

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та розрахункової роботи
з дисципліни

«Системи технологій та промислова екологія»

для студентів усіх форм навчання
спеціальності 101 «Екологія»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 22.06.2017 р.

Харків
НТУ «ХП»
2017

Методичні вказівки до практичних занять та розрахункової роботи з дисципліни «Системи технологій та промислова екологія» для студентів усіх форм навчання спеціальності 101 «Екологія» / уклад.: Самойленко Н.М., Горбунова О.В., Аверченко В.І. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – 28 с.

Укладачі: Н.М. Самойленко

О.В. Горбунова

В.І. Аверченко

Кафедра хімічної техніки та промислової екології

ПЕРЕДМОВА

Практичні заняття та розрахункова робота з курсу «Системи технологій та промислова екологія» передбачають розгляд студентами найбільш важливих типів технологій, що у структурі народного господарства України мають значну питому вагу та здійснюють вагомий вплив на довкілля. При цьому кінцевою метою практикуму є формування у студентів умінь по практичному застосуванню знань щодо визначення технологічних процесів як джерела забруднення довкілля та об'єкта ресурсоспоживання, а також їх аналіз з точки зору екологічності та ефективного використання природних ресурсів.

1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ ТА РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ ПО РОЗДІЛУ «МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМПЛЕКС»

Практичне заняття 1. Виплавка сталі киснево-конверторним способом та розрахунок основних розмірів кисневого конвертера з верхньою продувкою

Мета: на прикладі кисневого конвертера з верхньою продувкою ознайомлення з принциповими особливостями виплавки сталі у кисневих конвертерах та визначення їх основних розмірів

1. Теоретичні положення

Конвертерний спосіб виробництва сталі – один із найбільш розповсюджених у світі. У теперішній час конверторна сталь складає 70 % від загальної кількості виробленої сталі. В Україні мартенівське виробництво активно скорочується і конверторне буде грати провідну роль у системі сталеплавильних технологій. Особливий подальший розвиток набуває киснево-конвертерний спосіб.

Киснево-конвертерний процес являє собою один із видів переробки рідкого чавуну у сталь, який здійснюється без витрат зовнішнього

тепла, за рахунок тепла рідкого чавуну та екзотермічних реакцій. Практично це здійснюється шляхом продувки у конвертері чавуну окислювачами. При цьому використовуються продувка металу киснем зверху, знизу та комбінованим способом. Розкислювання та легування одержаного металу здійснюється у ковші.

Конструктивно конвертер складається із циліндричної середньої частини, сферичного днища та горловини у виді зрізаного конуса. У теперішній час у світі найбільш розповсюдженими є конвертери з верхньою продувкою. Вони характеризуються відносною простотою у експлуатації та порівняно великою продуктивністю.

Виплавка сталі у конвертерах з верхньою продувкою передбачає використання рідкого чавуну у кількості більше 70 % від маси матеріалів, що завантажуються. Застосовується водоохолоджувана фурма, через яку зверху через горловину після завантаження лому, вапна, чавуну подається кисень (99,5 %). Тиск кисню перед фурмою складає 1,2–1,6 МПа, інтенсивність його подачі – (2,5–7 м³/т·хв), питома витрата кисню на процес – 45–55 м³/т). У період плавки у конвертер подається вапно та плавиковий шпат. Продувка триває 12–20 хв. і закінчується при такому досягненні вмісту вуглецю у сталі, що відповідає марці сталі, яка виплавляється. При цьому метал повинен мати температуру 1580–1650 °С, вміст сірки та фосфору – на рівні заданих для даної марки. Після підйому фурми проводиться відбір проби для визначення температури металу і шлаку та здійснюється кількісний аналіз компонентів плавки. За його результатами метал або випускається у ківш для проведення розкислення та легування або проводиться ще технологічне корегування. Після закінчення плавки шлак виливається через горловину у шлакову чашу.

Звичайно цикл плавки в залежності від ємності агрегату та інтенсивності продувки складає 30–50 хв.

Конструкційні розміри конвертера впливають на показники процесу плавки. Важливою є вимога, щоб спроектований конвертер забезпечував його роботу без викидів металу через горловину. Крім того, при розрахунку конвертера з верхньою продувкою виконуються вимоги щодо необхідного питомого об'єму конвертера, співвідношення садки до внутрішнього діаметру апарату та його горловини, а також діаметра горловини до внутрішнього діаметру циліндричної частини конвертора і ін.

2. Розрахунок основних розмірів кисневого конвертера з верхньою продувкою

Завдання. Визначити основні розміри конвертера при роботі зі скрапом, якщо його місткість становить 300 т.

Рішення.

1. Для конвертера з садкою 300 т за додатком 1 приймаємо розмір внутрішнього діаметра циліндричної частини конвертера $D_B = 6,0$ м.

2. Висота робочого простору від зрізу горловини до центру днища H_1 складе $1,4 D_B$ або $H_1 = 1,4 \cdot 6 = 8,4$ м

3. Виходячи з того, що значення куту нахилу горловини до вертикалі α в діючих конвертерах середньої і великої садки коливається в межах $53-71^\circ$, приймаємо $\alpha = 60^\circ$.

4. Діаметр горловини D_Γ дорівнює $0,52-0,63 D_B$. Приймаємо $D_\Gamma = 0,550 \cdot D_B$. $D_\Gamma = 0,550 \cdot 6,0 = 3,3$ м.

5. Висота горловини:

$$H_\Gamma = \frac{(D_B - D_\Gamma)}{2} \cdot \operatorname{tg}60^\circ = \frac{(6,0 - 3,3)}{2} \cdot 1,732 = 2,02 \text{ м.}$$

6. Об'єм рідкого металу V_M (або $V_{\text{р.м.}}$):

$$V_{\text{р.м.}} = c \cdot d,$$

де c – садка, т;

d – питомий об'єм рідкої сталі; $d = 0,14 \text{ м}^3/\text{т}$

$$V_{\text{р.м.}} = 300 \cdot 0,14 = 42 \text{ м}^3.$$

7. Метал в спокійному стані вміщується в кульовому сегменті $V_{\text{к.с.}}$ і в циліндричній частині $V_{\text{ц.ч.}}$ конвертера:

$$V_M = V_{\text{к.с.}} + V_{\text{ц.ч.}}$$

Об'єм кульового сегменту $V_{\text{к.с.}}$ визначається з формули:

$$V_{\text{к.с.}} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot h_{\text{к.с.}} \cdot (3 \cdot r_B^2 + h_{\text{к.с.}}^2) = \frac{1}{6} \cdot 3,14 \cdot 0,32 \cdot (3 \cdot 3^2 + 0,32^2) = 4,54 \text{ м}^3,$$

де r_B^2 – внутрішній радіус циліндричної частини конвертора; 0,32 – прийнята глибина кульового сегменту $h_{к.с.}$, м.

Об'єм циліндричної частини конвертора, що зайнята металом:

$$V_{ц.ч.} = \pi \cdot r_B^2 \cdot h_{ц.ч.} = 3,14 \cdot 3^2 \cdot h_{ц.ч.} = 28,26 \cdot h_{ц.ч.} .$$

Об'єм металу, що розташований у циліндричній частині конвертора:

$$V_M = V_{к.с.} + V_{ц.ч.}$$

$$42 = 4,54 + 28,26 \cdot h_{ц.ч.}, \text{ звідки } h_{ц.ч.} = 1,33 \text{ м.}$$

8. Загальна глибина металевої ванни h_M :

$$h_M = h_{ц.ч.} + h_{к.с.} = 1,33 + 0,32 = 1,65 \text{ м.}$$

9. Якщо прийняти кількість шлаку рівним 10 % і його щільність $\rho = 3000 \text{ кг/м}^3$, то шар шлаку $h_{ш}$ дорівнює:

$$h_{ш} = \frac{c \cdot 0,10 \cdot 1000}{\rho \cdot \pi \cdot r_B^2} = \frac{300 \cdot 0,10 \cdot 1000}{3000 \cdot 3,14 \cdot 3^2} = 0,35 \text{ м.}$$

10. Загальна глибина ванни в спокійному стані $h_{3АГ}$:

$$h_{3АГ} = h_M + h_{ш} = 1,65 + 0,35 = 2 \text{ м.}$$

Розраховане значення глибини ванни відповідає вимогам таблиці додатка 2.

11. Висота циліндричної частини конвертора $H_{цил.}$:

$$H_{цил.} = H_1 - H_\Gamma - h_{к.с.} = 8,4 - 2,02 - 0,32 = 5,74 \text{ м.}$$

12. При товщині кладки днища 1,0 і товщині кожуху 0,03 м загальна висота конвертора $H_{3АГ}$:

$$H_{3АГ} = H_1 + 1,0 + 0,03 = 8,4 + 1,0 + 0,03 = 9,43 \text{ м.}$$

13. Повний об'єм робочого простору $V_{р.п.}$:

$$V_{р.п.} = V_\Gamma + V_{ц.} + V_{к.с.} .$$

Об'єм горловини V_Γ , що уявляє собою фігуру зрізаного конусу, визначимо з формули:

$$V_\Gamma = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot H_\Gamma \cdot (r_B^2 + r_B^2 \cdot r_\Gamma + r_\Gamma^2) = \\ = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 2,02 \cdot (3^2 + 3^2 \cdot 1,65 + 1,65^2) = 56,18 \text{ м}^3 .$$

Об'єм циліндричної частини конвертора $V_{Ц}$:

$$V_{Ц} = \pi \cdot r_{Б}^2 \cdot H_{Цил} = 3,14 \cdot 3^2 \cdot 5,74 = 162,21 \text{ м}^3.$$

Об'єм робочого простору:

$$V_{р.п.} = V_{Г} + V_{Ц} + V_{к.с.} = 56,18 + 162,21 + 4,54 = 222,93 \text{ м}^3.$$

14. Питомий об'єм робочого простору $V_{р.п.}$ конвертора:

$$V_{р.п.} = 222,93 \div 300 = 0,743 \text{ м}^3/\text{т}.$$

15. Відстань від рівня спокійної ванни до зрізу горловини $H_{С}$:

$$H_{С} = H_1 - h_{зАГ} = 8,4 - 2 = 6,4 \text{ м}.$$

Контрольні запитання та завдання

1. За рахунок яких процесів забезпечується тепло для виплавки сталі у конвертерах?
2. Якими способами здійснюється продувка киснем у конвертері при виплавці сталі киснево-конверторним способом?
3. Коротко охарактеризуйте основні етапи виплавки сталі у конвертері з верхньою продувкою киснем.
4. Від яких характеристик залежать конструктивні розміри конвертера?

Література: [1,2,10,11]

Практичне заняття 2. Розрахунок фурми конвертера з верхньою продувкою

Мета: ознайомлення з методикою розрахунку продувальної фурми з визначенням параметрів кисневого струму і конструктивних розмірів сопла.

1. Теоретичні положення

У конверторі з верхньою продувкою використовуються різні за конструкціями фурми, але сучасні апарати оснащені тільки вертикальними фурмами. Передбачаються робоча та резервна фурми, які опускаються та піднімаються за допомогою спеціального механізму підйому строго по вертикальній осі конвертера.

Фурма виконана із сталевих труб, які внизу мають мідні головки із соплами. Останні встановлюють у кількості від 3 до 7 сопел типу сопла Лаваля. Чим вище інтенсивність подачі кисню і чим менше кількість сопел у фурмі, тим більшим повинен бути питомий об'єм конвертера (об'єм робочої порожнини, який відповідає 1 т рідкої сталі, $\text{м}^3/\text{т}$). Оптимальна кількість сопел у фурмі повинна забезпечувати рівномірність розподілу кисню у ванні та не допущення надмірного газовиділення, яке провокує виніс металу та шлаку із неї.

Кисень до конвертера підводиться від кисневої станції гофрованим шлангом зі швидкістю не більше 50 м/с. Його тиск у магістралі складає 1,6–2,0 МПа.

Фурма охолоджується водою, що подається насосами під тиском 1–1,2 МПа. Вода підводиться до фурми та відводиться від неї по водопровідним магістралям. Безпосередньо біля фурми підвід води здійснюється по гнучким металевим шлангам, які дозволяють їй вільно переміщатись у конвертері.

2. Розрахунок основних характеристик фурми конвертера з верхньою продувкою

Завдання. Розрахувати п'ятисоплову фурму для конвертера ємністю 300 т, який працює з інтенсивністю продувки $5 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{хв})$.

1. Масова витрати кисню на фурму I_0 , кг/с:

$$I_0 = \frac{G \cdot i \cdot \rho_0}{60} = \frac{300 \cdot 5 \cdot 1,42}{60} = 35,5,$$

де G – місткість конвертера, т; i – інтенсивність продукви, $\text{м}^3/(\text{т} \cdot \text{хв})$; ρ_0 – щільність технічного кисню, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho_0 = \frac{32 \cdot O_2 + 28 \cdot N_2}{22,4 \cdot 100} = \frac{32 \cdot 99,5 + 28 \cdot 0,05}{22,4 \cdot 100} = 1,42,$$

де O_2 та N_2 – кількість кисню та азоту у технічно чистому кисню, %.

2. Тиск кисню у підводному шлангу $P_{\text{шл}}$, МПа:

$$P_{\text{шл}} = (0,85 \dots 0,90) \cdot P_{\text{м}} = 0,9 \cdot 2 = 1,8.$$

3. Температура кисню у шлангу $T_{\text{шл}}$, К:

$$T_{\text{шл}} = T_{\text{м}} \cdot \left(\frac{P_{\text{шл}}}{P_{\text{м}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 293 \cdot \left(\frac{1,8}{2,0} \right)^{1,4-1,0} = 284,21,$$

де k – показник адіабати, $k = 1,4$.

4. Щільність кисню у шлангу, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho_{\text{шл}} = \rho_0 \cdot \frac{P_{\text{шл}} \cdot T_0}{T_{\text{шл}} \cdot P_0} = 1,42 \cdot \frac{1,8 \cdot 293}{284,21 \cdot 0,1} = 26,35,$$

де T_0 і P_0 – температура та тиск кисню у нормальних умовах, $P_0 = 0,1$ МПа; $T_0 = 293$ К.

5. Діаметр шлангу $d_{\text{шл}}$, що підводить кисень, м:

$$d_{\text{шл}} = \left(\frac{4 \cdot I_0}{\pi \cdot \rho_{\text{шл}} \cdot W_{\text{шл}}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{4 \cdot 35,5}{3,14 \cdot 26,35 \cdot 50} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,185,$$

де $W_{\text{шл}}$ – швидкість кисню у шлангу, $W_{\text{шл}} = 40 \dots 60$ м/с, $W_{\text{шл}} = 50$ м/с.

6. Втрати тиску у шлангу, що підводить кисень $P_{\text{шл}}$, МПа:

$$\Delta P_{\text{шл}} = \left(\xi_{\text{тр}} \cdot \frac{l_{\text{шл}}}{d_{\text{шл}}} + \xi_{\text{мс}} \right) \cdot \frac{W_{\text{шл}}^2}{2 \cdot g} \cdot \rho_{\text{шл}} \cdot 10^{-5},$$

$$\Delta P_{\text{шл}} = \left(0,06 \cdot \frac{23}{0,185} + 2,5 \right) \cdot \frac{50^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 26,35 \cdot 10^{-5} = 0,33,$$

де $\xi_{\text{тр}}$ – коефіцієнт тертя, $\xi_{\text{тр}} = 0,05 \dots 0,1$; $\xi_{\text{мс}}$ – коефіцієнт місцевого опору, $\xi_{\text{мс}} = 1,0 \dots 2,5$, $l_{\text{шл}} = 23$ м.

7. Тиск кисню на вході у фурму P_{ϕ} , МПа:

$$P_{\phi} = P_{\text{шл}} - \square P_{\text{шл}} = 1,8 - 0,33 = 1,47.$$

8. Температура кисню у фурмі T_{ϕ} , К:

$$T_{\phi} = T_{\text{шл}} \cdot \left(\frac{P_{\phi}}{P_{\text{шл}}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 284,21 \cdot \left(\frac{1,47}{1,8} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 268,22.$$

9. Щільність кисню у фурмі, кг/м³:

$$\rho_{\phi} = \rho_0 \cdot \frac{T_0 \cdot P_{\phi}}{P_0 \cdot T_{\phi}} = 1,42 \cdot \frac{293 \cdot 1,47}{0,1 \cdot 268,22} = 22,8.$$

10. Швидкість кисню у трубі фурми W_{ϕ} , м/с:

$$W_{\phi} = \frac{4 \cdot I_0}{\pi \cdot d_{\phi}^2 \cdot \rho_{\phi}} = \frac{4 \cdot 35,5}{3,14 \cdot 0,203^2 \cdot 22,8} = 48,14,$$

де $d_{\phi} = 0,203$ м.

11. Витрати тиску у трубі фурми, МПа:

$$\Delta P_{\phi} = \left(\xi_{\text{тр}} \cdot \frac{l_{\phi}}{d_{\phi}} + \xi_{\text{мс}} \right) \cdot \frac{W_{\phi}^2}{2 \cdot g} \cdot \rho_{\phi} \cdot 10^{-5},$$

$$\Delta P_{\phi} = \left(0,05 \cdot \frac{23,28}{0,203} + 1 \right) \cdot \frac{48,14^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 22,8 \cdot 10^{-5} = 0,18,$$

де $\xi_{\text{тр}} = 0,03 \dots 0,05$, $\xi_{\text{мс}} = 0,5 \dots 1,0$, $l_{\phi} = 23,28$ м; $\xi_{\text{тр}} = 0,05$, $\xi_{\text{мс}} = 1,0$.

12. Тиск кисню перед соплами P_c , МПа:

$$P_c = P_{\phi} - \square P_{\phi} = 1,47 - 0,18 = 1,29.$$

Для забезпечення рівного ходу процесу тиск перед соплами повинен бути не менше 1,2 МПа.

13. Температура кисню перед соплами T_c , К:

$$T_c = T_{\phi} \cdot \left(\frac{P_c}{P_{\phi}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 268,22 \cdot \left(\frac{1,29}{1,47} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 258,38.$$

14. Щільність кисню перед соплами, кг/м³:

$$\rho_c = \rho_0 \cdot \frac{T_0 \cdot P_c}{P_0 \cdot T_c} = 1,42 \cdot \frac{293 \cdot 1,29}{0,1 \cdot 258,38} = 20,77.$$

15. Тиск кисню у критичному перерізі сопла $P_{кр}$, МПа:

$$P_{кр} = 0,528 \cdot P_c = 0,528 \cdot 1,29 = 0,681.$$

16. Швидкість кисню у критичному перерізі сопла $W_{кр}$, м/с:

$$W_{кр} = \left(\frac{2 \cdot k}{k+1} \cdot RT_c \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2 \cdot 1,4}{1,4+1} \cdot 260 \cdot 258,38 \right)^{\frac{1}{2}} = 279,96,$$

де R – універсальна газова постійна, 260 Дж/(кг °С).

17. Температуру кисню у критичному перерізі сопла $T_{кр}$, К:

$$T_{кр} = 0,834 \cdot T_c = 0,834 \cdot 258,38 = 215,49.$$

18. Щільність кисню у критичному перерізі сопла, кг/м³:

$$\rho_{кр} = \rho_c \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} = 20,77 \cdot \left(\frac{2}{1,4+1} \right)^{\frac{1}{1,4-1}} = 13,17.$$

19. Масова витрата кисню через одне сопло I_1 , кг/с:

$$I_1 = \frac{I_0}{n} = \frac{35,5}{5} = 7,1.$$

де n – кількість сопел.

20. Площина критичного переріза сопла $S_{кр}$, м²:

$$S_{кр} = \frac{I_1}{\rho_{кр} \cdot W_{кр}} = \left(\frac{7,1}{13,17 \cdot 279,96} \right) = 0,0019.$$

21. Діаметр критичного переріза сопла $d_{кр}$, мм:

$$d_{кр} = 1000 \cdot \left(\frac{4 \cdot S_{кр}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} = 1000 \cdot \left(\frac{4 \cdot 0,0019}{3,14} \right)^{\frac{1}{2}} = 49,2.$$

22. Температура кисню на виході із сопла T_2 , К:

$$T_2 = T_{кр} \cdot \left(\frac{P_2}{P_{кр}} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 215,49 \cdot \left(\frac{0,13}{0,681} \right)^{\frac{1,4-1,0}{1,4}} = 134,19.$$

Тиск на виході із сопла P_2 приймається рівним:

0,11...0,12 МПа для $G \leq 100$ т;

0,12...0,13 МПа для $G = 100...200$ т;

0,13...0,16 МПа для $G \geq 200$ т.

23. Щільність кисню на виході з сопла, кг/м³:

$$\rho_2 = \rho_{кр} \cdot \left(\frac{T_2}{T_{кр}}\right)^{\frac{1}{k-1}} = 13,17 \cdot \left(\frac{134,19}{215,49}\right)^{\frac{1}{1,4-1,0}} = 4,03.$$

24. Швидкість кисню на виході із сопла W_2 , м/с:

$$W_2 = \left[\frac{2k}{k-1} \cdot R \cdot (T_c - T_2) \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{2 \cdot 1,4}{1,4-1,0} \cdot 260 \cdot (258,38 - 134,19) \right]^{\frac{1}{2}} = 475,42.$$

25. Площина вихідного перерізу сопла S_2 , м²:

$$S_2 = \frac{I_1}{\rho_2 \cdot W_2} = \frac{7,1}{4,03 \cdot 475,42} = 0,0037.$$

26. Діаметр критичного перерізу сопла d_2 , мм:

$$d_2 = 1000 \cdot \left(\frac{4 \cdot S_2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} = 1000 \cdot \left(\frac{4 \cdot 0,0037}{3,14}\right)^{\frac{1}{2}} = 68,7.$$

27. Довжина дифузора l_2 , мм:

$$l_2 = (d - d_{кр}) \cdot \frac{1}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = (68,7 - 49,2) \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,07} = 139,23,$$

де кут розкриття дифузора $\alpha = 6 \dots 12^\circ$.

28. Довжина конфузору (до критичної частини сопла) l_1 , мм:

$$l_1 = 0,5 \cdot d_{кр} = 0,5 \cdot 49,2 = 24,6.$$

29. Діаметр вихідного перерізу конфузора d_1 , мм:

$$d_1 = 1,1 \cdot d_{кр} = 1,1 \cdot 49,2 = 54,1.$$

30. Загальна довжина сопла l , мм:

$$l = l_1 + l_2 = 24,6 + 139,23 = 163,8.$$

Радіус окружності конфузора у критичному перерізі:

$$r_{окр} = d_{кр}.$$

Для внутрішнього діаметра труби фурми, що підводить кисень, повинне дотримуватися співвідношення:

$$d_{\phi} \geq d_{кр} \sqrt{3n} = 49,2 \cdot \sqrt{3 \cdot 5} = 190,6 \text{ мм},$$

де n – кількість сопів у наконечнику фурми.

Приймаємо $d_{\phi} = 203$ мм, що відповідає приведеному у додатку 4 внутрішньому діаметру фурми.

У тому випадку, якщо за приведеною формулою співвідношення не виконується, то вибирають трубу, внутрішній діаметр якої відповідає цьому співвідношенню.

Рекомендований кут нахилу сопел приймається згідно додатка 5 та складає 20° .

Завдання для виконання розрахункової роботи

Згідно даних табл. 1 визначити основні розміри конвертора при роботі зі скрапом, а також параметри кисневого струму та конструктивні розміри фурми, що використовується у ньому. Інтенсивність продувки залежить від ємності конвертера і складає $5 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{хв})$.

Таблиця 1 – Дані для розрахунку

Варіант	Садка, т	Кількість со- пел,шт	Інтенсивність продувки, $\text{м}^3/(\text{т}\cdot\text{хв})$
1	100	3	3
2	130	4	4
3	160	5	5
4	180	6	6
5	200	7	3
6	240	4	4
7	270	5	5
8	290	6	6
9	280	5	4
10	335	7	5

Контрольні запитання та завдання

1. Яке призначення фурми, що використовується у процесі виплавки сталі киснево-конвертерним способом?

2. Охарактеризуйте конструкції фурм конвертера.
3. Які конструктивні недоліки в конструкції конвертера провокують виніс металу та шлаку із неї?
3. Опишіть, яким чином охолоджується продувна фурма конвертера.

Література: [1,2,10,11]

Практичне заняття 3. Викиди забруднюючих речовин металургійного виробництва.

Мета заняття: охарактеризувати виробництва металургійного комплексу як потужні джерела забруднення повітряного басейну; проаналізувати обсяги утворення забруднюючих речовин у основному технологічному апараті; ознайомитись з принциповими системами очистки викидів та типовим очисним обладнанням, що застосовується у техніці захисту повітряного басейну у металургії.

1. Теоретичні положення

Металургійний комплекс є потужним забруднювачем повітряного басейну. 25 % всіх забруднюючих речовин, які поступають у повітряний басейн в Україні, утворюються у металургійних виробництвах. У чорній металургії викиди таких речовин формуються у агломераційному виробництві, а також при виплавці чавуну та сталі. Джерелами викидів у металургії кольорових металів є виробництво глинозему, алюмінію, міді, цинку, свинцю, нікелю, дорогоцінних металів.

Викиди підприємств чорної металургії переважно складаються з оксидів вуглецю, твердих речовин, оксидів сірки та азоту. До основних джерел забруднення повітряного басейну відноситься агломераційне, коксове, доменне та сталеплавильне виробництво.

Потенційними джерелами викидів діоксиду вуглецю, за яким повинен проводитись моніторинг як парникового газу, є сировина (випалювання, доломіту і карбонатних руд заліза, у тому числі FeCO_3), традиційні види палива (природний газ, вугілля і кокс), відновники (у тому числі

кокс), технологічні гази (коковий газ, доменний газ і газ, вироблений в кисневих конвертерах).

Пил агломераційного виробництва складається з частинок такого дисперсного складу: до 5 мкм (5 %), 5–10 мкм (3–4 %), 10–15 мкм (2 %), більше 50 мкм (понад 60 %). При виробництві 1 т агломерату утворюється 2,0–4,8 тис. м³ забруднених газів. Технологічні викиди містять 10–15, а неорганізовані 20–40 кг пилу. Також викиди містять 30–50 кг монооксиду вуглецю, 3–15 кг сірчистого ангідриду, 0,6–1,0 кг оксидів азоту. З викидами виноситься 6–8 % виробленого агломерату [4].

Кожна тонна виплавленого чавуну супроводжується утворенням 2000 м³ доменного газу. Він складається з 3,5–3,6 % водню, 0,1–0,4 % кисню, 0,1–0,6т% метану, 55 % азоту, 25–32 % оксиду вуглецю, 10–11 % діоксиду вуглецю та значної кількості пилу. Очищений доменний газ використовується внутрішньозаводськими споживачами у якості палива.

Крім того, у доменному виробництві утворюються вентиляційні викиди підбункерних приміщень, що містять пил.

Сталеплавильне виробництво, як і виробництво чавуну, характеризується значними викидами забруднюючих речовин у повітряний басейн. Так, виплавка 1 т сталі супроводжується викидами 40 кг пилу, який в залежності від типу сталі, що виплавляється, може містити сполуки заліза, марганцю, міді, цинку, хрому, нікелю, молібдену та інших металів. Такі викиди також містять біля 30 кг діоксиду сірки, близько 50 кг монооксиду вуглецю. При цьому при виплавці сталі найбільш неекологічним мартенівським способом у навколишнє середовище поступає до 90 % оксидів сірки, 85 % оксидів азоту та 75 % пилу усіх викидів виробництва сталі.

Конверторний спосіб одержання сталі, в залежності від технологічних особливостей плавки, супроводжується виносом таких забруднюючих речовин як пил, монооксид вуглецю, сірководень, фтор, хлор.

Електродугова виплавка сталі пов'язана з утворенням забруднених викидів з вмістом пилу, оксиду вуглецю, діоксиду азоту. Найбільш екологічним з точки зору формування забруднювачів є індукційна виплавка сталі.

В таблиці 1 приведені значення питомих викидів (т/добу), які супроводжують виробництво 1 млн т сталі.

Таблиця 1 – Питомі викиди (т/добу), які супроводжують виробництво 1 млн т сталі [4]

Тип виробництва	Тверді частки	Діоксид сірки	Монооксид вуглецю
Агломераційне	91	14,5	250
Коксохімічне	1	1,3	14,2
Доменне	11	3,3	10,6
Мартенівське	14	1,2	0,7
Конвертерне	7	1,2	1,5
Електросталеплавильне	1,1	0,3	–

1.2 Визначення кількості пилу, що утворюється при виробництві сталі конвертерним способом.

Пил, що поступає у викиди, утворені при виплавці сталі конверторним способом, в основному, складається із заліза та його оксидів. Тому у розрахунках обсягів викидів враховують тільки ці речовини.

Середня інтенсивність виносу пилу ($M_{\text{сер}}$, кг/хв.) визначається за формулою:

$$M_{\text{сер}} = \frac{M_{\text{Fe}} \cdot n \cdot 100}{Fe_{\text{зар}}},$$

де M_{Fe} – середня інтенсивність виносу оксидів заліза з однієї реакційної зони, кг/хв (Додаток 6); n – кількість реакційних зон (сопел); $Fe_{\text{зар}}$ – вміст заліза у конвертерному пилу на виході з горловини конвертера, %.

Максимальний винос пилу ($M_{\text{макс}}$, кг/хв.) який враховує використання шихтових матеріалів:

$$M_{\text{макс}} = k \cdot M_{\text{сер}},$$

де $k_{\text{макс}}$ – коефіцієнт, який залежить від питомої інтенсивності продувки (Додаток 7).

Сумарний винос пилу за плавку ($M_{\text{сум}}$, кг):

$$M_{\text{сум}} = k_{\text{сум}} \cdot M_{\text{сер}} \cdot \tau,$$

де $k_{\text{сум}}$ — який залежить від питомої інтенсивності продувки (Додаток 8);
 τ – тривалість продувки, хв.

Завдання 1. Розрахувати кількість пилу, що утворюється при виробництві сталі конвертерним способом згідно даних таблиці 2.

Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунку

Варіант	Кількість реакційних зон	Витрати кисню на одне сопло, м ³ /хв	Вміст заліза у конвертерному пилу на виході з горловини конвертера, %	Тривалість продувки, хв.
1	3	30	40	15
2	5	40	41	13
3	6	50	42	16
4	7	60	40	17
5	4	70	43	18
6	5	80	42	15
7	6	50	41	16
8	7	60	44	18
9	4	70	41	17
10	5	40	40	19

Завдання 2. Охарактеризувати принципові системи очистки викидів від забруднюючих речовин, що використовуються у різних типах виробництв металургійного комплексу. Обґрунтувати доцільність використання конкретного виду обладнання по уловлюванню пилу та газоподібних забруднювачів.

Контрольні запитання та завдання

1. Які виробництва є джерелами викидів у металургійному комплексі? Назвіть потенційні джерела викидів діоксиду вуглецю як об'єктів моніторингу парникових газів.

2. Охарактеризуйте склад викидів, що утворюються у агломераційному виробництві.

3. Які компоненти входять у склад доменного газу? У яких процесах може використовуватись його тепло?

4. Наведіть оцінку сталеплавильного виробництва в цілому та мартенівського виробництва зокрема з точки зору забруднення повітряного басейну.

5. Який спосіб виплавки сталі є найбільш екологічним? Обґрунтуйте свою відповідь.

Література: [3–7]

2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАНЯТТЯ З РОЗДІЛУ «ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ»

Практичне заняття 4. Розрахунок викидів основних забруднюючих речовин, що утворюються при спалюванні твердого палива у котлоагрегатах

Мета: ознайомлення з методикою визначення обсягу утворення основних забруднюючих речовин у викидах, які формуються в результаті спалювання вугілля у комунальних та промислових котельнях.

1. Теоретичні положення

Актуальною проблемою енергетичного сектору України є зниження споживання природного газу, у тому числі шляхом використання вугілля. «Мала енергетика», до якої відносяться комунальні та промислові котельні, займає суттєве місце у споживанні твердого палива та забрудненні атмосферного повітря населених пунктів.

Шкідливими викидами в атмосферу під час спалювання палива є:

- частинки незгорілого палива;
- оксиди азоту NO та NO₂ (паливні, швидкі, термічні);
- оксиди сірки SO₂, SO₃;
- сажа С;
- зола;
- продукти неповного згорання CO, C_mH_n, H₂ тощо;
- канцерогенні речовини (1,2 бенз(а)пирен C₂₀H₁₂ та інші).

Всі котли та інші паливоспалюючі установки, що сертифікуються в Україні, проходять перевірку по відповідності екологічних показників, в тому числі і по концентрації викидів NO_x та CO [8].

Кількість певної забруднюючої речовини, що поступає у викиди, залежить від виду палива, конструкції топко́к, а також пальникових та золоуловлюючих пристроїв. Крім того, важливим є вміст у паливі сірки та величина його зольності.

Серед методів зменшення утворення та надходження у повітряний басейн шкідливих викидів використовується попередня очистка палива; створення умов для придушення утворення забруднювачів та їх випалювання; застосування систем очистки викидів від шкідливих для довкілля речовин.

Метод шарового спалювання, який призначений для спалювання кускового палива, є досить розповсюдженим та використовується у котлоагрегатах різного типу. В шарових топках спалюється паливо з розмірами кусків 20...30 мм і більше.

В Україні проводиться видобуток вугілля марок Д, ДГ, Г,Ж. Для спалювання у котлоагрегатах використовуються енергетичні марки вугілля. Їх характеристики наводяться у ДСТУ 7146:2010 [9].

У теперішній час багато уваги приділяється ефективному використанню енергетичних ресурсів при їх спалюванні. Втрати тепла при роботі котлоагрегата пов'язані з багатьма причинами. Серед них при розрахунку викидів забруднюючих речовин враховують втрати теплоти від механічної та хімічної неповноти згоряння палива. Величина втрати теплоти від механічної неповноти згоряння палива коливається в межах – від 1–2 % у великих камерних топках, та до 10–15 % у малих установках. Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння у топках раціональної конструкції складають 1–2 %.

2. Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні твердого палива

Завдання. Розглядається котельня, що працює на кам'яному вугіллі марки ДГ. Фактична витрата палива B_{ϕ} складала 1749,5 т/рік. Котельня працює у опалювальний період $T = 6816$ год/рік. Втрата тепла від

механічної неповноти згорання q_4 складає 8,1 %. Нижча теплота згорання палива Q_r – 24,702 МДж/кг. Необхідно розрахувати валові викиди газоподібних та твердих часток, які утворюються при згорянні вугілля. Результати будуть використані з ціллю прогнозування і оцінки обсягів викидів забруднюючих речовин та у плануванні першочерговості природоохоронних заходів.

Розрахункова витрата палива B_p визначається за формулою

$$B_p = B_\phi \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) = 1749,5 \cdot \left(1 - \frac{8,1}{100}\right) = 1607,79 \text{ т/рік.}$$

Фактична теплова потужність котла $Q_{\text{фак}}$ по теплу, що введене у топку:

$$Q_{\text{фак}} = [B_p / (T/3,6)] / Q_r ;$$

$$Q_{\text{фак}} = [1607,79 / (6816/3,6)] / 24,702 = 1,61856 \text{ МДж/кг.}$$

Теплова напруга дзеркала горіння q_Γ при площі горіння $F = 5 \text{ м}^2$ складає:

$$q_\Gamma = Q_{\text{фак}} / F = 1,61856 / 5 = 0,3224 \text{ МДж/м}^2.$$

Викиди оксидів азоту

Питомий викид оксидів азоту $D_{\text{аз.окс.}}$ (г/МДж) у перерахунку на NO_2 при шаровому спалюванні твердого палива визначається за формулою:

$$D_{\text{аз.окс.}} = 0,11 \cdot \alpha_t \cdot \left(1 + 5,46 \cdot \left(\frac{100 - R6}{100}\right) \cdot (q_\Gamma \cdot Q_r) \cdot 0,25\right),$$

де α_t – коефіцієнт надлишку повітря в топці, рівний 1,35; $R6$ – характеристика гранулометричного складу вугілля, 40 %;

$$\begin{aligned} D_{\text{аз.окс.}} &= 0,11 \cdot 1,35 \cdot \left(1 + 5,46 \cdot \left(\frac{100 - 40}{100}\right) \cdot (0,3224 \cdot 24,702) \cdot 0,25\right) = \\ &= 1,26483 \text{ г/МДж.} \end{aligned}$$

Викид оксидів азоту ($M_{\text{аз.окс.}}$) розраховується за формулою:

$$M_{\text{аз.окс.}} = B_{\text{ф}} \cdot Q_{\Gamma} \cdot D_{\text{аз.окс.}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{п}},$$

де $K_{\text{р}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив рециркуляції димових газів, рівний 1; $K_{\text{п}}$ – 0,001 (для валового викиду).

$$M_{\text{аз.окс.}} = 1749,5 \cdot 24,702 \cdot 1,26483 \cdot 1 \cdot 0,001 = 54,66108 \text{ т/рік.}$$

Викиди діоксиду сірки

Викид діоксидів сірки M_{SO_2} у перерахунку на SO_2 складає:

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^{\text{P}} \cdot (1 - \eta'_{\text{SO}_2}) \cdot (1 - \eta''_{\text{SO}_2}),$$

де B – витрати палива, 1749,5 т/рік; S^{P} – вміст сірки у паливі на робочу масу, для валового вмісту, рівний 1,62 %; η'_{SO_2} – частка оксидів сірки, що пов'язуються летючої золою у котлі, 0,1 (тип палива: вугілля інших родовищ)

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot 1749,5 \cdot 1,62 \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0,1) = 45,63045 \text{ т/рік.}$$

Викиди оксиду вуглецю

Валові викиди оксиду вуглецю M_{CO} розраховуються за формулою:

$$M_{\text{CO}} = 0,001 \cdot C_{\text{CO}} \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right),$$

де C_{CO} – вихід оксиду вуглецю при спалюванні палива; B – витрати палива, 1749,5 т/рік.

Вихід оксиду вуглецю при спалюванні палива, визначається по формулі:

$$C_{\text{CO}} = q_3 \cdot R \cdot Q_{\Gamma},$$

де q_3 – втрати тепла внаслідок хімічної неповноти згоряння палива, 2 %;
 R – безрозмірна доля q_3 , обумовлена наявністю продукту неповного згоряння оксиду вуглецю. Для твердого палива $R = 1$; Q_{Γ} – нижча теплота згоряння палива, 24,702 МДж/кг

$$C_{CO} = 2 \cdot 1 \cdot 24,702 = 49,4 \text{ кг/т.}$$

Викиди оксиду вуглецю за опалювальний період складають:

$$M_{CO} = 0,001 \cdot 49,4 \cdot 1749,5 \cdot (1 - 8,1/100) = 79,4248 \text{ т/рік.}$$

Викиди твердих часток

Викид летючої золи M_3 визначається за формулою:

$$M_3 = 0,001 \cdot B_{\Phi} \cdot A_{\Gamma} \cdot A_{\text{Вин}} \cdot (1 - V_3),$$

де A_{Γ} – зольність палива на робочу масу (для валового викиду), 10,9 %;
 $A_{\text{Вин}}$ – частка золи, яка відноситься газами з котла, 0,6; V_3 – частка золи, що уловлюється у золоуловлювачах, 0,76.

Валовий викид золи становить:

$$M_3 = 0,001 \cdot 1749,5 \cdot 10,9 \cdot 0,6 \cdot (1 - 0,76) = 2,7460 \text{ т/рік.}$$

Кількість коксових залишків при спалюванні твердого палива розраховується за формулою:

$$M_3 = 0,001 \cdot B_{\Phi} \cdot (1 - V_3) \cdot (q_4 \cdot Q_{\Gamma} / 32,68),$$

$$M_3 = 0,001 \cdot 1749,5 \cdot (1 - 0,76_3) \cdot (8,1 \cdot 24,702 / 32,68) = 2,57075 \text{ т/рік.}$$

Примітка: по використанні у даному розрахунку формулам аналогічний розрахунок проводять у випадку необхідності визначення обсягів викидів у г/с.

Завдання. З ціллю оцінки обсягів викидів забруднюючих речовин при плануванні природоохоронних заходів визначити валові викиди забруднюючих речовин, які утворюються при згорянні вугілля енергетичних марок Г та ДГ.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для розрахунку

Вар.	Фактична витрата палива, т/рік	Період роботи котельної, днів/рік	Втрата тепла від неповноти згорання, %		Нижча теплота згорання палива, МДж/кг
			механічної	хімічної	
1	1090	7464	7,8	1	24,282
2	1349	6816	8,3	2	25,539
3	1170	7464	10,0	2	23,449
4	1160	7464	9,1	1	23,027
5	1250	6816	11,0	1	23,865
6	1160	6816	9,7	2	24,282
7	990	7464	7,9	1	23,446
8	1260	6816	12,1	2	23,027
9	1190	7464	8,9	2	22,190
10	1200	6816	9,8	2	24,282

Література: [3,4,7–9]

Контрольні запитання та завдання

1. Які шкідливі речовини містяться у викидах, що формуються під час спалювання палива?
2. Від чого залежить кількість утвореної забруднюючої речовини, що надходить у викиди?
3. Які методи застосовуються для зменшення викидів забруднюючих речовин при спалювання палива?
4. Охарактеризуйте марки вугілля, що використовуються для спалювання у котлоагрегатах.
5. Які види втрат тепла включаються у розрахунок викидів забруднюючих речовин, утворених при спалюванні палива у котлоагрегатах?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Мартиненко, В.О. Системи технологій промисловості: навч.-метод. пос. – Суми : ДВНЗ “УАБС НБУ”, 2011.
2. Бигеев, А.М. Металлургия стали (Теория и технология плавки стали) [Электронный ресурс] : учебник / А. М. Бигеев ; рец. А. Ф. Вишкарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Электрон. текстовые дан. – Челябинск : Metallurgia, 1988. – 480 с.
3. Промислова екологія: навч. пос. / Филипчук, В.Л., Клименко, М.О. та ін.; за ред. Филипчука В.Л.– Рівне:НУВГП, 2013.– 495 с.
4. Техноекотолія: підручник / Мальований М.С., В.М. Боголюбов, Т.П. Шаніна та ін.; за ред. М.С.Мальованого; Нац. ун-т «Львівська політехніка».– Херсон: Олдрі-Плюс, 2014. – 616 с.
5. Розрахунок викидів шкідливих речовин у атмосферу: методичні вказівки / Рижков С.С., Харитонов Ю.М., Благодатний В.В. – Миколаїв: УДМТУ, 2002.– 44 с.
6. Ветошкин, А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки: учеб. пособие / А.Г. Ветошкин. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 210 с.
7. Ратушняк, Г.С. Технічні засоби очищення газових викидів: навч. посіб. / Г.С. Ратушняк, О.Г. Лелюк. – Вінниця : ВНТУ. – 2005. – 158 с.
8. Степанов, Д.В., Корженко Є.С., Боднар Л.А. Котельні установки промислових підприємств: навч. пос. / Д.В. Степанов, Є.С. Корженко, Л.А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ. – Режим доступу: http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_u/index.html вільний (дата звернення: 03.02.2017).
9. ДСТУ 7146:2010. Вугілля кам'яне та антрацит для побутових потреб. Технічні умови. Київ: ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ.– 2010.– Режим доступу: http://normativ.ucoz.org/ld/3/322_7146.pdf, вільний (дата звернення: 03.02.2017).
10. Методичні вказівки до вивчення дисципліни “Конструкції та проектування сталеплавильних агрегатів “/Укл.: Ю.С.Паніотов – Дніпропетровськ : НМетАУ, 2002. – 22 с.
11. Методичні вказівки для практичних занять з дисципліни “Конструювання та експлуатація металургійних агрегатів” для студентів спеціальності 6.090400 “Металургія чорних металів” усіх форм навчання / Уклад.: Полетаєв В.П.– Дніпродзержинськ: ДДТУ.–2007.– 17 с.

ДОДАТКИ

Додаток 1 – Співвідношення садки та внутрішнього діаметра конвертера

Садка, т	Внутрішній діаметр, м	Садка, т	Внутрішній діаметр, м
50	3,2–3,4	200–240	5,10–5,90
100	4,0–4,4	270	6,91
130	4,42	275–300	5,92–6,91
150–175	4,93–5,15	335	6,7
180–190	5,40–5,56		

Додаток 2 – Глибина рідкої ванни в спокійному стані

Садка, т	Глибина, м	Садка, т	Глибина, м
50	1,05–1,10	200–240	1,64–2,00
100	1,40–1,50	270	1,57–1,71
130	1,52	275–300	1,75–2,00
150–175	1,32–1,80	335	2,00
180–190	1,63–1,70		

Додаток 3 – Характеристика конвертерів

Характеристики	Номінальна місткість конвертера, т						
	350	300	250	160	130	100	50
Обсяг робочого простору, м ³	318	263	250	136	108	91	54
Питомий обсяг, м ³ /т	0,91	0,87	1,0	0,85	0,83	0,91	1,08
Глибина ванни рідкого металу у спокійному стані, мм	1800	1897	1550	1550	1470	1250	969
Розміри по футеровці, мм							
–діаметр циліндричної частини	6950	6600	6600	5450	4820	4300	3700
–діаметр горловини	4000	3430	3200	2200	2300	2150	1700
–висота робочого простору (до горловини у вузькому перетині)	10075	9215	8920	7400	7240	7275	5940

Додаток 4 – Характеристики фурм для конвертерної плавки з верхнім кисневим дуттям

Характеристика	Номінальна місткість конвертера, т сталі						
	400	350	300	250	160	130	100
Довжина фурми, м	28	26,50	23,28	23,03	17,64	15,40	15,00
Зовнішній діаметр, мм	470	426	325	300	245	203	203
Внутрішній діаметр, мм	330	283	203	170	170	102	102
Максимальна витрата кисню, нм ³ /хв	3200	2800	1500	900	800	–	–
Максимальна витрата води на охолодження, м ³ /год	550	500	350	250	175	–	–
Тиск кисню перед фурмою, МПа	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5
Тиск води перед фурмою, МПа	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2

Додаток 5 – Рекомендований кут нахилу сопел до вертикалі

Кількість сопел, шт.	3	4	6	8
Кут нахилу, °	10–15	15–20	20–25	25–30

Додаток 6 – Витрати кисню на одне сопло

Витрати кисню, м ³ /хв	30	40	50	60	70	80
Винос заліза зі шлаком, кг/хв	2,0	5,0	8,5	12,5	17,0	22,5

Додаток 7 – Змінення коефіцієнта $k_{\text{макс}}$ від інтенсивності продувки

Інтенсивність продувки, м ³ /т·хв	3	4	5	6
Коефіцієнт $k_{\text{макс}}$	5,0	8,5	12,5	17,0

Додаток 8 – Змінення коефіцієнта $k_{\text{сум}}$ від інтенсивності продувки

Інтенсивність продувки, м ³ /т·хв	3	4	5	6
Коефіцієнт $k_{\text{сум}}$	1,85	2,12	2,5	2,9

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять та розрахункової роботи з дисципліни
«Системи технологій та промислова екологія»

для студентів усіх форм навчання спеціальності 101 «Екологія»

Укладачі:

САМОЙЛЕНКО Наталія Миколаївна
ГОРБУНОВА Ольга Володимирівна
АВЕРЧЕНКО Валентина Іллівна

Відповідальний за випуск проф. *Шапорев В. П.*
Роботу до видання рекомендувала проф. *Зінченко М. Г.*
В авторській редакції

План 2017, поз. 148.
Підп. до друку 14.07.2017 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 1.
Наклад 100 прим. Зам. № Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП»
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Друкарня НТУ «ХП». 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2