

**Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія**



**В.Р. Румянцев
О.Г.Кириченко
Є.А.Манідіна
В.О.Панова**

ТЕХНОЕКОЛОГІЯ РЕГІОНУ

**Методичні вказівки
до проведення практичних занять**

*для студентів ЗДІА
всіх спеціальностей*

Запоріжжя

2018
Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

ТЕХНОЕКОЛОГІЯ РЕГІОНУ

Методичні вказівки
до проведення практичних занять

для студентів ЗДІА
всіх спеціальностей

Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри Металургії,
протокол № __ від _____ р.

Техноекологія регіону. Методичні вказівки до проведення практичних занять для студентів ЗДІА всіх спеціальностей / Укл.: В.Р. Румянцев, О.Г.Кириченко, Є.А.Манідіна, В.О.Панова. – Запоріжжя, 2018. – 27 с.

Методичні вказівки призначені для студентів, які виконують практичні завдання та контрольні роботи з курсу «Техноекологія регіону». Вказівки містять плани практичних занять, базові теми для обговорення, список рекомендованої літератури для підготовки.

Укладачі: *В.Р. Румянцев, доцент*
О.Г.Кириченко, доцент
Є.А.Манідіна, доцент
В.О.Панова, асистент

Відповідальний за випуск : д.т.н., проф. Терновий Ю.Ф.

ВСТУП

Захист навколишнього середовища від шкідливих викидів є однією з проблем сучасності. Забруднення атмосфери і світового океану вже зараз загрожує існуванню рослинного і тваринного життя. Неминуче зростання промислового виробництва і, отже, подальше збільшення викидів шкідливих речовин в атмосферу можуть спричинити за собою найсерйозніші наслідки, які в даний час важко передбачити.

Дисципліна “ТЕХНОЕКОЛОГІЯ РЕГІОНУ” – найбільший за обсягом блок прикладних екологічних напрямів, пов’язаних із об’єктами людської діяльності, особливостями використання ними природних ресурсів; розробкою регламентацій природокористування і технічних засобів охорони природи; проблемами утилізації відходів виробництва та відтворення зруйнованих екосистем, екологізацією виробництва.

ЗМІСТ

1. ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ПОВІТРІ	6
2. ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ВОДІ	7
3. ВОЛОГІСТЬ ГАЗІВ	9
4. ЕНТАЛЬПІЯ	9
5. ВИДИ ТИСКУ	12
6. ЗАКОНИ ІДЕАЛЬНИХ ГАЗІВ	13
7. УТИЛІЗАЦІЯ КОЛОШНИКОВОГО ПИЛУ	20
8. РОЗРАХУНОК ПЕРЕПЛАВУ ПИЛУ, ВЛОВЛЕНОГО ПРИ ВИПЛАВЦІ СТАЛІ В МАРТЕНІВСЬКІЙ ПЕЧІ	23
ЛІТЕРАТУРА	27

1. ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ПОВІТРІ

За стандарт якості повітря в Україні й у країнах СНД прийняті гранично допустимі концентрації (ГДК). Для шкідливих речовин їх встановлюють у двох показниках: максимально разові (ГДК^р), обумовлені протягом 5-20 хв. дії шкідливої речовини, і середньодобові (ГДК^с), обумовлені протягом 24 годин дії.

ГДК^с є основними: показниками їх призначення – не допустити несприятливого впливу шкідливих речовин.

ГДК^р устанавлюють також для речовин, що володіють різким запахом чи дратівним впливом.

При одночасній присутності у повітрі (n) шкідливих речовин, що володіють сумарним шкідливим впливом, визначають їх безрозмірну концентрацію q, що не повинна перевищувати одиниці. Цю величину розраховують по формулі:

$$q = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{ГДК_i} \leq 1 \quad (1)$$

або в розгорнутому вигляді

$$q = \frac{c_1}{ГДК_1} + \frac{c_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{c_n}{ГДК_n} \leq 1, \quad (2)$$

де c_i – концентрація i-го компонента в газі, мг/м³;

ГДК_i – гранично допустима концентрація i-го компонента в суміші, мг/м³.

Це співвідношення може бути представлено й у такому виді:

$$c_1 - c_2 \frac{ГДК_1}{ГДК_2} + c_3 \frac{ГДК_1}{ГДК_3} + \dots + c_n \frac{ГДК_1}{ГДК_n} \leq ГДК_1 \quad (3).$$

У даному випадку значення концентрацій n шкідливих речовин умовно приводять до концентрації першого з них c_1 . У цьому випадку розрахунок спрощується, якщо заздалегідь відомі чи обчислені відносини ГДК₁/ГДК₂.

ГДК для шкідливих речовин у повітрі можна знайти в довідковій літературі, вони визначені санітарними нормами й обов'язкові для застосування по всій території нашої країни. Для деяких речовин ГДК приведені в табл. 1.

Користаючись даними табл.1 можна вирішувати наступні конкретні задачі.

Задача №1.

Яка може бути концентрація оксиду вуглецю (CO) у повітрі промислового регіону, якщо концентрація сірчистого ангідриду (SO₂) складає (0,02+0,1n) мг/м³, а концентрація сірководню (H₂S) – (0,001+0,001n) мг/м³, щоб суміш була безпечною.

Таблиця 1. - ГДК речовин в повітрі населених місць

Речовина, що забруднює	ГДК, мг/м ³	
	Максимально разова (20 хв)	Середньодобова (24 години)
Пил нетоксичний	0,5	0,15
Сірчистий ангідрид	0,5	0,15
Окис вуглецю	3,0	1,00
Двоокис азоту	0,085	0,085
Сажа	0,15	0,05
Сірководень	0,008	0,008
Бенз(а)пирен	-	0,1мкг/100м ³
Фтористий водень	-	0,5мкг/100м ³
Хлористий водень	-	5,0мкг/100м ³
Хлор	-	1,0мкг/100м ³

Приклад рішення задачі:

Згідно з формулою (3) маємо, що питома концентрація оксиду вуглецю визначається як:

$$c_1 = \left[1 - \left(\frac{c_2}{ГДК_2} + \frac{c_3}{ГДК_3} \right) \right] ГДК_1,$$

потім підставляють відомі концентрації (SO₂) і (H₂S) і в довідковій літературі знаходять відповідні значення ГДК.

2. ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ВОДІ

За стандарт якості стічних вод і у водоймах прийняті ГДК, що для шкідливих речовин встановлюються окремо для водойм господарського, санітарно-побутового користування. Концентрації шкідливих речовин у стічних водах не повинні перевищувати ГДК для водойм, у які скидають ці води. ГДК деяких шкідливих речовин приведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – ГДК шкідливих речовин у водоймах, мг/кг (мг/л)

Речовина	Для водойм санітарно-побутового користування	Для рибогосподарських водойм
Аміак	-	0,05
Ванадій	0,1	-
Мідь	0,1	0,01
Миш'як	0,05	0,05
Нікель	1,0	0,01
Нітрати (по азоту)	10,0	-
Поліакриламід (ПАА)	2,0	-
Ртуть	0,005	-
Свинець	0,1	0,1
Фтор	1,5	-
Солі сірчаної кислоти	500,0	-
Цинк	1,0	-
Хлор активний	-	-
Нафта і нафтопродукти в емульгованому стані	0,5	0,05
Феноли	0,001	0,001

Задача №2.

У рибогосподарську водойму надходить стічна вода, в 1 кг якої міститься (0,02+0,01n) мг миш'яку, (0,07+0,01n) мг свинцю і (0,0007+0,0001n) мг фенолу.

Чи необхідно розбавляти дану стічну воду чистою і, якщо потрібно, то в якій кількості?

Приклад рішення задачі:

У рибогосподарську водойму надходить стічна вода, в 1 кг якої міститься 0,02мг миш'яку, 0,07мг свинцю і 0,0007мг фенолу.

Визначаємо безрозмірну концентрацію по формулі (1). По таблиці 2 знаходимо ГДК для миш'яку (ГДК₁=0,05), свинцю (ГДК₂=0,1), фенолу (ГДК₃=0,001). Таким чином,

$$q = \frac{0,02}{0,05} + \frac{0,07}{0,1} + \frac{0,0007}{0,001} = 1,8.$$

Отримана величина перевищує одиницю. Необхідно стічну воду розбавити.

Після використання правила хреста, що використовується для розрахунку концентрації розчину після його розбавлення іншим розчином, маємо наступну пропорцію:

$$m_p^k - c$$

$$x - c'$$

де m_p^k - маса стічної води, кг, в даному випадку $m_p^k = 1\text{кг}$

x - маса розчинника, кг

c - різниця концентрацій речовини у концентрованому розчині і в розчиннику визначається як:

$$c = q_k - q_p,$$

де q_k - отримана безрозмірна концентрація, в даному випадку $q_k = 1,8$;

q_p - концентрація шкідливих речовин у розчиннику, у випадку коли розчинником є свіжа вода, то $q_p = 0$

c' - різниця концентрацій речовини у концентрованому розчині і шуканою концентрацією

$$c' = q_k - q',$$

q' - концентрація, що шукається, в даному випадку $q' = 1$.

Тоді маємо:

$$x \cdot c = m_p^k \cdot c'$$

$$x = \frac{m_p^k \cdot c'}{c}$$

У даному випадку маса розчинника 0,8 кг.

3. ВОЛОГІСТЬ ГАЗІВ

Кількість водяних парів у грамах, що містяться в 1 м³ вологого газу, тобто в суміші газу-носія і цих же водяних пар називається *абсолютною вологістю*.

Чим вище температура газу, тим більше кількість водяних парів може міститися в ньому. Іноді застосовують термін *вологоємність* – це абсолютна вологість у насиченому стані.

Газ, що містить у собі граничну кількість водяних парів, називається *насиченим*.

Часто використовується термін *відносна вологість* – це відношення кількості водяних пар, що містяться в газі, до гранично можливого їхнього вмісту в даних умовах.

Застосовується також такий показник як *вологовміст* - це кількість водяних пар у г чи кг, віднесена до одиниці маси сухої частини газу г (кг).

Відношення вологовмісту до гранично можливого вологовмісту називається *ступенем насичення*.

4. ЕНТАЛЬПІЯ

Ентальпія вологого газу розраховується по формулі:

$$i = 1,005 \cdot t_c + (2480 + 1.97 \cdot t_c) \cdot x \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (5)$$

де t_c – температура в градусах Цельсія, що визначена по сухому термометру, тобто по звичайному термометру; t_c уводиться для того, щоб не плутати її з температурою, обумовленої по мокрому термометру (про цю температуру будемо говорити пізніше); x - вологовміст, кг/кг.

Як видно з формули, ентальпія складається з двох частин: ентальпії сухої частини газу і ентальпії водяних парів.

У цій формулі:

1,005 - питома масова теплоємність сухої частини газу, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$. Приведене чисельне значення теплоємності відноситься до повітря; якщо склад газу відрізняється від складу повітря, то ця теплоємність повинна розраховуватися (хоча й у практиці очищення газів їх теплоємність нерідко приймають рівної теплоємності повітря).

Ентальпія водяних парів у свою чергу складається з двох частин:

$2480 \cdot x$ – тепло, яке витрачається на випар x кг водяних парів, і

$1,97 \cdot t_c \cdot x$ – тепло, яке витрачене на нагрівання x кг водяних парів від 0°C до t_c ;

тут 2480 - теплота фазового переходу - стільки теплоти в кДж потрібно затратити, щоб 1 кг води перетворити в пару;

$1,97 \cdot t_c$ - кількість тепла, яке затрачуване на нагрівання 1 кг водяних пар від 0°C до t_c .

$1,97$ - питома масова теплоємність водяних пар, кДж/кг · град.

Водяний пар, що знаходиться в термодинамічній рівновазі з водою, називається *сухою насиченою парою*. Суміш сухої насиченої пари з крапельками води називається *вологою насиченою парою*.

Таким чином, у вологій насиченій парі два компоненти, що визначають зміст вологи: суха пара і крапельки води.

Частка сухої насиченої пари у вологій насиченій парі характеризує його *ступінь сухості*.

Водяної пар, що має температуру більш високу ніж температура насиченої пари при цьому тиску, називається *перегрітою парою*.

Насичена пара має найвищу можливу при даному тиску температуру, рівну температурі кипіння цієї рідини при даному тиску.

Вологу насичену пару неможливо нагріти. При підведенні тепла до неї це тепло буде витрачатися на фазовий перехід (випар крапельок) доти, поки вона не перейде в суху насичену пару, тобто поки не випаруються всі крапельки води.

Парціальний тиск водяних пар у повітрі чи газі нерідко називається *пружністю водяних парів*. Пружність водяних парів над поверхнею рідини залежить від температури рідини, а також від радіуса кривизни поверхні, що випаровується. Чим менше радіус кривизни поверхні, що випаровується, тим більше парціальний тиск водяних парів над крапелькою. Однак помітний для практики вплив радіуса кривизни на парціальний тиск водяних парів має місце при дуже тонкій диспергованій краплі - коли ці розміри складають частки мкм. У практиці очищення газів ці розміри значно більше. Тому впливом радіуса кривизни на парціальний тиск водяних парів над крапелькою будемо зневажати.

Для різних способів вираження вологості f існують наступні залежності:

$$\frac{x}{\left(\frac{1}{1.293} + \frac{x}{0.804} \right)} = f \quad (6)$$

Якщо ця суміш не повітря, а будь-який інший газ із щільністю при нормальних умовах ρ_0 , то ця залежність буде справедлива при підстановці замість 1.293 величини ρ_0 .

З рівняння (6) випливає, що при тиску, вираженому в мм.рт.ст., справедливі наступні формули:

$$x = 0,622 \cdot \frac{f'}{0,804 - f'}, \text{ кг/м}^3 \quad (7)$$

$$f'' = \frac{x}{\left(\frac{1}{1,293} + \frac{x}{0,804} \right)} \cdot \frac{273+t}{273} \cdot \frac{760}{B \pm P_2}, \quad (8)$$

$$f'' = \frac{0,36x(B \pm P_2)}{\left(\frac{1}{1,293} + \frac{x}{0,804} \right) \cdot (273+t)}, \quad (9)$$

З огляду на, що $\frac{x}{\left(\frac{1}{1,293} + \frac{x}{0,804} \right)} = f$, маємо вологість

$$f'' = \frac{0,36 \cdot f' (B \pm P_2)}{273+t} \quad (10)$$

Щільність вологого газу при нормальних умовах буде дорівнювати, кг/м³

$$\rho_{0 \text{ вл.м.}} = \frac{\rho_{\text{ос.г.}} + f}{\left(1 + \frac{f}{0,804} \right)} \quad (11)$$

При робочих умовах обсяг цієї суміші, знаменник вищенаведеного рівняння, зміниться відповідно до відомих співвідношень. Тоді щільність вологого газу при робочих умовах буде дорівнювати, кг/м³

$$\rho = \frac{\rho_{\text{ос.г.}} + f}{\left(1 + \frac{f}{0,804} \right)} \cdot \frac{273+t}{273} \cdot \frac{760}{(B \pm P_2)} \quad (12)$$

чи

$$\rho = \frac{0,289(\rho_{\text{ос.г.}} + f)(B \pm P_2)}{(0,804 + f)(273+t)} \quad (13)$$

Однак користуватися всіма наведеними залежностями не завжди вдається і тому краще використовувати графічні залежності.

Задача №3.

Визначити щільність газу для наступних умов.

Склад сухої частини газу, у %: $\text{CO}_2=10$; $\text{CO}=4$; $\text{N}_2=80$; $\text{O}_2=6$.

Барометричний тиск, мм рт.ст.: $Y=720+n$. Температура газів, $^{\circ}\text{C}$: $t=90+5n$.

Газ знаходиться під розрідженням, мм вод.ст.: $\Delta P=20+2n$.

$f=(15+n)$, г/м^3 норм. сухі гази.

Задача №4.

Визначити щільність газу, суха частина якого така ж, як і в попередній задачі. У газоході розрідження 34 мм вод.ст. Температура газу $t=125^{\circ}\text{C}$. Вологість газу (у порівнянні з попередньою задачею) задана по іншому: відома крапка роси, $^{\circ}\text{C}$: $t_p=20+n$.

5. ВИДИ ТИСКУ

Розрізняють наступні види тиску: барометричний, абсолютний, манометричний. *Барометричний (атмосферний) тиск* залежить від висоти місця над рівнем моря і від погоди. За нормальний барометричний тиск приймають тиск, рівний 760 мм.рт.ст., що відповідає 101325 Па.

Тиск p_a , обчислений по рівнянню (3.15), називається абсолютним.

$$p_a = p_o + \rho gh \quad (15)$$

Розглянемо найбільш розповсюджений у практиці випадок, коли до вільної поверхні прикладене барометричний тиск, тобто $p_o = B$. Для цього випадку рівняння (15) запишеться:

$$p_a = B + \rho gh \quad (16)$$

Тиск

$$p = p_a - B = \rho gh \quad (17)$$

називається *манометричним* чи *надлишковим*. Таким чином, манометричним тиском називається різниця між абсолютним тиском і барометричним.

Якщо в якій-небудь крапці рідини абсолютний тиск менше барометричного, то різниця між барометричним і абсолютним тисками називається *вакуумметричним тиском*.

Задача №5.

Визначити необхідну висоту димової труби, щоб вона створювала розрідження, Па: $P=200+10n$. Температура газів у трубі, $^{\circ}\text{C}$: $t_r=300+10n$. Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$: $t_{\text{возд.}}=15+1/2n$, щільність при нормальних умовах:

ρ_0 (димових газів)=1,27 г/м^3 ; ρ_0 (для повітря)=1,29 г/м^3 .

Задача №6.

Визначити швидкість руху газу за наступними показниками мікроманометра. Відлік по шкалі мікроманометра, мм: $1=250-5n$.

Для виміру динамічного тиску газу використовувалась пневмометрична трубка Піто-Прандтля з коефіцієнтом трубки $K_0=1$. Кут нахилу трубки мікроманометра до обрію: $\alpha=30^\circ$ (для n від 1 до 7); $\alpha = 45^\circ$ (для n від 8 до 15); $\alpha = 60^\circ$ (для всіх студентів з $n \geq 16$).

Манометр заповнений спиртом, щільність якого $\rho=865\text{кг/м}^3$. Щільність газу – 1 кг/м^3 .

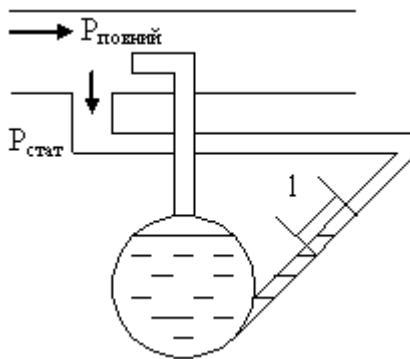


Рисунок 2 – Схема виміру швидкості руху газу за допомогою мікроманометра

6. ЗАКОНИ ІДЕАЛЬНИХ ГАЗІВ

Клапейрон установив, що добуток абсолютного тиску P газу в будь-якому стані на займаний їм обсяг V дорівнює добутку маси газу M на деяку постійну для даного газу величину R , що називається питома газова постійна, і на абсолютну температуру T , що відповідає розглянутому стану газу (рівняння Клапейрона):

$$PV = MRT$$

Для газу масою 1 кг характеристичне рівняння стану має вид:

$$PV' = RT$$

або

$$\frac{PV'}{T} = R$$

З останнього рівняння можна визначити одиницю питомої газової постійної

$$R = \frac{PV'}{T} = \left[\frac{\frac{H}{M^2} \cdot \frac{M^3}{K}}{\frac{M}{K \cdot K}} \right] = \left[\frac{\frac{H}{M}}{\frac{K}{K \cdot K}} \right] = \left[\frac{Дж}{K \cdot K} \right]$$

З'ясуємо фізичний зміст величини R .

Припустимо, є циліндр із поршнем, під яким знаходиться газ масою 1 кг при деякому тиску P . Допустимо, що цей газ з стану 1 переходить у стан 2 при тій же постійному тиску (рис.3).

Запишемо характеристичні рівняння для цих станів:

$$PV'_1 = RT_1$$

$$PV'_2 = RT_2$$

Віднімемо з другого рівняння перше:

$$P(V'_2 - V'_1) = R(T_2 - T_1)$$

Припустимо, що $T_2 - T_1 = 1K$, тоді отримаємо:

$$R = P(V'_2 - V'_1)$$

З даного рівняння випливає, що R - питома газова постійна газу масою 1 кг, що робить при підвищенні температури на 1 K и при постійному тиску роботу 1 Дж.

Про це ж свідчить і отримана раніше одиниця $R - Дж/кг \cdot K$

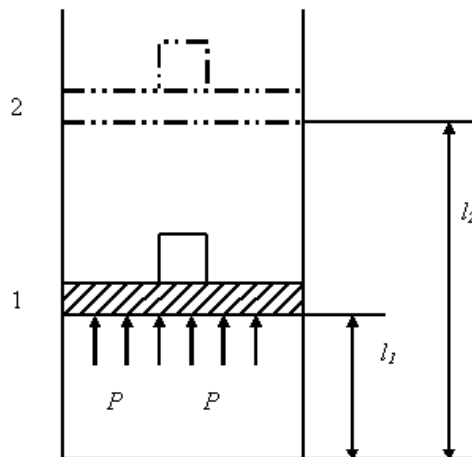


Рисунок 3 - До визначення фізичного змісту питомої газової постійної

Якщо в характеристичному рівнянні $PV' = RT$ прийняти $T = const$, одержимо $PV' = const$, звідси

$$P_1 V'_1 = P_2 V'_2$$

і

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V'_1}{V'_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

закон Бойля-Маріотта, що характеризує ізотермічний процес.
Якщо прийняти $P=const$, отримаємо

$$\frac{V'}{T} = const,$$

звідси

$$\frac{V_2'}{V_1'} = \frac{T_2}{T_1} - \text{закон Гей-Люссака, що характеризує ізобарний процес.}$$

І, нарешті, якщо $V' = const$, маємо:

$$\frac{P}{T} = const,$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \text{ и } \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} -$$

закон Шарля, що характеризує ізохорний процес.

Закон Авогадро, як відомо, говорить, що при однакових температурах і тиску, рівні обсяги різних ідеальних газів містять однакову кількість молекул. З цього закону випливає, що маси газів, що займають рівні обсяги при однакових температурах і тисках, прямо пропорційні молярним масам і обернено пропорційні питомим обсягам, тобто

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{V_2'}{V_1'} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

Згадаємо, що моль - це кількість речовини, маса якої, виражена в грамах, дорівнює молярній масі. Різні гази з той самою кількістю речовини при однакових умовах (тиск і температура) займають однаковий обсяг. При нормальних умовах молярний обсяг будь-якого газу $V_\mu - 22,4 \text{ м}^3 / \text{кмоль}$.

Запишемо характеристичне рівняння для 1 кмоль газу:

$$PV_\mu = \mu RT,$$

звідки

$$\mu R = \frac{PV_\mu}{T} = const.$$

Це рівняння справедливе для будь-якого стану, у тому числі і для нормальних умов, тобто

$$\mu R = \frac{101325 \text{ Н / м}^2 \cdot 22,4 \text{ м}^3 / \text{кмоль}}{273 \text{ К}} = 8314 \text{ Дж / (кмоль} \cdot \text{К)}$$

Величина $\mu R = 8314 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$ називається універсальною газовою постійною. Вона однакова для всіх газів. Можна визначити універсальну газову постійну будь-якого газу для нормальних умов

$$R = \frac{8314}{\mu} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}} \right].$$

Наприклад, для водню H_2 ($\mu_{H_2} = 2$)

$$R_{y_2} = \frac{8314}{2} = 4157 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$$

Задача №7.

Зонд, що використовується для дослідження верхніх шарів атмосфери, наповнений воднем під тиском 1 атм. при температурі $(300+2n)$ К. Маса оболонки зонда $(10+n)$ кг, діаметр кулі $(10+n)$ м. Визначити масу водню в зонді і його вантажопідйомність.

Приклад рішення задачі

Приймаємо $n=0$

І. Знайдемо масу водню при даній температурі і тиску із рівняння стану:

$$M = \frac{PV}{RT}$$

Обсяг зонда: $V = \frac{4}{3}(\pi r^3),$

де r - радіус зонда;

$$V = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 5^3}{3} = 522,02 \text{ м}^3$$

Питома газова постійна водню $R = 4124 \text{ Дж}/(\text{К})$ для даних умов.

Таким чином,

$$M = \frac{10^5 \cdot 522,02}{4124 \cdot 300} = \frac{52202000}{1237200} = 42,19 \text{ кг}$$

2. Знаходимо вантажопідйомність зонда, рівну різниці між масою кулі з його вмістом і масою витиснутого їм повітря:

$$\Pi = m_{\text{г}} - m_{\text{к}}$$

Маса зонда разом з оболонкою і воднем

$$m_k = 42,19 + 10 = 52,19 \text{ кг}$$

Маса витиснутого кулею повітря

$$m_g = V_g \cdot \rho = 522,02 \text{ м}^3 \cdot 1,293 \text{ кг} / \text{м}^3 = 674,97 \text{ кг}$$

Отже, вантажопідйомність кулі

$$\Pi = m_g - m_k = 674,97 - 52,19 = 622,78 \text{ кг}.$$

Газові суміші

На практиці однорідні гази як робоче тіло використовуються дуже рідко. Найчастіше приходить мати справу з робочими тілами, що представляють собою механічну суміш газів, хімічно між собою не взаємодіючих, тобто з газовими сумішами. Такою сумішшю є повітря, що складається з азоту, кисню, вуглекислого газу, водяних пар і інертних газів. Гази двигунів внутрішнього згоряння /ДВЗ/, казанових установок, металургійних печей і інших агрегатів, що відходять - це все газові суміші.

Газові суміші підкоряються закону Дальтона, з якого випливає, що загальний тиск суміші газів дорівнює сумі парціальних тисків газів, що входять у суміш, тобто

$$P_{cm} = P_1 + P_2 + \dots + P_i + \dots + P_n = \sum_{s=1}^n P_i$$

Парціальним тиском називається такий тиск компонента газової суміші, що він робив би на стінки судини, якби один займав той же обсяг, що і вся суміш, при тій же температурі.

Склад газової суміші найчастіше буває заданий у масових (m) і об'ємних (r) частках, рідше - у молярних частках.

Масова частка деякого i -го газу, що входить до складу суміші, є відношення маси цього газу M до маси всієї суміші, тобто

$$m_s = \frac{M_i}{M_{cm}}$$

Об'ємною часткою r_i називається відношення парціального обсягу кожного газу V_i н загальному обсягу суміші V_{cm} .

Суми масових m_i , також як і сума об'ємних часток r_i , дорівнює одиниці, тобто

$$m_1 + m_2 + \dots + m_i + m_n = 1$$

$$r_1 + r_2 + \dots + r_i + \dots r_n = 1$$

У таблиці 3 наведені деякі формули для розрахунків газових сумішей.

Таблиця 3. – Формули для розрахунку газових сумішей

Спосіб завдання суміші	Питомий обсяг суміші	Удавана молярна маса	Газова постійна	Перерахування з одного складу в інший
Масові частки	V_{cm} ρ_{cm}	$\mu_{cm} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{m_s}{\mu_i}}$	$R_{cm} = \sum_1^n m_i R_i$	$r_i = \frac{m_i / \mu_i}{\sum_1^n \frac{m_i}{\mu_i}}$
Об'ємні частки	$V'_{cm} = \frac{1}{\sum_1^n r \rho_{ii}}$	$M_{cm} = \sum_1^n r_i \mu_i$	$R_{cm} = \frac{8314}{\sum_1^n r \mu_{ii}}$	$m_i = \frac{r_i \mu_i}{\sum_1^n r_i \mu_i}$

Молярну масу газової суміші називають удаваною, тому що в дійсності для суміші поняття молярної маси умовно. Фактично мається на увазі молярна маса деякого однорідного газу тієї ж маси і з тими ж термодинамічними властивостями, що й у розглянутій суміші газів.

Задача №8.

Масовий склад вихлопних газів, що відходять із труби деякої енергетичної установки і забруднюючих навколишнє середовище: водень H_2 – (4+n)%, вугільна кислота CO_2 – (10+n)%, оксид вуглецю CO – 1%, кисень O_2 –6%, азот – інше. Тиск суміші $P=(0,15+0,01n)$ МПа, температура $(27+n)$ °С

Визначити питому газову постійну суміші R_{sum} , молярну масу μ_{sum} , уявну густину ρ_{sum} .

Приклад рішення задачі

Масовий склад вихлопних газів, що виходять із труби деякої енергетичної установки і забруднюючих навколишнє середовище: водень H_2 – 4%, вугільна кислота CO_2 -15%, оксид вуглецю CO – 1%, кисень O_2 –6%, азот – 74%. Тиск суміші $P=0,15$ МПа, температура 27 °С

Визначити питому газову постійну суміші R_{sum} , молярну масу μ_{sum} , уявну густину ρ_{sum} .

Приклад рішення задачі

Удавану молярну масу суміші визначимо по таблиці 3:

$$\mu_{\text{сум}} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{m_s}{\mu_i}}$$

Відносна молярна маса компонентів:

$$\mu_{\text{H}_2} = 2; \mu_{\text{CO}_2} = 44; \mu_{\text{CO}} = 28; \mu_{\text{O}_2} = 32; \mu_{\text{N}_2} = 28$$

Згідно цього

$$\mu_{\text{сум}} = \frac{1}{\frac{0.04}{2} + \frac{0.15}{44} + \frac{0.01}{28} + \frac{0.06}{32} + \frac{0.74}{28}} = \frac{1}{0.0508} = 19.69 \text{ кг}$$

Визначаємо питому газову постійну суміші:

$$R_{\text{сум}} = \frac{8314}{\sum_1^n r \mu_{i_i}} = \frac{8314}{19.68} = 422.45 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K)}$$

Щільність суміші при заданих умовах знаходимо згідно виразу:

$$\rho_{\text{сум}} = \rho_0 \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T}{T_0},$$

з огляду на, що щільність при нормальних умовах :

$$\rho_0 = \frac{\mu_{\text{сум}}}{V_{\mu}} = \frac{19.68}{22.4} = 0.878 \text{ кг / м}^3$$

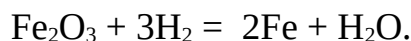
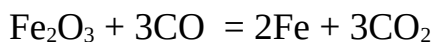
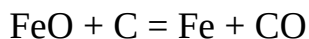
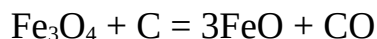
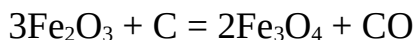
де V_{μ} - молярний обсяг будь-якого газу (у тому числі і газовій суміші) за нормальних умов складає $22.4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$.

$$\rho_{\text{сум}} = 0.878 \frac{0.15 \cdot 273}{0.101 \cdot 300} = 1.18 \text{ кг / м}^3$$

7. УТИЛІЗАЦІЯ КОЛОШНИКОВОГО ПИЛУ

Теоретичні відомості

У доменній печі відбуваються реакції відновлення оксидів заліза вуглецем (пряме відновлення), оксидом вуглецю і воднем (непряме відновлення):



Крім оксидів заліза відновлюються оксиди деяких інших елементів – кремнію, марганцю, хрому і т.д.

У результаті реакцій між киснем дуття і шихтою утворюється доменний (колошниковий) газ, що виводиться з-під колошника печі. З газом виноситься пил, як той що був у шихті, так і той, що утворився в доменній печі від тертя стовпа шихти, а також при термічному руйнуванні кускових матеріалів. Обсяг доменного газу, що утворився, складає 2500 м³/т чавуну. Концентрація пилу в доменному газі – 9...55 г/м³.

Склад колошникового пилу залежить від багатьох факторів і змінюється в широких межах. Наприклад, при виплавці передільного чавуну в печі об'ємом 1513 м³ і тиском на колошнику 0,3 МПа (ПАТ «Запоріжсталь»), хімічний склад пилу, вловленого на першому ступені газоочистки, такий, у %:

Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO
61	14,6	11,9	4,4	4,4	3,7

Середній медіанний діаметр пилу, вловленого на першому ступені очистки доменного газу – близько 200 мкм, на наступних ступенях – 12 мкм. Загальний ступінь очищення газу від пилу складає 99,9% і більше.

В даний час пил, уловлений сухим способом, повертається на переділ агломерацією, а шлам, як правило, вивозиться у відвал. Для утилізації продукту, вловленого мокрим способом, потрібно додаткове устаткування для його зневоднювання.

Крім агломерації, колошниковий пил може бути використаний для виплавки сталі. При цьому пил попередньо окомковується з утворенням окатишів і обпікається. Інші шляхи утилізації колошникового пилу: добавка в клінкер при виробництві цементу у якості залізовмісного компонента; добавка в сировину при виробництві червоної цегли.

Задача №9.

Провести розрахунок утилізації пилу (шламу), вловленого при очищенні доменного газу.

Розрахунок шихти

Розрахунок шихти полягає у визначенні кількості вуглецю, необхідного для протікання реакцій відновлення оксидів металів з відходу, що переплавляється, а також у визначенні складу і виходу товарних продуктів – шлаку і чавуну.

Відповідно до даних практики по відновних процесах кількість відновлювача розраховується за наступних умов.

1. Оксиди заліза відновлюються майже повністю (на 98%) до металу і складають основу чавуну (звичайно залишається невідновленими 3...4% FeO).

2. Оксид кремнію (кремнезем) відновлюється на 30%. Кремній, що утворився, переходить у чавун, а частина SiO₂, що не відновилася, переходить у шлак.

3. Оксиди хрому, ванадію і марганцю відновлюються на 25%. Метали, що утворилися, переходять в чавун, а оксиди, що залишилися, переходять у шлак.

4. Оксид титану (IV) TiO₂ відновлюється тільки до твердого розчину оксиду титану (III) Ti₂O₃ в оксиді титану (IV) TiO₂, тобто до Ti₃O₅.

5. Оксиди металів, що важко відновлюються (Al₂O₃, CaO, MgO), повністю переходять в шлак.

6. Частина вуглецю витрачається також на насичення вуглецем металу до вмісту в ньому 2% С.

7. Частина вуглецю виноситься з печі у вигляді пилу, а також окислюється на колошнику ванни печі за рахунок взаємодії з киснем повітря, що підсмоктується. Тому розрахункова кількість вуглецю збільшується на 25%.

8. Вуглець вводиться в процес у вигляді антрациту, що містить 86% С з розрахунку на твердий вуглець. Вуглець з летючих речовин не враховується.

9. Частиною вуглецю, що вводиться в процес з верхнім рухомим електродом та в'язучими компонентами (для брикетування шихти), нехтуємо.

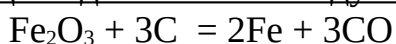
10. Реакції відновлення оксидів металів протікають з утворенням у газовій фазі оксиду вуглецю (II).

11. Приймається, що всі інші компоненти на 50% переходять в шлак та на 50% – у газову фазу.

12. Розрахунок шихти для відновної плавки ведеться на 100 кг (г) проплавляемого відходу (це зручно для перерахунку відсотків у кілограми і навпаки).

Розрахунок ведемо на 100кг шихти приведеного складу.

Реакція відновлення оксиду заліза.



На відновлення 160кг Fe₂O₃ потрібно 36 кг вуглецю,

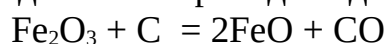
на 61 кг Fe₂O₃ – x₁ кг С

$$x_1' = 0,98 \cdot 61 \cdot 36 / 160 = 13,45 \text{ кг С.}$$

З 160 кг оксиду заліза утвориться 112 кг заліза. Оскільки до металічного стану відновлюється 98% оксиду заліза, маємо:

$$y_1 = 0,98 \cdot 61 \cdot 112 / 160 = 41,85 \text{ кг Fe}$$

2% Fe₂O₃ відновлюється до FeO і переходить до шлаку:



З 160 кг Fe₂O₃ утвориться 144 кг FeO. Кількість FeO у шлаку:

$$z_1 = 0,02 \cdot 61 \cdot 144 / 160 = 1,10 \text{ кг FeO}$$

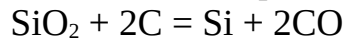
Кількість вуглецю, необхідного для відновлення Fe_2O_3 до FeO :

$$x_1'' = 0,02 \cdot 61 \cdot 12 / 160 = 0,09 \text{ кг C}$$

Загальна кількість вуглецю для відновлення Fe_2O_3 :

$$x_1 = x_1' + x_1'' = 13,45 + 0,09 = 13,54 \text{ кг C}$$

Реакція відновлення кремнезему :



За умови, що оксид кремнію відновлюється на 30%, для відновлення кремнезему потрібно вуглецю:

$$x_2 = 0,3 \cdot 14,6 \cdot 24 / 60 = 1,75 \text{ кг C}$$

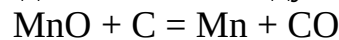
При цьому утворюється кремнію:

$$y_2 = 0,3 \cdot 14,6 \cdot 28 / 60 = 2,04 \text{ кг Si}$$

До шлаку переходить кремнезему:

$$z_2 = 0,7 \cdot 14,6 = 10,22 \text{ кг SiO}_2$$

Реакція відновлення оксиду марганцю:



З огляду на те, що оксид марганцю відновлюється на 25%, одержуємо, що на відновлення потрібно вуглецю:

$$x_3 = 0,25 \cdot 3,7 \cdot 12 / 71 = 0,16 \text{ кг C}$$

Утворюється марганцю:

$$y_3 = 0,25 \cdot 3,7 \cdot 55 / 71 = 0,72 \text{ кг Mn}$$

До шлаку переходить оксид марганцю у кількості:

$$z_3 = 0,75 \cdot 3,7 = 2,8 \text{ кг MnO}$$

Оксиди кальцію, магнію й алюмінію цілком переходять у шлак:

$$z_4 = 11,9 \text{ кг}; z_5 = z_6 = 4,4 \text{ кг}$$

Теоретична витрата вуглецю

для відновлення оксидів, що містяться в 100 кг колошникового пилу:

$$x_m = x_1 + x_2 + x_3 = 13,54 + 1,75 + 0,16 = 15,45 \text{ кг C}$$

Загальна теоретична маса чавуну:

$$y_m = y_1 + y_2 + y_3 = 41,85 + 2,04 + 0,72 = 44,61 \text{ кг}$$

Припустимо, що у чавуні міститься 2% C, тоді кількість вуглецю, що переходить у чавун x_u , знаходимо так:

$$x_u / (y_m + x_u) = 0,02; \quad x_u = (0,02 / 0,98) y_m$$

$$x_u = 0,02 \cdot 44,61 / 0,98 = 0,91 \text{ кг C}$$

Загальна кількість вуглецю:

$$x = x_m + x_u = 15,45 + 0,91 = 16,36 \text{ кг C}$$

Загальна маса чавуну:

$$y = y_m + x_u = 44,61 + 0,91 = 45,52 \text{ кг}$$

Склад чавуну, що утворився:

<i>Fe</i>	41,85 кг	91,9 %
<i>Si</i>	41,85 кг	4,5 %
<i>Mn</i>	0,72 кг	1,6 %
<i>C</i>	0,91 кг	2 %
Разом	45,52 кг	100 %.

Склад шлаку:

FeO - 1,1кг - 3,2%
SiO₂ - 10,22кг - 29,4%
MnO - 2,8кг - 8,0%
CaO - 11,9кг - 34,2%
MgO - 4,4кг - 12,6%
Al₂O₃ - 4,4кг - 12,6%
Всього - 34,82кг - 100%.

Розрахунок необхідної кількості антрациту

З урахуванням винесення вуглецю з ванни печі, фактична витрата вуглецю складе: $x_{\phi} = 1,25x = 1,25 \cdot 16,36 = 20,45$ кг.

Враховуючи, що в антрациті міститься 86% С, одержуємо необхідну кількість антрациту: $x_a = x_{\phi} / 0,86 = 20,45 / 0,86 = 23,8$ кг.

Склад шихти для відновлювальної плавки колошникового пилу:

пил - 100кг - 80,8%
антрацит - 23,8кг - 19,2%
Разом - 123,8кг - 100%.

**8. РОЗРАХУНОК ПЕРЕПЛАВУ ПИЛУ,
ВЛОВЛЕНОГО ПРИ ВИПЛАВЦІ СТАЛІ В МАРТЕНІВСЬКІЙ ПЕЧІ**

Теоретичні відомості

Мартенівські печі є крупними джерелами забруднення навколишнього середовища. Кількість газів, що утворюються, визначається місткістю ванни мартенівської печі. Так, наприклад, при роботі печей на природному газі утворюється така кількість газів:

Місткість ванни, т	100	200	300	400	500	600	900
Кількість газів, тис. м ³ /годину	40	47	53	60	66	74	95

Гази, що відходять, містять 10...15% CO₂; 62...66% N₂; 16% H₂O; 6...7% O₂.

З метою збільшення продуктивності мартенівських печей процеси виплавки сталі в них здійснюють із застосуванням кисню, що подається у ванну печі для прискорення реакцій окислення домішок, головним чином вуглецю. Проте, при цьому різко збільшується винесення частинок пилу з газами, що відходять. Звичайно вміст пилу в газах мартенівських печей складає, г/м³:

Режим роботи печі	На виході з печі	Перед газоочисткою
Без кисневого продування	3...5	0,4...0,7
З кисневим продуванням	25...30	3...6

Гази, що відходять, мають температуру 1750 °С і рухаються в робочому просторі печі з відносно високою швидкістю (1,5...2,0 м/с). Гази крізь головку печі спочатку направляють в регенератори, на шляху до яких в газохід підсмоктується повітря для повного окислення оксиду вуглецю (II).

Потім гази поступають в котел-утилізатор, де їхня температура знижується від 600...700 °С до 220...250 °С. Пил, що виноситься з ванни печі, значною мірою осідає по газовому тракту: 50-60% у шлаковику, 15-20% в регенераторах і 10-15% у котлі-утилізаторі.

Очищення відхідних газів мартенівських печей від пилу здійснюється сухим способом в електрофільтрах і мокрим у скруберах Вентурі.

Ступінь очищення газів від пилу в них складає 98...99,5%.

Спосіб очищення газів мартенівських печей вибирають з урахуванням місцевих умов, пов'язаних з наявністю або відсутністю виробничих площ для розміщення газоочисного устаткування з водно-шламовим господарством або без нього.

Дисперсний склад пилу:

Фракція, мкм	<1	1...5	>5
Вміст, %	60	34	6

Пил в основному складається з гематиту (Fe_2O_3) і магнетиту (Fe_3O_4).

Приблизний хімічний склад мартенівського пилу при роботі печі з продуванням кисню:

Компонент	Fe_2O_3	MgO	CaO	Al_2O_3	SiO_2	MnO	Інші
Вміст, %	92,7	0,9	1,6	0,9	0,8	1,1	2,0

Високий вміст оксидів заліза зумовлює подальше практичне використання вловленого пилу як залізовмісного компоненту.

Пил, уловлений в мокрій газоочисній установці, як правило, не утилізується, а у вигляді шламу скидається в шламонакопичувачі (наприклад, на комбінаті «Запоріжсталь» пил, уловлений у скруберах Вентурі, скидається в балку Городиську).

В процесі досліджень встановлено, що пил мартенівських печей може бути використаний:

- 1) як залізовмісна добавка при агломерації залізняка і концентратів;
- 2) для безпосередньої виплавки сталі в мартенівській або рудно-термічній печі.

Найбільш ефективною є безпосередня переробка пилу на сталь у плавильному агрегаті - в мартенівській печі або в конвертері. Як і в усіх аналогічних випадках, уловлений пил не можна відразу повернути в процес, тобто завантажити в піч, оскільки він буде винесений з печі газами, що відходять. Тому пил повинен бути підготовлений до плавки традиційними способами (окомкуванням або брикетуванням) і потім проплавлений.

Задача №10.

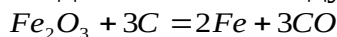
Провести розрахунок утилізації пилу (шламу) газоочисних установок мартенівських печей.

Розрахунок шихти

Розрахунок шихти робиться відповідно до загальноприйнятих допущень.

1 Розрахунок реакцій відновлення оксидів металів

Реакція відновлення оксиду заліза



На відновлення 160 г Fe_2O_3 потрібно 36 г С,

на відновлення 92,7 г Fe_2O_3 — X_1 г С;

$$X_1 = \frac{92,7 \cdot 36}{160} = 20,86 \text{ г С.}$$

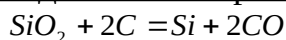
З 160 г Fe_2O_3 утворюється 112 г Fe,

з $(0,98 \cdot 92,7)$ г Fe_2O_3 — Y_1 г Fe;

$$Y_1 = \frac{0,98 \cdot 92,7 \cdot 112}{160} = 63,59 \text{ г Fe,}$$

де 0,98 – частка оксидів заліза, що відновилися до металу (2% залишаються у шлаку у вигляді FeO , що складає $0,02 \cdot 92,7 \cdot \frac{144}{160} = 1,67 \text{ г } FeO$).

Реакція відновлення кремнезему:



На відновлення 60 г SiO_2 потрібно 24 г С,

на відновлення $(0,3 \cdot 0,8)$ г SiO_2 — X_2 г С

$$X_2 = \frac{0,3 \cdot 0,8 \cdot 24}{60} = 0,10 \text{ г С.}$$

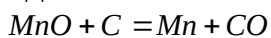
З 60 г SiO_2 утворюється 28 г Si,

$(0,3 \cdot 0,8)$ г SiO_2 — Y_2 г Si,

$$Y_2 = \frac{0,3 \cdot 0,8 \cdot 28}{60} = 0,11 \text{ г Si.}$$

Переходить у шлак глинозему: $0,8 - 0,3 \cdot 0,8 = 0,56 \text{ г } SiO_2$

Реакція відновлення оксиду марганцю



На відновлення 71 г MnO потрібно 12 г С,

на відновлення $(0,25 \cdot 1,1)$ г MnO — X_3 г С;

$$X_3 = \frac{0,25 \cdot 1,1 \cdot 12}{71} = 0,05 \text{ г С.}$$

З 71 г MnO утворюється 55 г Mn ,

з $(0,25 \cdot 1,1)$ г MnO — Y_3 г Mn ;

$$Y_3 = \frac{0,25 \cdot 1,1 \cdot 55}{71} = 0,21 \text{ г } Mn.$$

У шлаку залишається $1,1 - 0,25 \cdot 1,1 = 0,83 \text{ г } MnO$

Отже, теоретична витрата вуглецю, потрібного для відновлення оксидів металів з мартенівської печі, складає:

$$X_1 + X_2 + X_3 = 20,86 + 0,10 + 0,05 = 21,01 \text{ г С.}$$

2 Розрахунок виходу і складу шлаку і чавуну

У шлак переходять:

FeO	1,67 г	22,4%
-----	--------	-------

Al_2O_3	0,90 г	12,1%
CaO	1,60 г	21,5%
MgO	0,90 г	12,1%
SiO_2	0,56 г	7,5%
MnO	0,83 г	11,2%
Інших	1,0 г	13,2%
Всього	7,46 г	100 %

У чавун переходять, г:

$$63,599 Fe + 0,111 Si + 0,211 Mn = 63,91.$$

У чавуні звичайно міститься 2% вуглецю, таким чином на 63,91 г чавуну припадає $0,02 \cdot 63,91 = 1,28$ г вуглецю.

Загальна маса чавуну становитиме:

$$63,91 + 1,28 = 65,19 \text{ г}$$

Склад чавуну, що утворився:

Fe	63,59 г	97,55%
Si	0,11 г	0,16%
Mn	0,21 г	0,33%
C	1,28 г	1,96%
Разом	65,19 г	100 %.

Отже, при переробці 1 т мартенівського пилу методом відновної плавки отримаємо 0,652 т чавуну і 0,746 т шлаку.

3 Розрахунок потрібної кількості антрациту

З урахуванням насичення чавуну вуглецем, витрата вуглецю на плавку складає:
 $21,01 + 1,28 = 22,29$ г

Вводячи поправку на винесення вуглецю газами з ванни печі та його часткове окислення на колошнику, одержуємо фактичну витрату вуглецю:

$$C = 1,25 \cdot 22,29 = 27,86 \text{ г,}$$

що становить у розрахунку на антрацит - $\frac{27,86}{0,86} = 32,4$ г антрациту.

Склад шихти для відновної плавки мартенівського пилу:

Пил	100 г	75,53 %
Антрацит	32,4 г	24,47 %
Разом	132,4 г	100 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Павленко Ю.П. Теоретические основы промышленной экологии. Конспект лекций. Запорожье, 2003г., 100с.
2. Белоусов В.В. Теоретические основы процессов газоочистки. – М.: Металлургия, 1988.-256 с.
3. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы, туманы. – М.: Химия, 1972.-425с.
4. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Контроль пылеулавливающих установок. – М.: Металлургия, 1973.-384 с.
5. Страус В. Промышленная очистка газов. – М.: Химия, 1981.-616 с.

Підписано до друку _____ р. Формат 60x84 1/32. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. _____. Наклад _____ прим.
Замовлення № _____.

Віддруковано друкарнею
Запорізької державної інженерної академії
з комп'ютерного оригінал-макету

69006, м. Запоріжжя, пр. Соборний, 226
РВВ ЗДІА, тел. _____