

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки
Хімічний факультет

“ЗАГАЛЬНА ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИВЧЕННЯ КУРСУ

галузі знань **0513 хімічна технологія та інженерія**

напрямок підготовки **6.051301 хімічна технологія**

Частина 3

Навчально-методичне видання

2016

УДК [54:66](072)
ББК 24я73·9+35я73·9
М 54

*Рекомендовано до друку методичною радою
Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки
(протокол № 2 від 19.10.2016 р.)*

Рецензенти:

Л. Д. Гулай – доктор хімічних наук, доцент Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки;

В. І. Федорчук-Мороз – кандидат технічних наук, доцент кафедри туризму та цивільної безпеки Луцького національного технічного університету

М 54 Загальна хімічна технологія: Метод. вказівки до вивчення курсу для студ. хімічн. ф-ту (напряму підготовки: 6.051301 – “Хімічна технологія”). Ч. 3/
І. А. Іващенко.

Методичний посібник містить приклад розрахунку матеріального балансу печі для випалювання колчедану.

Для студентів хімічного факультету (напряму підготовки: 6.051301 – “Хімічна технологія”) денної форми навчання.

© Іващенко І. А., 2016

© Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, 2016

МАТЕРІАЛЬНИЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНСИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

МЕТОДИКА СКЛАДАННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСІВ

Під матеріальним технологічним балансом розуміють розрахунок кількості використуваних (введених або заданих) речовин, кількості отриманого продукту, а також побічних речовин. Результати розрахунків виражають у вигляді графіків, рівнянь, таблиць або діаграм. Кількість речовин, введених в виробництво, повинна дорівнювати кількості одержаних речовин. Це вираховується на основі стехіометричних рівнянь, що описують окремі стадії виробництва і побічні процеси.

Матеріальний і енергетичні баланси дозволяють скласти найбільш раціональну схему виробництва, встановити граничне значення виходу продукції, витрат сировини, енергії, визначити необхідні розміри апаратури, її економічні показники, ступінь досконалості відповідних процесів. При складанні матеріальних балансів необхідно знати склад сировини, продуктів і напівпродуктів, а інколи їх деякі фізико-хімічні властивості і їх зміни в залежності від зовнішніх умов.

В тому випадку, якщо після розрахунку кількість введених в процес речовин не дорівнює кількості отриманого продукту, вираховують цю різницю, яка називається нев'язкою. Її значення також поміщають в таблицю матеріального балансу. Необхідно добиватися, щоб нев'язка мала мінімальне значення. Результати матеріального балансу записуються по визначеній формі (табл. 1). Розрахунки по матеріальному балансу найчастіше складають на 100 або на 1000 кг сировини або готового продукту.

Таблиця 1.

Матеріальний баланс

Задано	Маса		Отримано	Маса	
	в гр.	в %		в гр.	в %
1. Речовини, введені в процес, в апарат або в одну зі стадій $(m_1 + m_2 + m_3 + \dots) = m$			1. Продукти виробництва 2.. Непрореаговані речовини 3. Побічні продукти реакції 4. Втрати 5. Невязка		
Разом			Разом		

Енергетичний баланс зазвичай складають за даними матеріального балансу. Він також розраховується на певну кількість сировини або продукту і виражається в теплових одиницях (джоулях), інколи в електричних (кіловат-годинах).

Тепловий, або енергетичний баланс виражається рівнянням:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6$$

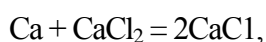
де Q_1 - теплота, введена в процес з вихідними речовинами, - фізична теплота; Q_2 - теплота екзотермічних реакцій; Q_3 - теплота фізичних перетворень речовин, що мають позитивне значення; якщо ж деякі перетворення ендотермічні, то Q_3 береться з негативним знаком; Q_4 - теплота зовнішня, наприклад, яка поступає з гарячою водою, нагрітими газами і т. д.; Q_5 - теплота, виведена із процесу із продуктами реакції; Q_6 - втрати теплоти в навколишнє середовище. Q_1 розраховують за формулою:

$$Q_1 = cmt$$

де c - середня теплоємність вихідних речовин при температурі їх надходження в технологічний процес; m - маса, кількість вихідних речовин (кг, моль і т. д.); t - температура вихідних речовин; Q_2 розраховується на основі довідкових (експериментальних) даних або на основі термохімічного розрахунку з використанням закону Гесса; Q_3 розраховується на основі довідкових даних по теплоті перетворення, випаровування, перегонки і т. д.; Q_4 розраховується аналогічно за теплоємністю газоподібного, рідкого або твердого носія; Q_5 розраховується аналогічно Q_1 і Q_4 ; Q_6 - теплові втрати - визначаються експериментально або розраховуються виходячи із природи процесів, які проходять.

Результати теплового балансу складаються по визначеній формі (табл. 2).

Нев'язка як при матеріальному, так і при тепловому балансі може мати позитивне і негативне значення. Аналіз знаку нев'язки дозволяє інколи відкрити деякі не взяті до уваги процеси. Наприклад, при одержанні молібдену алюмотермічним способом нев'язка має позитивне значення – маса молібдену і шлаку менша маси вихідних речовин (оксиду молібдену (IV) і алюмінію). З'ясування причин цього явища дозволило встановити, що частина молібдену випаровується в вигляді оксиду молибдену (VI). При отриманні кальцію електролізом хлориду кальцію в матеріально-енергетичному балансі нев'язка має позитивне значення, а тепловому – негативне. З'ясування цього явища дозволило встановити, що частково утворений кальцій вступає в реакцію з електролітом і утворюється кальцій (I) хлорид:



який на аноді окиснюється до хлориду. Це знижує вихід кальцію за струмом, але збільшує кількість теплоти, що виділяється – вона виділяється не тільки за рахунок проходження струму через електроліт, але і за рахунок реакції окиснення кальцій (I) хлориду.

Із результатів теплового балансу можна визначити коефіцієнт використання енергії - це процентне відношення кількості енергії W_T , яке необхідно теоретично витратити на отримання масової або об'ємної одиниці продукту до кількості практично витраченої енергії W_{II} : $K_E = (W_T/W_{II}) * 100(\%)$. Якщо мова йде про теплову енергію, то вказане співвідношення називають тепловим ККД.

Таблиця 2.

Тепловий баланс

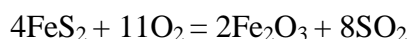
Задано	Маса		Отримано Статті балансу	Маса	
	в Дж	в %		в Дж	в %
1. Фізична теплота. 2. Теплота екзотермічних реакцій. 3. Теплота фізичних перетворень речовин. 4. Теплота, введена ззовні.			1. Теплота виведена із процесу з продуктами реакцій. 2. Втрати теплоти в навколишнє середовище. 3. Нев'язка.		
Разом			Разом		

В прикладах по складанню матеріальних і енергетичних балансів для полегшення вирішення задач даються готові форми таблиць з перерахунком статей балансу.

Приклад хіміко-технологічних розрахунків

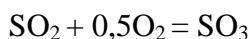
Розрахунок матеріального балансу печі для випалювання колчедану

Вихідною речовиною для отримання сірчаної кислоти в заводських умовах є, головним чином, сульфідні руди. Отримання сірчистого ангідриду (перша стадія процесу) проводиться шляхом випалювання сірковмісних руд (наприклад, піриту FeS_2) у потоці повітря. Реакція протікає за сумарним рівнянням:



Якщо б процес випалювання здійснювати в потоці сухого повітря при стехіометричній нормі кисню у повітрі, то вміст SO_2 у випалювальних газах міг би досягти 16,2%, фактично ж його концентрація нижча внаслідок введення в піч надлишку повітря при випалюванні. Частина сірчистого ангідриду при випалюванні піритної сировини окиснюється до сірчаного ангідриду; вміст останнього при цьому не перевищує часток процента. У випалювальних газах містяться також великі кількості азоту, кисню, водяної пари, пилу та незначні кількості сполук селену, арсену та ін. Тому гази подаються на очистку і осушку, де звільняються від пилу, сполук селену і арсену та водяної пари. Випалювання проводиться у поличкових печах, наприклад, типу ВХЗ, або у печах “киплячого шару”.

На другій, головній стадії сірчаноокислого виробництва, здійснюється окиснення сірчистого ангідриду в сірчаний на ванадієвому каталізаторі:



На третій стадії сірчаний ангідрид із газів після контактного вузла поглинається в абсорбційних апаратах спочатку олеумом, а потім концентрованою (98%) сірчаною кислотою.

Методика складання балансів

При складанні матеріального балансу можна зробити деякі спрощення, які значно полегшать розрахунки, суттєво не впливаючи на результати. Зокрема, флотаційний колчедан, який поступає в піч, містить пірит, вологу, пусту породу, що не взаємодіє з киснем при випалюванні. При цьому вся сірка зв'язана у вигляді FeS_2 . Повітря складається з 21 %(об.) кисню, решту становлять азот, водяна пара та неактивні домішки. Ще декілька уточнень та коментарів наведені в ході розрахунків. Як приклад, можна використати набір вихідних даних, поданих в табл. 1.1. Кожен студент отримує у викладача індивідуальне завдання у вигляді аналогічної таблиці.

Вихідні дані для розрахунку матеріального балансу печі для випалювання колчедану

№ п/п	Параметр	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення
1.	Продуктивність печі	m	кг/год	8540
2.	Вміст сірки в колчедані	c _{S1}	%	43,2
3.	Вологість колчедану	c _{H2O}	%	2,8
4.	Вміст SO ₂ у випалювальному газі	c _{SO2}	%	12
5.	Вміст SO ₃ у випалювальному газі	c _{SO3}	%	0,31
6.	Вміст сірки в недогарку	c _{SO}	%	0,68
7.	Вологість повітря	φ	%	75
8.	Температура поступаючого колчедану	t _{кол.}	°C	9
9.	Середні річні температури	t _{пов.}	°C	3
10.	Температура газів на виході з печі	t _{газ.}	°C	800
11.	Температура повітря на виході з валу	t _{пов.1}	°C	185
12.	Температура недогарку	t _{нед.}	°C	400

Алгоритм складання матеріального балансу:

1. Маса сірки в колчедані:

$$m_1 = m \cdot c_{S1} / 100 = 8540 \cdot 43,2 / 100 = 3689,3 \text{ (кг/год)} \quad (1)$$

2. Маса піриту в колчедані:

$$m_2 = m_1 \cdot (55,847 + 32,064 \cdot 2) / (32,064 \cdot 2) = 3689,3 \cdot (55,847 + 32,064 \cdot 2) / (32,064 \cdot 2) = 6902,2 \text{ (кг/год)} \quad (2)$$

3. Маса вологи в колчедані:

$$m_3 = m \cdot c_{H2O} / 100 = 8540 \cdot 2,8 / 100 = 239,1 \text{ (кг/год)} \quad (3)$$

4. Маса пустої породи:

$$m_{пп} = m - m_2 - m_3 = 8540 - 6902,2 - 239,1 = 1398,7 \text{ (кг/год)} \quad (4)$$

5. Вміст піриту в недогарку:

$$c_{пир.} = c_{SO} \cdot (55,847 + 32,064 \cdot 2) / (32,064 \cdot 2) = 0,68 \cdot (55,847 + 32,064 \cdot 2) / (32,064 \cdot 2) = 1,27(\%) \quad (5)$$

6. Маса піриту, що вигорів:

знайти масу недогарку через c_{SO} не можна, бо немає кінцевої маси сірки в недогарку (m_{SO}). Однак можна знайти масу піриту, що вигорів, та масу сірки, що витрачена на утворення SO₂ і SO₃:

$$c_{SO} = m_{Sкінц} \cdot 100 / (m_{пп} + m_{пир.кінц.} + m_{Fe2O3}) \quad (6.1)$$

$$m_{пир.кінц.} = m_2 - m'_{пир.}, \quad (6.2)$$

де m'_{пир.} – маса піриту, що вигорів.

Виходячи з рівняння реакції горіння піриту:

$$m_{Fe2O3} = (m_{пир.} \cdot 2 \cdot 159,694) / (4 \cdot 119,975) = 0,6655 \cdot m'_{пир.} \quad (6.3)$$

Позначивши масу піриту, що вигорів за "x", можна виразити через неї масу сірки в недогарку (m_{SO}):

$$m_{пир.кінц.} = m_2 - x; \quad (6.4)$$

$$m_{SO} = m_{пир.кінц.} \cdot 64,128 / 119,975 = 0,5345 \cdot m_{пир.кінц.} = 0,5345 \cdot (m_2 - x) \quad (6.5)$$

Підставивши значення m_{SO} у формулу (6.1.), знаходимо формулу для "x":

$$x = m'_{\text{пир}} = (c_{\text{SO}} \cdot (m_{\text{пир}} + m_2) - 53,45 \cdot m_2) / (0,3345 \cdot c_{\text{SO}} - 53,45) \\ = (0,68 \cdot (1398,7 + 6902,2) - 53,45 \cdot 6902,2) / (0,3345 \cdot 0,68 - 53,45) = 6825,6 \text{ (кг/год)} \quad (6.6.)$$

7. Маса утвореного Fe_2O_3 :

$$m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0,6655 \cdot m'_{\text{пир}} = 0,6655 \cdot 6825,6 = 4542,4 \text{ (кг/год)} \quad (7)$$

8. Маса непрореагованого піриту:

$$m_{\text{п0}} = m_2 - m'_{\text{пир}} = 6902,2 - 6825,5 = 76,6 \text{ (кг/год)} \quad (8)$$

9. Сумарний вихід недогарку (пилу, що виноситься з випалювальним газом, та крупного):

$$m_0 = m_{\text{пир}} + m_{\text{п0}} + m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 1398,7 + 76,7 + 4544,4 = 6017,7 \text{ (кг/год)} \quad (9)$$

10. Маса непрореагованої сірки:

$$m_{\text{S0}} = c_{\text{S0}} \cdot m_0 / 100 = 0,68 \cdot 6017,7 / 100 = 40,9 \quad (10)$$

11. Ступінь вигорання сірки:

$$\alpha = (m_1 - m_{\text{S0}}) \cdot 100 / m_1 = (3689,3 - 40,9) \cdot 100 / 3689,3 = 98,9 \text{ (\%)} \quad (11)$$

12. Маса сірки, що витрачена на утворення SO_2 і SO_3 :

$$m_{\text{S1}} = m_1 - m_{\text{S0}} = 3689,3 - 40,9 = 3648,4 \text{ (кг/год)} \quad (12)$$

13. Сумарний об'єм SO_2 і SO_3 :

Це можна зробити через кількість молів сірки, тому що з 1 моля її утворюється 1 моль SO_2 , а потім з нього 1 моль SO_3 . При цьому слід пам'ятати, що мольні об'єми газів при температурі входу і виходу з печі відрізняються.

$$V_{\text{мол.1}} = 22,413 \cdot (273 + t_{\text{пов.}}) / 273 = 22,659 \text{ (м}^3\text{/кмоль)} \quad (13.1)$$

$$V_{\text{мол.2}} = 22,413 \cdot (273 + t_{\text{газ.}}) / 273 = 88,092 \text{ (м}^3\text{/кмоль)} \quad (13.2)$$

$$V_{\text{сум.}} = m_{\text{S1}} \cdot V_{\text{мол.2}} / 32,064 = 3648,4 \cdot 88,092 / 32,064 = 10023,4 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (13.3)$$

14. Об'єм утвореного SO_2 :

$$V_{\text{SO}_2} = V_{\text{сум.}} \cdot c_{\text{SO}_2} / (c_{\text{SO}_2} + c_{\text{SO}_3}) = 10023,4 \cdot 12 / (12 + 0,31) = 9771,0 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (14)$$

15. Маса утвореного SO_2 :

$$m_{\text{SO}_2} = V_{\text{SO}_2} \cdot (32,064 + 32) / V_{\text{мол.2}} = 9771 \cdot 64,064 / 88,092 = 3556,5 \text{ (кг/год)} \quad (15)$$

16. Маса сірки, що міститься в SO_2 :

$$m_{\text{S2}} = V_{\text{SO}_2} \cdot 32,064 / V_{\text{мол.2}} = 9771 \cdot 32,064 / 88,092 = 3556,5 \text{ (кг/год)} \quad (16)$$

17. Маса сірки, що міститься в SO_3 :

$$m_{\text{S3}} = m_{\text{S1}} - m_{\text{S2}} = 3648,4 - 3556,5 = 91,9 \text{ (кг/год)} \quad (17)$$

18. Маса утвореного SO_3 :

$$m_{\text{SO}_3} = m_{\text{S3}} \cdot (32,064 + 48) / 32,064 = 91,9 \cdot 80,064 / 32,064 = 229,4 \text{ (кг/год)} \quad (18)$$

19. Об'єм утвореного SO_3 :

$$V_{\text{SO}_3} = m_{\text{S3}} \cdot V_{\text{мол.2}} / 32,064 = 91,9 \cdot 88,092 / 32,064 = 252,4 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (19)$$

20. Маса кисню, затраченого на утворення SO_2 :

$$m_{\text{K1}} = m_{\text{SO}_2} \cdot 32 / (32,064 + 32) = 7105,9 \cdot 32 / 64,064 = 3549,4 \text{ (кг/год)} \quad (20)$$

21. Маса кисню, затраченого на утворення SO_3 :

$$m_{\text{K2}} = m_{\text{SO}_3} \cdot 48 / (32,064 + 48) = 229,4 \cdot 48 / 80,064 = 137,5 \text{ (кг/год)} \quad (21)$$

22. Маса кисню, затраченого на утворення Fe_2O_3 :

$$m_{\text{K3}} = m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} \cdot 48 / 159,694 = 4542,4 \cdot 48 / 159,694 = 1365,3 \text{ (кг/год)} \quad (22)$$

23. Загальна маса затраченого кисню:

$$m_{\text{O}_2} = m_{\text{K1}} + m_{\text{K2}} + m_{\text{K3}} = 3549,4 + 137,5 + 1365,3 = 5052,2 \text{ (кг/год)} \quad (23)$$

24. Об'єм затраченого кисню:

$$V_{\text{O}_2} = m_{\text{O}_2} \cdot V_{\text{мол.1}} / 32 = 5052,2 \cdot 22,659 / 32 = 3577,5 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (24)$$

25. Об'єм необхідного повітря (враховуючи надлишок в 1,3 раза):

$$V_{\text{пов.}} = V_{\text{O}_2} \cdot 1,3 \cdot 100 / 21 = 3577,5 \cdot 1,3 \cdot 100 / 21 = 22146,6 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (25)$$

26. Маса необхідного повітря:

$$m_{\text{пов.}} = V_{\text{пов.}} \cdot 29 / V_{\text{мол.1}} = 22146,6 \cdot 29 / 22,659 = 28343,8 \text{ (кг/год)} \quad (26)$$

27. Об'єм надлишкового кисню (що виходить з випалювальним газом):

$$V_{\text{K4}} = V_{\text{O}_2} \cdot 0,3 \cdot V_{\text{мол.2}} / V_{\text{мол.1}} = 3577,5 \cdot 0,3 \cdot 88,092 / 22,659 = 4172,5 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (27)$$

28. Маса надлишкового кисню:

$$m_{\text{K4}} = m_{\text{O}_2} \cdot 0,3 = 5052,2 \cdot 0,3 = 1515,7 \text{ (кг/год)} \quad (28)$$

29. Загальна маса кисню, необхідна для роботи печі:
 $m_{к5}=m_{O2}+m_{к4}=5052,2+1515,7=6567,9$ (кг/год) (29)
30. Загальний об'єм необхідного кисню:
 $V_{к5}=V_{O2}+V_{к4}=3577,5+4172,5=7750,0$ (м³/год) (30)
31. Маса водяної пари, що вноситься з повітрям:
 Маса водяної пари в 1 кг повітря (F) при середньорічній температурі 3°C і вологості 75% становить 0,0036 кг (знаходиться з таблиці Д. 1 шляхом лінійної інтерполяції).
 $m_{H2O}=m_{пов.} \cdot F=28343,8 \cdot 0,0036=102,0$ (кг/год) (31)
32. Об'єм водяної пари, що вноситься з повітрям:
 $V_{H2O}=m_{H2O} \cdot V_{мол.1}/18=102 \cdot 22,659/18=128,5$ (м³/год) (32)
33. Маса вологи у випалювальному газі:
 $m_{вол.}=m_3+m_{H2O}=239,1+102=341,1$ (кг/год) (33)
34. Об'єм вологи у випалювальному газі:
 $V_{вол.}=m_{вол.} \cdot V_{мол.2}/18=341,1 \cdot 88,092/18=1669,6$ (м³/год) (34)
35. Маса азоту і домішок у поступаючому повітрі:
 $m_{N2}=m_{пов.}-m_{к5}-m_{H2O}=28343,8-6567,9-102=21673,8$ (кг/год) (35)
 Така ж маса азоту і домішок буде у випалювальному газі.
36. Об'єм азоту і домішок у поступаючому повітрі:
 $V_{N2}=V_{пов.}-V_{к5}-V_{H2O}=22146,6-7750-128,5=14268,1$ (м³/год) (36)
37. Об'єм азоту і домішок у випалювальному газі:
 $V'_{N2}=V_{N2} \cdot V_{мол.2}/V_{мол.1}=14268,1 \cdot 88,092/22,659=55469,9$ (м³/год) (37)
38. Маса пилу у випалювальному газі (якщо прийняти, що вона становить 10% від загальної маси недогарку):
 $m_{пил.}=m_0 \cdot 0,1=6017,7 \cdot 0,1=601,8$ (кг/год) (38)
39. Маса крупного недогарку:
 $m_{нед.}=m_0 \cdot 0,9=6017,7 \cdot 0,9=5415,9$ (кг/год) (39)
- Результати розрахунку матеріального балансу рекомендується звести в таблицю.

Таблиця 1. 2.

Матеріальний баланс поличкової печі для випалювання колчедану

Прихід			Розхід		
Стаття	кг/год	м ³ /год	Стаття	кг/год	м ³ /год
1. Колчедан флотаційний:	8540,0	-	1. Випалювальний газ:	31238,3	71335,5
а) сухий пірит	6902,2	-	а) SO ₂	7105,9	9771,0
б) пуста порода	1398,7	-	б) SO ₃	229,4	252,4
в) волога в колч.	239,1	-	в) кисень	1515,7	4172,5
2. Повітря:	28343,8	22146,6	г) азот і домішки	21673,8	55469,9
а) кисень	6567,9	7750,0	д) волога	341,2	1669,6
б) азот і домішки	21673,8	14268,1	е) пил	601,8	-
в) волога і повітря	102,0	128,5	2. Крупний недогарок	5415,9	-
Разом:	36883,8	22146,6	Разом:	36883,7	71335,5

Ступінь випалювання сірки: 98,9 %.

ДОДАТКИ

Таблиця Д.1.

Вміст вологи у повітрі ($F \cdot 10^3$, кг на 1 кг повітря) при різній вологості

t, °C	Вологість, %				
	90	80	60	70	50
268	2,27	2,02	1,76	1,51	1,26
273	3,46	3,07	2,69	2,30	1,92
278	4,95	4,40	3,85	3,29	2,74
283	7,00	6,21	5,43	4,65	3,87
288	9,76	8,66	7,56	6,47	5,38
293	13,46	11,94	10,42	8,91	7,41
298	18,39	16,29	14,21	12,14	10,08

Таблиця Д.2.

Питомі теплоємності деяких речовин (кДж/кг·град)

Сухий колчедан	0,543
Вода (р)	4,18
Недогарок колчедану (20 °C)	0,794
Недогарок колчедану (500 °C)	0,961

Таблиця Д.3.

Середні молярні теплоємності газів при 1 атм (кДж/кг·град)

t, °C	H ₂ O	Повітря	SO ₂	SO ₃	O ₂	N ₂
0	-	28,62	41,01	64,59	29,06	29,30
100	33,06	28,75	42,26	67,28	29,55	28,63
200	33,71	28,90	43,43	69,96	29,89	28,97
300	34,35	29,04	44,52	72,64	30,43	29,29
400	34,96	29,19	45,52	75,33	30,84	29,59
500	35,56	29,34	46,48	78,01	31,22	29,89
600	36,15	29,50	47,40	80,69	31,59	30,17
700	36,74	29,66	48,24	83,38	31,94	30,46
800	37,31	29,82	49,03	86,06	32,27	30,72
900	37,88	29,99	49,74	88,74	32,57	30,98
1000	38,43	30,16	50,41	91,43	32,85	31,23

Таблиця Д.4.

Тиск насиченої водяної пари при різних температурах

t, °C	p, мм. рт. ст.	t, °C	p, мм. рт. ст.	t, °C	p, мм. рт. ст.
0	4,58	18	15,48	36	44,56
2	5,29	20	17,53	38	49,69
4	6,10	22	19,83	40	55,32
6	7,01	24	22,38	45	71,88
8	8,04	26	25,21	50	92,51
10	9,21	28	28,35	60	149,38
12	10,52	30	31,82	70	233,7
14	11,99	32	35,66	80	355,1
16	13,63	34	39,90	90	525,8

Для нотаток