


ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

**РЕЦИКЛІНГОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до виконання практичних робіт та
індивідуальних завдань для здобувачів за
освітньо-професійною програмою другого
(магістерського) рівня
спеціальності 136 – металургія

*Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 1 від «8» вересня 2023 р.)
Обов'язково до розміщення в репозиторії*

Запоріжжя 2023



Рециклінгові технології та підвищення енергоефективності виробництва сталі методичні рекомендації до виконання практичних робіт та індивідуальних завдань для здобувачів за освітньо-професійною програмою другого (магістерського) рівня спеціальності 136 – металургія / Укл.: Семірягін С.В., Мамешин В.С., Стоянов О.М. Запоріжжя, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023. 23 с.

Методичні вказівки включають практичні роботи і індивідуальні завдання до дисципліни «Рециклінгові технології та підвищення енергоефективності виробництва сталі».

Самостійне електронне текстове мережеве видання

Затверджено на засіданні кафедри
металургії, матеріалознавства та
організації виробництва
Протокол № 1 від «28» серпня 2023 р.

Узгоджено:
Секретар Редакційної ради


Малій Х. В.
«29» серпня 2023 р.

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023



ЗМІСТ

1.	Практична робота № 1	4
2.	Практична робота № 2	6
3.	Індивідуальні завдання	14
4.	Перелік питань для індивідуального завдання № 1	15
5.	Перелік питань для індивідуального завдання № 2	16
6.	Перелік питань для індивідуального завдання № 3	17
7.	Перелік питань для індивідуального завдання № 4	18
8.	Додаток А	19
9.	Додаток Б	20
10.	Додаток В	21
11.	Додаток Г	23



ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

ОЦІНКА ВИТРАТ ПЕРВИННОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Мета роботи: ознайомитися з методикою розрахунку енергоемності сталі при її виробництві у кисневому конверторі та визначення впливу параметрів плавки на кінцеву енергоемність рідкої сталі.

Теоретичні положення

Витрати первинної енергії є сумою витрат потенційної теплової енергії як у власне металургійному виробництві так й на попередніх етапах отримання матеріалів, що були використані у процесі, включаючи енергоносії (паливо, електроенергію).

Для окремого матеріалу враховуються витрати енергії на видобуток сировини, її транспортування та підготовку до виробництва (з урахуванням усіх компонентів шихти). Витрати первинної енергії для палива, крім того, включають теплотворну здатність.

Якщо в технологічному процесі утворюються вторинні енергоресурси, які можуть бути утилізовані та використані як енергоносії (наприклад, коксувальний газ у коксохімічному виробництві або газу, що відходять при продуванні чавуну в конверторі), то їх утилізована теплова енергія віднімається з витрат первинної енергії.

Основною особливістю цієї методики є те, що витрати первинної енергії вважаються виходячи з не енергетичних, а матеріальних балансів процесів.

Це дозволяє врахувати енерговитрати отримання продукту у розглядуваному виробництві, а й у всій попередньої йому технологічної ланцюга, що дозволяє провести повний і об'єктивний аналіз витрат первинних енергоресурсів.

Таким чином, витрати первинної енергії на виробництво одиниці кінцевого продукту можна визначити за формулою

$$Z = \sum(P_i \cdot Z_i), \text{ МДж/кг} \quad (1.1)$$

де: P_i - питома витрата матеріалу виробництва одиниці кінцевого продукту, од/кг; Z_i - витрати первинної енергії, необхідні для отримання одиниці (маси, обсягу і т.д.) цього матеріалу (для утилізованих матеріалів витрати первинної енергії мають негативні значення), МДж / од.



Методика проведення роботи

Робота умовно поділена на 2 частини, перша полягає у комп'ютерному моделюванні киснево-конверторної плавки за допомогою програми «**Киснево-конверторна плавка**» за базовим варіантом та при зміні параметрів плавки у відповідності до завдання, друга у розрахунку витрати первинної енергії на виробництво сталі, побудові графіків залежностей та їх аналізі.

Порядок виконання комп'ютерного моделювання киснево-конверторної плавки

1) З **додатку А** студенти у відповідності до їх списку у журналі групи обертають та переносять у відповідні комірки вихідні данні для базового варіанту моделювання плавки в програму (Лист «**Конвертер**»);

2) Після введення вихідних даних для початку моделювання необхідно натиснути кнопку ПУСК й виконують моделювання киснево-конверторної плавки.

3) Для визначення витрати первинної енергії на виробництво однієї тони сталі необхідно скористатися рівнянням (1) беручи питомі витрати матеріалів на виробництва однієї тони сталі з результатів моделювання, а значення енергоємності з **додатку Б**

4) Для оцінки впливу параметрів плавки на кінцеву енергоємність рідкої сталі моделювання плавки повторюють змінюючи її початкові параметри у відповідності до відомостей наведених у **додатку В** (усі інші параметри залишають незмінними та рівними базовому варіанту моделювання плавки).

Після проведення всіх варіантів моделювання треба розрахувати зміну витрати первинної енергії для кожного варіанту плавки та побудувати графіки залежностей впливу зміни параметрів плавки на витрати первинної енергії. Після чого зробити висновки



ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Оцінка варіантів утилізації конверторного газу

Мета роботи: ознайомитися з методикою визначення кількості та запиленості киснево-конверторних газів та проведенням економічної оцінки варіантів їх утилізації.

Теоретичні положення

2.1. Розрахунок кількості газів

Максимальна кількість конвертерних газів, на яку розрахований газовий тракт кисневого-конвертора, може бути визначена по максимальній швидкості зневуглецьовування $V_c = \frac{dC}{d\tau}$, м³/хв.

$$V_{\max.г} = 1,86 \cdot 10 \cdot V_{\max.с} \cdot M_{ч}, \frac{\text{м}^3}{\text{хв} \cdot \text{т}} \quad (2.1)$$

де 1,86 – коефіцієнт переходу від кількості вуглецю до об'єму вуглецевмісних мас, тобто при окисленні 1 кг вуглецю виділяється 1,86 м³ продуктів реакції; $V_{\max.с}$ – максимальна швидкість зневуглецьовування, %/хв. $M_{ч}$ – кількість чавуну в шихті, %;

Кількість газів (м³), яка виділяється з конвертера, на 1 т. сталі можна визначити з рівняння

$$V_{г} = 1,86 \cdot 10 \cdot \frac{M_{ч}}{\eta} \cdot \Delta C, \frac{\text{м}^3}{\text{т}} \quad (2.2)$$

де η – вихід придатного металу, %; ΔC – кількість вуглецю яке окислилося, %.

2.2. Розрахунок кількості пилу

Середню інтенсивність виносу пилу, який складається з оксидів заліза, можна визначити по формулі, кг/хв.

$$M_{п.сер.} = \frac{M_{Fe} \cdot n \cdot 100}{Fe_{зар.}}, \frac{\text{кг}}{\text{хв.}} \quad (2.3)$$

де M_{Fe} – середня інтенсивність виносу оксидів заліза з однієї реакційної зони (див. рис. 2.1), кг/хв; $Fe_{зар.}$ – вміст заліза у конвертерному пилу на виході з горловини конвертера, %; n – кількість реакційних зон.

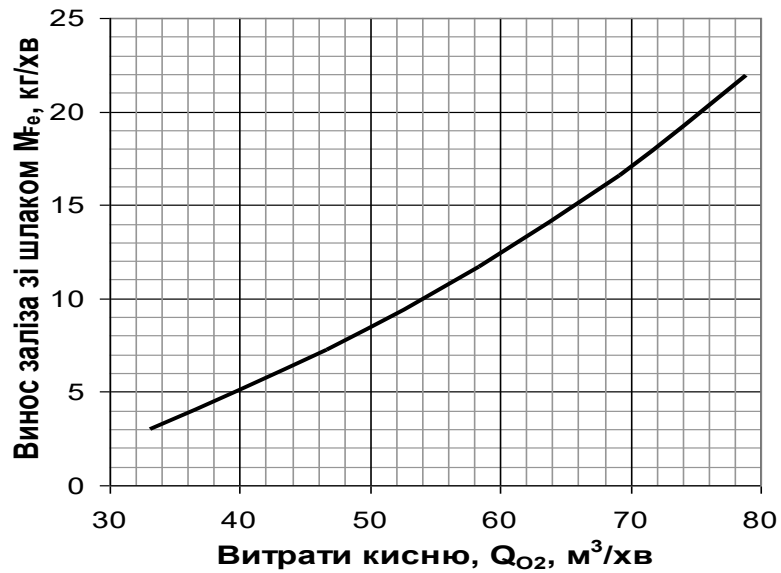


Рисунок 2.1. Витрати кисню на одне сопло

Максимальний винос пилу, який враховує використання сипких шихтових матеріалів, дорівнює, кг/хв.

$$M_{\text{max. п}} = K_1 \cdot M_{\text{п.сер.}}, \frac{\text{кг}}{\text{хв.}} \quad (2.4)$$

де K_1 – емпіричний коефіцієнт, який залежить від питомої інтенсивності продувки q (рис. 2.2).

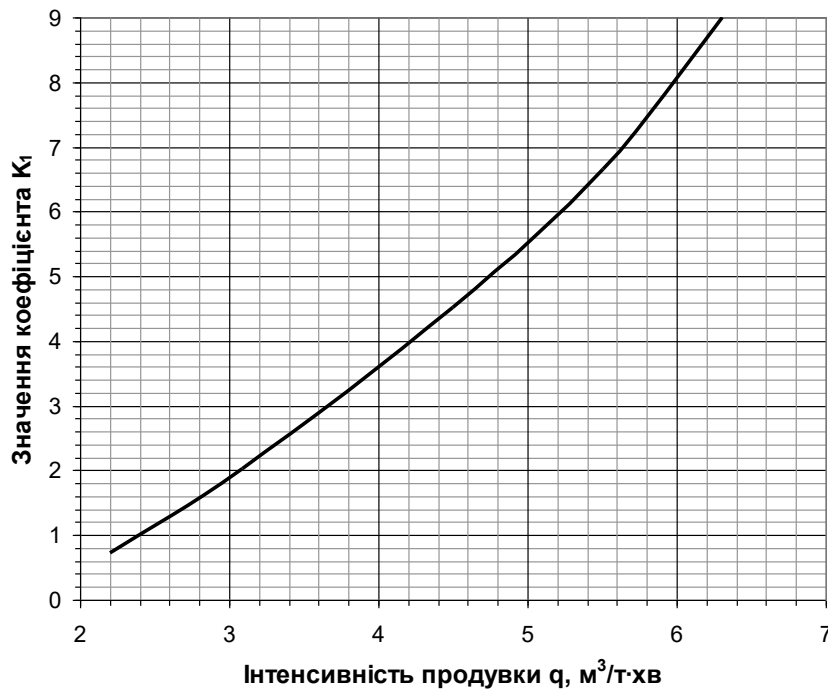


Рисунок 2.2. Змінення коефіцієнта K_1 від інтенсивності продувки q



Сумарний винос пилу за плавку складає, кг

$$M_{\Sigma\Pi} = K_2 \cdot M_{\text{п.сер.}} \cdot \tau, \text{ кг} \quad (2.5)$$

де K_2 – емпіричний коефіцієнт, який залежить від питомої інтенсивності продувки q (рис. 2.3); τ – тривалість продувки, хв.

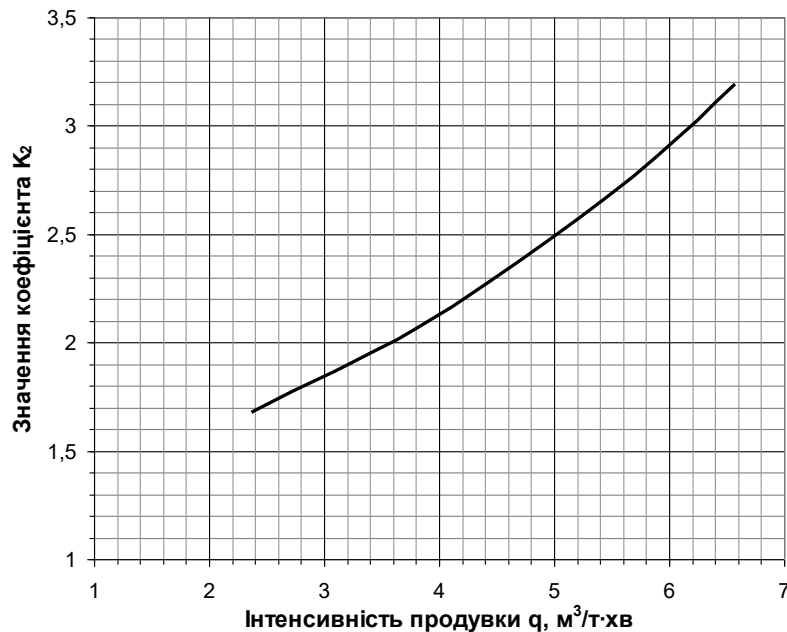


Рисунок 2.3. Змінення коефіцієнта K_2 від інтенсивності продувки q

2.3. Визначення запиленості конвертерних газів

Середня запиленість конвертерних газів буде дорівнювати, г/м³

$$Q_{\text{п.сер.}} = \frac{M_{\text{max.п.}} \cdot 1000}{V_{\text{max.г}}}, \quad (2.6)$$

2.4. Оцінка варіантів утилізації конверторного газу

Утилізація газів у сучасних киснево-конверторних можлива за трьома основними варіантами

Схема 1- очищення, часткове допалювання та викид газу в атмосферу;

Схема 2 - сухе очищення, збір у газгольдер та подача газу споживачеві;

Схема 3 - мокре очищення, збір у газгольдер та подання споживачеві.

Значення основних показників наведених схем відводу та очистки газів наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Значення основних показників наведених схем відводу та очистки газів

Показники очистки	Схема		
	1	2	3
Вміст пилу у газі після очистки, мг/м ³	$Q_{п.сеп.1}$	$Q_{п.сеп.2}$	$Q_{п.сеп.3}$
Кількість речовин, що викидаються:			
- оксиди азоту, г/м ³	NO_x	відсутні	відсутні
- оксиди вуглецю, г/т сталі	CO	відсутні	відсутні
Капітальні вкладення в систему відведення та очищення, млн грн.	KB_1	KB_2	KB_3
Поточні експлуатаційні витрати з відведення та очищення газів, грн/т сталі	$EB_1 = 16$	$EB_2 = 20$	$EB_3 = 50$

Термін служби установок, що використовують у схемах очищення та відведення конверторних газів зазвичай розрахований на 10 років ($\tau_{служ} = 10$), кошти на їх будівництво можуть бути отримані у банку в кредит, відсоткова ставка банку становить ($CT_6 = 20\%$).

Показник відносної небезпеки для основних забруднюючих речовин, що міститься у конверторному газі становить:

Оксиди азоту - $PВH_{NO_x} = 86.7$ ум. т/т викиду;

Монооксид вуглецю $PВH_{CO} = 1$ ум. т/т викиду;

Конвертерний пил $PВH_{пил} = 179$ ум. т/т викиду.

Ще одними важливими показниками, є ті що враховують місце розташування підприємства $\Pi_{мрп}$ та характер розсіювання викидів в атмосфері $\Pi_{хрв}$.

Питома екологічна шкода від забруднення атмосфери становить ($ПЕШ = 0,6$ грн/ум. т викиду), коефіцієнт індексації – $K_{інд} = 2,67$ (станом на 2017 р.)

Ціна конвертерного газу - ($Z_{кг} = 1,6$ грн/м³).

Загальний річний обсяг газів, що можуть бути утилізовані при виробництві сталі у кисневих конверторах, м³/рік

$$V_{\Sigma Г} = V_{Г} \cdot M_{ст}, \quad (2.7)$$

де $M_{ст}$, – річний обсяг виробництва сталі на підприємстві, т.

Оскільки у схемах утилізації газів використовують різні методи очищення то вміст пилу у газі після очистки буде відрізнятися. Його можливо оцінити за наступними виразами:

$$\text{Схема 1} \quad Q_{\text{п.сер.1}} = \frac{Q_{\text{п.сер.}}}{R_1}, \quad (2.8)$$

$$\text{Схема 2} \quad Q_{\text{п.сер.2}} = \frac{Q_{\text{п.сер.}}}{R_2}, \quad (2.9)$$

$$\text{Схема 3} \quad Q_{\text{п.сер.3}} = \frac{Q_{\text{п.сер.}}}{R_3}, \quad (2.10)$$

де $Q_{\text{п.сер.}}$ - середня запыленість конвертерних газів (див рівн. 2.6), г/м^3 ; R_1, R_2, R_3 - ступень зниження вмісту пилі у газі після очистки, рази.

2.4.1. Екологічні збитки від викидів в атмосферу запылених газів.

Схема 1

Кількість пилу, що викидається в атмосферу, т/рік

$$V_{\text{пил1}} = \frac{Q_{\text{п.сер.1}} \cdot V_{\Sigma\Gamma}}{1 \cdot 10^6}, \quad (2.11)$$

Кількість оксидів азоту, що викидаються, т/рік

$$V_{\text{NO}_x1} = \frac{\text{NO}_x \cdot V_{\Sigma\Gamma}}{1 \cdot 10^6}, \quad (2.12)$$

Кількість оксидів вуглецю, що викидаються, т/рік

$$V_{\text{CO1}} = \frac{\text{CO} \cdot M_{\text{ст}}}{1 \cdot 10^6}, \quad (2.13)$$


З врахуванням шкідливого впливу домішок у киснево-конверторних газах маса викидів в умовних тонах буде складати, ум.т/рік

$$M_{\text{пр1}} = V_{\text{пил1}} \cdot \text{ПВН}_{\text{пил}} + V_{\text{NO}_x1} \cdot \text{ПВН}_{\text{NO}_x} + V_{\text{CO1}} \cdot \text{ПВН}_{\text{CO}}, \quad (2.14)$$

Схема 2

Кількість пилу, що викидається в атмосферу, т/рік

$$V_{\text{пил2}} = \frac{Q_{\text{п.сер.2}} \cdot V_{\Sigma\Gamma}}{1 \cdot 10^6}, \quad (2.15)$$



Оскільки газ збирається у газгольдер та використовується, як вторинний енергоресурс, то викиди оксидів азоту та монооксиду вуглецю у атмосферу відсутній

$$V_{NO_x2} = 0, \quad (2.16)$$

$$V_{CO2} = 0, \quad (2.17)$$

З врахуванням шкідливого впливу домішок у киснево-конверторних газах маса викидів в умовних тонах буде складати, ум.т/рік

$$M_{пр2} = V_{пил2} \cdot ПВН_{пил} + V_{NO_x2} \cdot ПВН_{NO_x} + V_{CO2} \cdot ПВН_{CO}, \quad (2.18)$$

Схема 3

Кількість пилу, що викидається в атмосферу, т/рік

$$V_{пил3} = \frac{Q_{п.сер.3} \cdot V_{\Sigma r}}{1 \cdot 10^6}, \quad (2.19)$$

Оскільки газ збирається у газгольдер та використовується, як вторинний енергоресурс, то викиди оксидів азоту та монооксиду вуглецю у атмосферу відсутній

$$V_{NO_x3} = 0, \quad (2.20)$$

$$V_{CO3} = 0, \quad (2.21)$$

З врахуванням шкідливого впливу домішок у киснево-конверторних газах маса викидів в умовних тонах буде складати, ум.т/рік

$$M_{пр3} = V_{пил3} \cdot ПВН_{пил} + V_{NO_x3} \cdot ПВН_{NO_x} + V_{CO3} \cdot ПВН_{CO}, \quad (2.22)$$

Сумарні річні екологічні збитки від викидів запилених газів в атмосферу, грн/рік.

Схема 1

$$З_1 = ПЕШ \cdot K_{інд} \cdot M_{пр1} \cdot П_{мрп} \cdot П_{хрв} \quad (2.23)$$

Схема 2

$$З_2 = ПЕШ \cdot K_{інд} \cdot M_{пр2} \cdot П_{мрп} \cdot П_{хрв}, \quad (2.24)$$



Схема 3

$$З_3 = ПЕШ \cdot K_{інд} \cdot M_{прз} \cdot П_{мрп} \cdot П_{хрв}, \quad (2.25)$$

Якщо прийняти за базовий варіант схему 1, то запобігання збитків за один рік становитиме грн/рік:

$$\Delta З_1 = 0, \quad (2.26)$$

$$\Delta З_2 = З_1 - З_2, \quad (2.27)$$

$$\Delta З_3 = З_1 - З_3, \quad (2.28)$$

2.4.2. Витрати проведення природоохоронних заходів.

Розрахунок витрат на проведення природоохоронних заходів для різних схем проводиться за рівнянням:

$$B_i = KB_i + (З_i + \Sigma EB_i) \cdot \sum_{t=1}^{\tau_{служ}} \frac{1}{\left(1 + \frac{CT_6}{100}\right)^t}, \quad (2.29)$$

де $\sum_{t=1}^{\tau_{служ}} \frac{1}{\left(1 + \frac{CT_6}{100}\right)^t} = D$ – коефіцієнт дисконтування, (при $\tau_{служ} = 10$ років та $CT_6 = 20\%$) він дорівнює 4,192;

$\tau_{служ}$ - термін служби обладнання (наприклад, з відведення та очищення газів), років;

CT_6 - процентна ставка банку, %;

$\Sigma EB_i = EB_i \cdot M_{ст}$ – поточні експлуатаційні витрати для відповідної i -ї схеми, грн/рік;

$З_i$ - сумарні екологічні збитки від викидів запиленних газів в атмосферу для відповідної i -ї схеми, грн/рік;

KB_i - капітальні вкладення для відповідної i -ї схеми, грн.

2.4.3 Прибуток від реалізації конвертерного газу

Схема 1 Продаж газів не проводився

$$P_1 = 0, \quad (2.30)$$

Схема 2 та 3 Продаж газів проводився

$$P_{2,3} = (Z_{кг} \cdot V_{\Sigma Г}) \cdot \sum_{t=1}^{\tau_{служ}} \frac{1}{\left(1 + \frac{CT_6}{100}\right)^t}, \quad (2.31)$$

2.4.4 Запобігання збиткам з урахуванням дисконтування, грн:

Схема 1

$$\Delta U_{\tau_{\text{служ}1}} = 0, \quad (2.32)$$

Схема 2

$$\Delta U_{\tau_{\text{служ}2}} = \Delta Z_2 \cdot \sum_{t=1}^{\tau_{\text{служ}}} \frac{1}{\left(1 + \frac{\text{CT}_6}{100}\right)^t}, \quad (2.33)$$

Схема 3

$$\Delta U_{\tau_{\text{служ}3}} = \Delta Z_3 \cdot \sum_{t=1}^{\tau_{\text{служ}}} \frac{1}{\left(1 + \frac{\text{CT}_6}{100}\right)^t}, \quad (2.34)$$

2.4.5. Економія

Економія дорівнює різниці між вигодою та витратами, грн

$$E_i = \Delta U_{\tau_{\text{служ}i}} + P_i - B_i, \quad (2.35)$$

Результати розрахунків для різних схем очистки газів представимо у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Результати розрахунків

Показник	Схема відведення та утилізації		
	1	2	3
Кількість викидів, т/рік:			
$V_{\text{пил}}$			
V_{NO_x}		відсутні	відсутні
V_{CO}		відсутні	відсутні
Приведена маса викидів $M_{\text{пр}}$, ум. т/рік викидів			
Збитки (З), грн/рік			
Запобігання збитків (ΔZ), грн.			
Витрати (В), грн.			
Прибуток (Р), грн.			
Економія (Е), грн.			



ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Індивідуальне завдання виконується у вигляді реферату. Обсяг реферату має складати не менше 10 сторінок комп'ютерного тексту. Індивідуальна робота має бути надруковано шрифтом Times New Romans 14 розміру з інтервалом 1,5, нумерація рисунків, наведених у роботі, має бути наскрізною.

Виконане індивідуальне завдання містить титульну сторінку, зміст, саме завдання та перелік використаних літературних джерел, нумерація яких є наскрізною.

Номери тем для виконання індивідуального завдання студент обирає з переліку у відповідності до його номеру за списком студентської групи.

Підготовлене індивідуальне завдання захищається у вигляді доповіді на семінарському занятті.

Виступ обов'язково має містити презентацію.

Тривалість виступу має складати до 15 хв.

Для проведення оцінювання реферат та презентація доповіді на семінарі прикріплюються у відповідні контрольні точки у системі Moodle.



Перелік питань для індивідуального завдання № 1

1. Концепція стійкого розвитку суспільства. Ресурси і навколишнє середовище.
2. Розробка і основні принципи стратегії стійкого розвитку суспільства. Енергетика і промисловість.
3. Концепція екологічно чистого виробництва. Принципи і завдання.
4. Глобальний і внутрішній рециклінг відходів.
5. Класифікація вторинних ресурсів чорної металургії
6. Вторинні паливні ресурси підприємств чорної металургії
7. Вторинні теплові ресурси підприємств чорної металургії
8. Вторинна енергія підвищеного тиску газів для підприємств чорної металургії
9. Тверді вторинні матеріальні ресурси підприємств чорної металургії
10. Рідкі вторинні матеріальні ресурси підприємств чорної металургії
11. Газоподібні вторинні матеріальні ресурси підприємств чорної металургії



Перелік питань для індивідуального завдання № 2

1. Вторинні вогнетривкі матеріали та їх використання.
2. Енерго- та ресурсозбереження в технологіях виробництва коксу
3. Відходи коксохімічного виробництва та їх використання у металургійному та супутніх виробництвах
4. Енерго- та ресурсозбереження в технологіях підготовки та збагачення залізорудної сировини
5. Відходи агломераційного та доменного виробництва та їх використання у металургійному та супутніх виробництвах
6. Енерго- та ресурсозбереження в технологіях виробництва агломерату
7. Енерго- та ресурсозбереження в технологіях виробництва окотишів
8. Відходи сталеплавильного виробництва та їх використання у металургійному та супутніх виробництвах
9. Основні викиди металургійних виробництв
10. Формування і поведінка азотовміщуючих викидів металургійних виробництв.
11. Майбутнє доменних печей з точки зору енерго- і ресурсозбереження.



Перелік питань для індивідуального завдання № 3

1. Ефективність застосування пилевугільного палива в доменних печах.
2. Енерго та ресурсозбереження в доменному процесі за рахунок використання високотемпературного нагріву дуття
3. Технології окускування мілкофракційних рудних матеріалів і промислових відходів. Досвід використання залізо-, вуглець- та флюсовмісних брикетів в різних металургійних агрегатах.
4. Ефективність застосування відходів пластика в доменних печах.
5. Шлами газоочисток доменних та сталеплавильних печей. Їх використання.
6. Ефективність доменної плавки на комбінованому дутті з використанням природного газу та кисню
7. Ефективність доменної плавки на комбінованому дутті з використанням мазуту та кисню
8. Техногенні відходи у схемах рециклінгу.
9. Порівняльна характеристика доменного і твердофазного процесів отримання первинного металу.
10. Порівняльна характеристика доменного та рідкофазного процесів отримання первинного металу.
11. Технології отримання комплексної металургійної сировини з побутових і промислових відходів.



Перелік питань для індивідуального завдання № 4

1. Ресурсо- та енергозбереження у киснево-конвертерній плавці за рахунок підігрівання брухту
2. Ресурсо- та енергозбереження у киснево-конвертерній плавці за рахунок допалювання газів, що відходять
3. Ресурсо- та енергозбереження у киснево-конвертерній плавці шляхом впровадження конвертерних процесів з комбінованим продуванням
4. Ресурсо- та енергозбереження у киснево-конвертерній плавці за рахунок впровадження малошлакової технології та утилізація кінцевого конвертерного шлаку
5. Основні способи зниження витрати електроенергії у дугових печах
6. Ресурсозберігаючі технології позапічної обробки сталі
7. Ресурсозберігаючі технології безперервного розливання сталі
8. Ресурсо- та енергозбереження у електродугових процесах.
9. Ресурсо- та енергозбереження у прокатному виробництві.
10. Енерго- та ресурсозбереження в технологіях виробництва феросплавів
11. Металургійні заводи з повним циклом та мінізаводи. Їх переваги і недоліки.

ДОДАТОК А

№ варіант а	Склад чавуну, %					Склад брухту, %					Темпер, °С		Плануєми й вміст вуглецю, %	Основ ність шлаку, од	Ступень допалю вання, част.од	Теплові втрати конверт ора, %	Чистота кисню, част.од	Садка конверт ора, т
	С	Si	Mn	P	S	С	Si	Mn	Р не більше	S не більше	чавун у	сталі						
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	0,01	2,5	0,1	2	0,9	60
2	4,65	0,94	0,95	0,16	0,06	0,08-0,16	0,0	0,33-0,53	0,05	0,04	1370	1620	0,02	2,75	0,125	3	0,91	100
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	0,03	3,0	0,15	4	0,92	125
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	0,04	3,25	0,1	5	0,93	150
5	4,25	0,82	1,08	0,15	0,04 5	0,30 - 0,38	0,18-0,28	0,48 - 0,68	0,045	0,04	1350	1590	0,05	3,5	0,125	6	0,94	175
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	0,06	2,5	0,15	7	0,95	200
7	4,70	0,91	0,98	0,20	0,04 0	0,08-0,16	0,0	0,30-0,50	0,05	0,04	1380	1620	0,07	2,75	0,1	8	0,96	225
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	0,08	3,0	0,125	9	0,97	250
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	0,09	3,25	0,15	10	0,98	275
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	0,1	3,5	0,1	2	0,99	300
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	0,11	2,5	0,125	3	0,9	60
12	4,30	0,80	0,69	0,18	0,06	0,08-0,16	0,0	0,35 - 0,55	0,04	0,05	1380	1625	0,12	2,75	0,1	4	0,91	100
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	0,13	3,0	0,125	5	0,92	125
14	4,50	0,95	0,85	0,16	0,04	0,06-0,14	0,0	0,30 - 0,50	0,05	0,05	1370	1620	0,14	3,25	0,15	6	0,93	150
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	0,15	3,5	0,1	7	0,94	175
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	0,16	2,5	0,125	8	0,95	200
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	0,17	2,75	0,1	9	0,96	225
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	0,18	3,0	0,125	10	0,97	250
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	0,19	3,25	0,15	2	0,98	275
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	0,2	3,5	0,1	3	0,99	300

ДОДАТОК Б

Матеріал	Енергоємність
Вапняк	2.2
Гранульований магній, МДж/кг	212
Вапно, МДж/кг	5.4
Порошкове вапно, МДж/кг	6
Синтетичний шлак	16.8
Тверда шлакова суміш	6
Рідкий чавун, МДж/кг	23.8
Агломерат, МДж/кг	2.2
Кисень, МДж/м ³	6.8
Компресорне повітря. МДж/м ³	1.15
Азот, МДж/м ³	2.5
Аргон. МДж/м ³	35.5
Вогнетриви, МДж/кг	16.5
Вогнетриви -ПВ, МДж/кг	23
Електроди графітовані ДСП, МДж/кг	186
Металобрухт, МДж/кг	7
Сода кальцинована, МДж/кг	12
Природний газ, МДж/м ³	36
Вугілля, МДж/кг	31
Карбид кальція, МДж/кг	16
Феромарганець 75 МДж/кг	55.02
Феросиліцій 45 МДж/кг	70.34
Окаліна, МДж/кг	0.1
Скрап, МДж/кг	1.2
Твердий чавун, МДж/кг	27.5
Кремністий брухт, МДж/кг	16
Залізомістячі брикети, МДж/кг	8
Плавииковий шпат, МДж/кг	11
Магнезіальні добавки, МДж/кг	12
Магнієвий дріт, МДж/кг	245

ДОДАТОК В

№ вар.	Змінюваний параметр плавки	Значення параметрів при моделюванні плавки		
1	Вміст Si в чавуні, %	0,4	0,8	1,2
	Температура чавуна, °C	1250	1300	1350
	Чистота кисню, %	0,99	0,95	0,91
2	Основність кінцевого шлаку, CaO/SiO ₂	2,5	3,0	3,5
	Витрата твердого чавуна, т	5	7,5	10
	Температура стали, °C	1580	1620	1660
3	Температура брухту, °C	0	400	800
	Витрата скрапу, т	5	7,5	10
	Теплові втрати конвертером, %	3,0	8,0	13,0
4	Окалина брухту, %	1,0	5,0	9,0
	Витрата кремністого брухту, т	5	7,5	10
	Ступінь окислювання вуглецю до CO ₂ ,	0,1	0,2	0,3
5	Вміст вуглецю в чавуні, %	3,6	4,0	4,4
	Простої конвертору, хв	5	10	15
	Вміст забруднень у металобрухті, %	1,0	5,0	9,0
6	Вміст Si в чавуні, %	0,6	1,0	1,4
	Витрата твердого чавуна, т	2,5	5,0	7,5
	Теплові втрати конвертером, %	2,0	6,0	10,0
7	Температура чавуна, °C	1275	1325	1375
	Основність кінцевого шлаку, CaO/SiO ₂	2,5	3,0	3,5
	Температура брухту, °C	0	200	400
8	Чистота кисню, %	0,99	0,95	0,91
	Температура стали, °C	1590	1630	1670
	Витрата скрапу, т	3	6	9
9	Окалина брухту, %	2,0	4,0	6,0

	Простої конвертору, хв	3	6	9
	Вміст Mn в чавуні, %	0,2	0,7	1,2
10	Витрата кремністого брухту, т	2	4	6
	Вміст вуглецю в чавуні, %	3,7	4,0	4,3
	Витрата залізомістячих брикетів (ЗМБ), т	0,5	1,5	2,5
11	Ступінь окислювання вуглецю до CO ₂ ,	0,125	0,175	0,225
	Вміст забруднень у металобрухті, %	2,0	6,0	10,0
	Температура чавуна, °C	1200	1250	1300

ДОДАТОК Г

Вихідні дані для розрахунку

№ з/п	V _{max.c.} , М ³ /Т хв	M _ч %	η, %	n, шт	Вміст вуглецю, %		Q ₀₂ , М ³ /хв	q, М ³ /Т хв	Fe _{зар} %	τ, хв	M _{ст.Т}	NO _x , г/М ³	CO, г/Тст	Ступень зниження вмісту пилі у газі після очистки, разів			Капітальні вкладення у систему відводу та очистки, гривен			П _{мп}	П _{хр}
					чавун	стал і								Схема 1 R ₁	Схема 2 R ₂	Схема 3 R ₃	Схема 1 КВ ₁	Схема 2 КВ ₂	Схема 3 КВ ₃		
1	0,30	75	89,3	4	3,9	0,15	39	3,5	41	15	2000000	0.007 2	280	3000	40000	6000	30000000 0	40000000 0	350000000	1	1
2	0,32	78	89,9	5	4,0	0,12	40	4,1	40	14	3000000	0.007 4	290	5000	40000	10000	40000000 0	50000000 0	450000000	2	2
3	0,40	80	91,0	4	4,1	0,20	61	4,3	43	14	4000000	0.007 6	270	8000	40000	15000	50000000 0	60000000 0	550000000	3	3
4	0,33	79	92,0	6	4,4	0,23	42	4,0	42	15	5000000	0.007 8	230	6000	40000	12000	53000000 0	62000000 0	580000000	1	2
5	0,39	80	91,4	5	3,8	0,08	62	4,5	45	13	6000000	0.008	240	11000	40000	20000	56000000 0	65000000 0	600000000	1	3
6	0,41	82	90,5	7	4,2	0,13	65	5,2	40	17	7000000	0.007 3	250	24000	90000	40000	60000000 0	67000000 0	625000000	2	1
7	0,34	79	90,8	6	3,9	0,14	50	5,1	45	19	8000000	0.007 5	260	12500	60000	20000	68000000 0	75000000 0	725000000	2	3
8	0,35	80	91,6	5	4,0	0,30	64	5,3	45	15	9000000	0.007 7	300	18000	80000	40000	71000000 0	77000000 0	745000000	3	1
9	0,44	85	89,2	4	4,4	0,27	69	6,0	44	16	10000000	0.007 9	310	17000	80000	40000	74500000 0	80000000 0	785000000	3	2
10	0,36	81	93,4	7	4,1	0,18	54	5,5	40	17	11000000	0.007 1	320	21000	90000	40000	77500000 0	85000000 0	825000000	1	1
11	0,32	80	92	5	4,2	0,14	64	6,0	40	16	11500000	0,007 2	330	22000	100000	40000	79500000 0	87500000 0	855000000	1	2