = 0,2 \cdot 36,75 = 7,35 \text{ т}$$

Маса заліза у FeO:

$$m_6 = 29,4 \cdot 56 / 72 = 22,9 \text{ т}$$

Маса заліза у Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>:

$$m_7 = 7,35 \cdot 168 / 232 = 5,3 \text{ т}$$

Загальна маса залізу:

$$m_{\text{Fe}} = 22,9 + 5,3 = 28,2 \text{ т}$$

### Задача 15

Вихід окалини – 28 кг на тонну прокату. Склад окалини: FeO – 90%; Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – 6%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4%. Визначити кількість чавуну, що можна отримати з окалини за рік, якщо продуктивність прокатного цеху – Р. Втрати сировини в агломераційному виробництві – 1%, в доменному – 5%. У чавуні міститься 4% вуглецю і 2% інших домішок.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Р, тис. т/рік	1000	5000	230	2000	1700	3600	440	700	3000	2500

### Задача 16

Окалина, що утилізується, складається з вюстіту (FeO) та магнетиту (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). З однієї тонни окалини, без урахування утрат, отримують n кг чавуну. Знайти відсотковий склад окалини. У чавуні, крім залізу, міститься 7% домішок.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n, кг	830,5	819	833,4	824,8	804	807,5	791,3	821,9	812,1	817,3

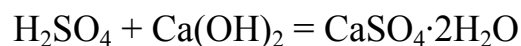
## 8 УТИЛІЗАЦІЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ТРАВІЛЬНИХ РОЗЧИНІВ

При травленні металу у великих кількостях утворюються відпрацьовані травильні розчини (ВТР). При сірчаноокислотному і соляноокислотному травленні утворюються приблизно однакові об'єми ВТР.

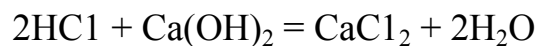
У випадку сірчаноокислотного травлення ВТР містить сірчану кислоту (до 50 кг/м<sup>3</sup>) і сульфат залізу FeSO<sub>4</sub> (до 250 кг/м<sup>3</sup>). У випадку соляноокислотного травлення у ВТР містяться соляна кислота і хлориди залізу.

Серед способів переробки ВТР можна відзначити такі.

1. Нейтралізація вапняним молоком. У випадку сірчаноокислотного травлення при цьому утворюється гіпс:



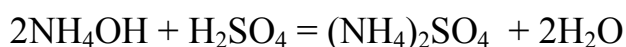
При нейтралізації ВТР соляноокислотного травлення утворюється хлорид кальцію:



Шлам, що утворюється при нейтралізації ВТР сірчаноокислотного травлення, може скидатися у шламонакоплювач або збезводнюватися на фільтр-пресах. Збезводнений осад, в свою чергу, вивозиться у відвал або реалізується як гіпс.

2. Вакуум-кристалізація з отриманням залізного купоросу FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O. Розчин сірчаної кислоти при цьому використовується повторно. Залізний купорос може бути реалізований як товарний продукт. Цей спосіб вигідніший за перший, так як залізний купорос приблизно в 5 разів дорожчий за гіпс і його утворюється більше.

3. Аміачна нейтралізація. ВТР нейтралізується гідроксидом амонію із отриманням товарного продукту – сульфату амонію:



Сульфат амонію використовується у виробництві добрив. Третій спосіб найбільш вигідний і може бути навіть рентабельним.

### Задача 17

У травильному відділенні утворюється 100 м<sup>3</sup> ВТР за добу. Концентрація сірчаної кислоти у ВТР – С. Визначити кількість гіпсу, що можна отримати у випадку вапняної нейтралізації, якщо вихід придатного – Р.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
С, кг/м <sup>3</sup>	50	60	40	35	42	53	58	47	62	45
Р, %	95	96	97	93	94	95,5	92	98	92,5	94,5

### Задача 18

Визначити необхідний об'єм ВТР із концентрацією сульфату залізу  $C$  для отримання 100 т залізного купоросу, якщо вихід придатного –  $P$ .

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$C, \text{кг/м}^3$	250	200	210	260	240	220	215	225	230	245
$P, \%$	94	96,5	95,5	98	94,5	98,5	95	97,5	96	97

### Задача 19

При травленні металу використовується сірчана кислота із концентрацією  $C$ . У реакцію з оксидами залізу вступає  $n$  % кислоти. Визначити добову масу сульфату амонію, яку можна отримати у випадку аміачної нейтралізації. Протягом доби утворюється  $80 \text{ м}^3$  ВТР, вихід придатного складає 97%.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$C, \text{кг/м}^3$	210	215	200	190	220	205	200	215	210	180
$n, \%$	80	85	82	75	77	83	71	72	70	85

## ЗАПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Сировинні ресурси чорної металургії.
2. Енергетичні ресурси чорної металургії.
3. Класифікація вторинних чорних металів.
4. Підготовка вторинних чорних металів (ВЧМ) до перетоплення.
5. Засоби переробки ВЧМ.
6. Кріогенна технологія переробки ВЧМ.
7. Недоліки традиційної схеми виробництва чорних металів.
8. Прямий спосіб виплавки сталі.
9. Поняття про безвідходне та маловідходне виробництво.
10. Кількісні показники ресурсозбереження.
11. Шляхи розвитку безвідходних технологій.
12. Територіально-промислові комплекси.
13. Позапічна обробка сталі.
14. Склад та властивості доменних шлаків.
15. Грануляція доменних шлаків.
16. Використання шлаків у виробництві цементу.
17. Матеріали та вироби з доменних шлаків.
18. Використання колошникового пилу і доменного шламу.
19. Застосування доменного газу як палива.
20. Використання енергії доменного газу у газових утилізаційних безкомпресорних турбінах.
21. Особливості утворення і складу сталеплавильних шлаків (СПШ).
22. Шлаки мартенівського, конвертерного і електросталеплавильного виробництв.
23. Переробка СПШ.
24. Використання сталеплавильного шламу.
25. Використання тепла випарного охолодження.
26. Використання феросплавних шлаків.
27. Використання окалини.
28. Утилізація відпрацьованих травильних розчинів.

## ДОДАТКИ

### Додаток 1

Атомні маси деяких елементів

Елемент	μ	Елемент	μ	Елемент	μ
Азот	14	Кальцій	40	Свинець	207
Алюміній	27	Кисень	16	Сірка	32
Бор	11	Магній	24	Силіцій	28
Бром	80	Марганець	55	Срібло	108
Ванадій	51	Мідь	64	Титан	48
Водень	1	Молібден	96	Уран	238
Вуглець	12	Натрій	23	Фосфор	31
Залізо	56	Нікель	59	Фтор	19
Золото	197	Олово	119	Хлор	35,5
Йод	127	Платина	195	Хром	52
Калій	39	Ртуть	201	Цинк	65

### Додаток 2

Гранично допустимі концентрації (середньодобові) шкідливих речовин у повітрі житлової зони

Речовина	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Речовина	ГДК, мг/м <sup>3</sup>
Аміак	0,04	Сірковуглець	0,005
Диоксид азоту	0,04	Сірчистий ангідрид	0,05
Оксид вуглецю	3	Хлор	0,03
Сірководень	0,008	Хлористий водень	0,2

### Додаток 3

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Речовина	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Речовина	ГДК, мг/м <sup>3</sup>
Аміак	20	Сірководень	10
Диоксид азоту	2	Сірковуглець	1
Диоксид силіцію	1	Сірчаний ангідрид	1
Етан	300	Сірчистий ангідрид	10
Метан	300	Хлор	1
Оксид вуглецю	20	Хлористий водень	5

#### Додаток 4

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у водоймищах 1 -2 категорії

Речовина	ГДК, мг/л	Речовина	ГДК, мг/л
Аміак	2	Свинець	0,001
Бензол	0,5	Сірководень	1
Ртуть	0,001	Фенол	0,001

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Денисов С.И. Улавливание и утилизация пылей и газов (на предприятиях чёрной металлургии). –К.: Вища школа, 1992. – 333с.
2. Денисов С.И. Улавливание и утилизация пылей и газов. – М.: Металлургия, 1991. – 320с.
3. Коротков Г.А., Корначёв Д.Е. Вторичные чёрные металлы. Краткий справочник. – М.: Металлургия, 1979. – 200с.
4. Проблемы развития безотходных производств/ Б.Н. Ласкорин и др. – М.: Стройиздат, 1981. – 207с.
5. Шульц А.А. Элементы безотходной технологии в металлургии. – М.: Металлургия, 1991. – 174с.
6. Ресурсозберігаючі технології і раціональне природокористування. Методичні вказівки до практичних занять і контрольні завдання/ Укл.: В.Г. Рижков. – Запоріжжя, 2004. – 28с.
7. Охрана окружающей природной среды/ Под ред. Г.В. Дуганова. – К.: Вища школа, 1988. – 304с.
8. Умаров Г.П. К безотходным производственным комплексам. – М.: Знание, 1992. – 64с.