МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Механіко-технологічний факультет

Кафедра ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика

ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВОЇ І ПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ

Методичні вказівки до практичної роботи на тему:

"Дослідження процесу простої перегонки бінарних сумішей"

для здобувачів ступеня вищої освіти "Доктор філософії"
механіко-технологічного факультету
спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
ОНП "Галузеве машинобудування"

м. Мелітополь - 2021

ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВОЇ І ПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ. Методичні вказівки до практичної роботи на тему: **"Дослідження процесу простої перегонки бінарних сумішей"** для здобувачів ступеня вищої освіти «Доктор філософії» механіко-технологічного факультету зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» - Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2021. – 23 с.

Розробники Самойчук К.О., д.т.н., проф.
Бойко В.С., к.т.н., доцент

Рецензент: Мілько Д.О., д.т.н., професор кафедри машиновикористання в землеробстві

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика

Протокол № 1 від 27 серпня 2021 року.

Затверджено методичною комісією механіко-технологічного факультету, протокол № 10 від 31 серпня 2021 року.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОСТОЇ ПЕРЕГОНКИ БІНАРНИХ СУМІШЕЙ

Мета роботи: Практичне ознайомлення з будовою і принципом роботи установки періодичної дистиляції з дефлегмацією. Складання матеріального і теплового балансів процесу. Побудова зображення процесу на діаграмі сумішей

Час виконання роботи 4 год.

1 Порядок виконання роботи

- розглянути основні теоретичні положення процесу простої перегонки бінарних сумішей;
- ознайомитись з принципом дії та будовою експериментальної установки періодичної дії;
- провести теоретичний розрахунок процесу перегонки;
- провести експериментальні дослідження процесу перегонки;
- обробити результати експерименту;
- сформулювати висновки за результатами роботи;
- оформити звіт по роботі і відзвітуватися перед викладачем.

2 Завдання для самопідготовки

У процесі підготовки до заняття студент повинен:

- ***повторити:*** конспект лекцій за темою заняття та опрацювати рекомендовану літературу;

- ***знати:***

1) область застосування процесів простої перегонки на переробних та харчових підприємствах, класифікацію обладнання;

2) основні етапи проведення перегонки бінарних сумішей;

- ***вміти:*** проводити налаштування експериментальної установки для періодичної перегонки, проводити розрахунки за темою робот, користуватися контрольно-вимірювальними приладами, визначати залежності за темою дослідження, аналізувати результати досліджень.

3 Основні теоретичні положення

3.1 Загальні відомості

Процес часткового випару рідини і утворення пари, при конденсації якої утворюється рідина нового складу – дистилят, називається дистиляцією (перегонкою). Дистилят містить більше легколетучого компоненту, ніж вихідна рідина. Частина рідини, що не випарувалася, носить назву кубового залишку. Дистиляція заснована на відмінностях температур кипіння, парціального тиску і летючості окремих речовин, що входять до складу суміші.

Дистиляцію застосовують для розділення сумішей легколетучої речовини з певним вмістом труднолетучих речовин. Зазвичай просту перегонку використовують для попереднього розділення, очищення речовин від домішок, смол, забруднень. При цьому сконденсовані пари називають дистилятом, а рідину, що залишилася не випареною – залишком.

Як правило, процес простої перегонки проводять періодично, хоча в принципі цей процес можна організувати і безперервним.

При періодичній перегонці рідина поступово випаровується і пари, що утворюються при цьому, безперервно видаляються з системи та конденсуються з одержанням дистиляту (інколи цей спосіб називають простою дистиляцією). При цьому вміст низькокиплячого компоненту в кубовій (початковій) рідині зменшується, що приводить до заниження вмісту низькокиплячого в дистиляті. На початку процесу вміст низькокиплячого компоненту максимальний, а в кінці – мінімальний.

Просту перегонку можна проводити при атмосферному тиску або під вакуумом (для зниження температури перегонки).

Для одержання потрібних фракцій (або різного складу дистиляту) застосовують фракційну або дробову перегонку.

Вихідну суміш завантажують в куб, що має змійовик для нагрівання і кип’ятіння цієї суміші. Пари, що утворюються, конденсуються в теплообміннику-конденсаторі, дистилят в ньому ж охолоджується до заданої температури і поступає в одну із збірок. Після закінчення процесу перегонки залишок зливають з куба і знов завантажують в нього вихідну суміш.

При простій перегонці пара, що утворюється, відводиться з апарата і в кожен даний момент часу знаходиться в рівновазі з рідиною, що залишилася (що приймається при аналізі цього процесу).

Основними термінами і визначеннями є наступні: низькокиплячий компонент – НКК, висококиплячий компонент – ВКК, рідина отримана в результаті конденсації парів – дистилят або ректифікат.

Існує два види перегонки: проста перегонка (дистиляція) та ректифікація. У простому випадку вихідна суміш складається з двох компонентів. Така суміш називається бінарною.

Залежно від взаємної розчинності компонентів бінарні суміші можна розділити на групи:

- суміші з необмеженою розчинністю компонентів;
- суміші з взаємно нерозчинними компонентами;
- суміші з частковою розчинністю компонентів один в одному;

В свою чергу, суміші з необмеженою розчинністю компонентів по своїй поведінці діляться на ідеальні і реальні (розчини). Ідеальними називають суміші, компоненти яких при змішуванні не змінюють об'єм, а само змішування проходить без теплових ефектів. Ідеальні суміші підпорядковуються закону Рауля, відповідно неідеальними вважаються суміші, що мають відхилення від закону Рауля.

Згідно з законом Рауля парціальний тиск кожного компоненту в парі є пропорціональним мольній частці цього компонента в розчині.

3.2 Теоретичні положення

Як відомо, під час кипіння суміші вміст більш летючого компонента в парі, а отже, й у дистиляті, що утворюється під час конденсації пари, більший, ніж у рідині. Завдяки цьому в кубі поступово збільшується відносний вміст менш леткого компонента.

Склад рідини в перегінному апараті після випаровування деякої її частини і склад дистиляту, що утворюється. можна визначити з матеріального балансу простої перегонки.

Оскільки відносний вміст компонентів суміші у перегінному апараті і дистиляті в процесі перегонки безперервно змінюється, матеріальний баланс складають у диференціальній формі для довільно вибраного моменту.

Виберемо наступні позначення: W – кількість суміші в апараті в будь-який момент перегонки, кг; X – склад рідини в перегінному апараті в масових частках легколеткого компонента в будь-який момент; Y – склад пари над рідиною в частках маси легколетучого компонента у будь-який момент.

Склад пари над рідиною можна подати як функцію складу рідини, тобто $Y = f(X)$. У процесі випаровування нескінченно малої кількості суміші dW із складом X концентрація рідини зменшується на величину dX і залишок рідини в кубі можна подати величиною $W - dW$, причому в цьому залишку легколетучого компонента буде $(W - dW)(X - dX)$. Склад дистиляту подають величиною Y, а кількість його dW.

Матеріальний баланс за легколетучим компонентом у цьому разі можна записати у вигляді

$$WX = (W - dW)(X - dX) + dWY, \qquad (1)$$

або

$$WX = WX - dWX - WdX + dWdX + dWY. \qquad (2)$$

Нехтуючи добутком $dWdX$ як нескінченно малою величиною другого порядку і перетворюючи останнє рівняння, одержуємо:

$$\frac{dW}{W} = \frac{dX}{Y - X}. \qquad (3)$$

Якщо в результаті відгонки деякої певної кількості рідини в кубі залишиться $W_к$ кг суміші і склад її буде $X_к$, а до початку перегонки кількість початкової суміші була W_n із складом X_n, то останнє рівняння можна проінтегрувати в межах від $W_к$ і $X_к$ до W_n і X_n.

Тоді дістанемо:

$$\int_{W_к}^{W_n} \frac{dW}{W} = X \int_{X_к}^{X_n} \frac{dW}{Y - X}, \quad \text{або} \quad ln\frac{W_n}{W_к} = \int_{X_к}^{X_n} \frac{dX}{Y - X}. \qquad (4)$$

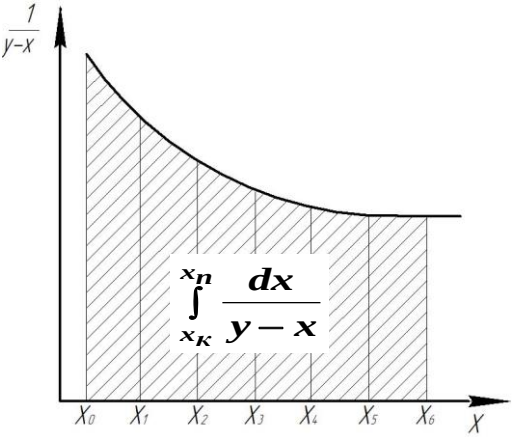
Оскільки функціональна залежність $Y = f(X)$ подається тільки кривою рівноваги даної суміші, то рівняння (4) можна розв’язати графічно, а також за допомогою ЕОМ.

Розглянемо графічний спосіб розв'язання рівняння (4).

Користуючись кривою рівноваги, будуємо діаграму (рисунок 1). На осі абсцис відкладаємо значення X, а на осі ординат – значення $1/(Y - X)$, де Y відповідно кожному значенню X визначається за кривою рівноваги для даної суміші. Площа під кривою, помножена на масштаб кожної з осей в межах від $X_к$ і $X_п$, є інтеграл:

$$\int_{X_к}^{X_п} \frac{dX}{Y - X} = ln\frac{W_п}{W_к} = A\,. \qquad (5)$$

Знаючи значення інтеграла A і кількість початкової суміші $W_п$, можна легко визначити кількість кубового залишку $W_к$, склад якого $X_к$.



Кількість одержаного дистиляту $W_д = W_п - W_к$ склад $X_д$ можна визначити з рівняння матеріального балансу за легколетучим компонентом суміші:

$$W_д X_п = W_д X_д + W_к X_к\,. \qquad (6)$$

звідки:

$$X_д = \frac{W_п X_п - W_к X_к}{W_д} \qquad (7)$$

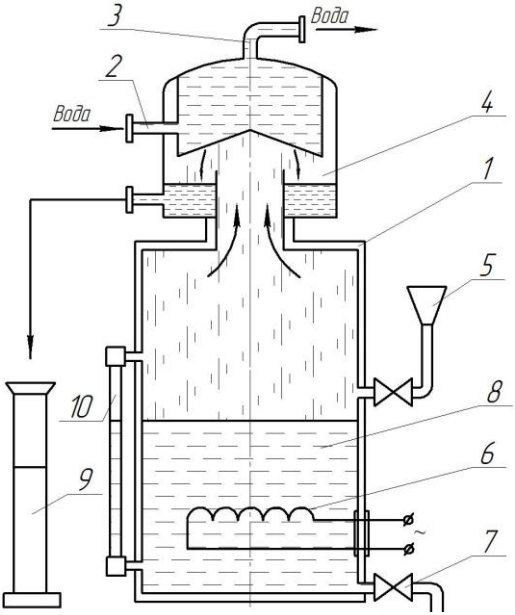
Рисунок 1 – Графічне вирішення інтеграла

4 Оснащення лабораторної роботи механізмами і приладами

Установка для простої перегонки, схема якої показана на рисунку 2, складається з перегінного куба *1* з електронагрівником *6*, конденсатором *4*, приймальною воронкою *5*, спускним краном *7* та водомірним склом *10*.

Для проведення роботи готують лабораторний посуд та прилади: два скляних спиртометри зі шкалою від 0 до 50 та від 50 до 100% (об.),

спиртовий термометр, два мірних циліндри місткістю 500мл та два місткістю 1000 мл, дві колби місткістю 0,5 і 0,3 л, міліметровий папір.



1 - перегінний куб; 2 - підведення охолоджуючої води; 3 - патрубок відведення охолоджувальної води; 4 - конденсатор; 5 - завантажувальна воронка; 6 - електронагрівач; 7 - кран зливу кубового залишку; 8 - бражка; 9 - мірна склянка; 10 - трубка рівня бражки в кубі.

Рисунок 2 – Схема лабораторної установки для дослідження простої перегонки

1 - перегінний куб;
2 - конденсатор;
3 - розподільна коробка;
4 - заливна горловина;
5 - трубка підведення охолоджувальної води;
6 - трубка відведення охолоджувальної води;
7 - трубка відведення дистиляту

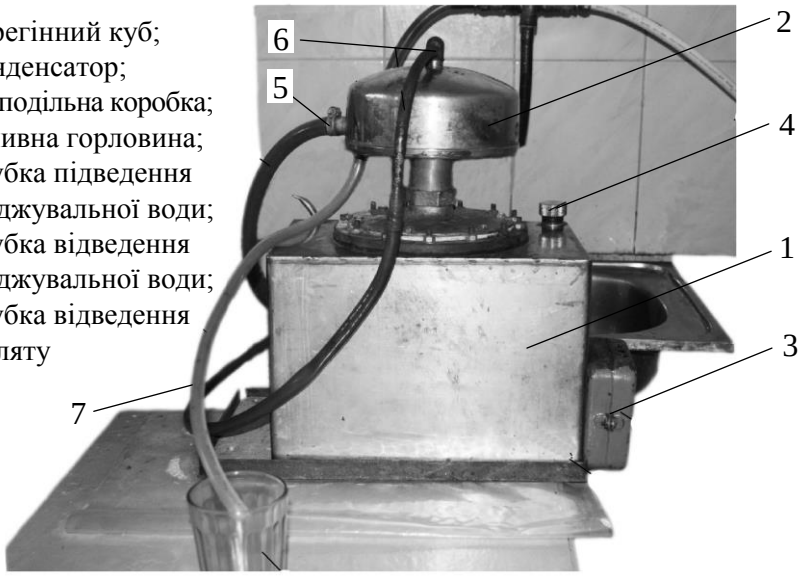


Рисунок 3 – Фото експериментальної лабораторної установки

5 Теоретичний розрахунок процесу перегонки

Визначити кількість і склад бражки для чого заповнити мензурку ємністю ***500*** мл бражкою, заміряти спиртометром зі шкалою ***0…50*** % (об.) концентрацію бражки X_n (об), заміряти температуру бражки термометром зі шкалою ***0…100***° С або відповідним приладом.

Знаючи об'ємну концентрацію, за таблицею А1 (додаток А) визначити масову концентрацію і щільність бражки:

X_n (об) = ... $\rightarrow X_n$ (мас) = ... $\rightarrow \rho_{об}$ = ...

За допомогою мірного циліндра ємністю 1000 мл відміряти початковий об'єм бражки для проведення досліду $V_n = 3000$ мл.

Розрахувати початкову масу бражки в кубі за формулою:

$$W_n = V_g \cdot \rho_{об}, \tag{8}$$

Розрахувати масу спирту в бражці:

$$P_n = W_n \cdot X_n \text{(мас)} \tag{9}$$

Отримані експериментальні та розрахункові дані занести в стовпчик „Початкова суміш" таблиці 2.

Вирішити графічно інтеграл $\ln \frac{W_n}{W_к} = \int_{X_к}^{X_n} \frac{dX}{Y - X}$

Провести розрахунок у формі таблиці 1 для чого:

- вибрати необхідні дані складу рідини і пари в межах від $X_к$ до X_n за таблицею А2 додатку А. В розрахунку прийняти рекомендовані значення $X_к = 3…5$ % (мас).

В таблиці 1 стовпець % (мас) від $X_к$ до X_n бажано заповнити через один відсоток і перевести в стовпці 2 з відсотків в частки.

Після заповнення перших трьох стовпців провести розрахунки значень $(Y - X)$ і $1/(Y - X)$. розрахунки проводити в частках.

Наприклад, при значеннях $X_n = 18$ % і $X_к = 3$ %, таблиця 1 буде мати вигляд:

Таблиця 1 – До розрахунку параметрів інтеграла

Вміст спирту			Різниця концентрацій	$1/(Y–X)$	У масштабі, мм	
у рідині		у парі				
X, % (мас)	X_i часток	Y_i часток	$Y - X$		X	$1/(Y–X)$
1	2	3	4	5	6	7
$X_к$=3	0,03	0,272	0,242	4,13	15	206,5
4	0,04	0,338	0,298	3,36		
5	0,05	0,370	0,320	3,13		
...	...	...	...	...	...	...
16	0,16	0,611	0,451	2,22		
17	0,17	0,622	0,452	2,21		
X_n=18	0,18	0,632	0,452	2,21		

Для побудови графіка визначення інтеграла вибрати масштаб осей, наприклад для осі X приймаємо $M_X = 0,002$ од/мм (в 1 мм міститься $0,002$ од) і для осі $1/(Y - X)$ масштаб $M_{1/(Y - X)} = 0,02$ од/мм (в 1мм міститься $0,02$ од.).

Для побудови графіка значення, взяті з другого та п’ятого стовпця, слід поділити на відповідні масштаби і результати записати в шостий і сьомий. Наприклад:

$$\frac{X_к}{M_X} = \frac{0,03}{0,002} = 15 \text{ мм}, \qquad \frac{1/(Y - X)}{M_{1/(Y-X)}} = \frac{4,13}{0,02} = 206,5 \text{ мм}.$$

Таким чином розрахувати дані для решти граф стовпців 6 і 7.

Для графічного рішення інтеграла за даними шостого і сьомого стовпця слід побудувати на міліметровому папері у прийнятих масштабах графік функції $1/(Y - X) = f(X)$, див. рисунок 1.

Визначити площу інтеграла $\boldsymbol{\Phi}$ (мм^2), зробивши виміри на побудованому графіку 2.

Розрахувати значення інтеграла за виразом:

$$A = \int_{X_K}^{X_n} \frac{1}{Y - X} = \Phi \cdot M_x \cdot M_{1/(Y-X)}. \qquad (10)$$

Визначити масу кубового залишку $W_к$ (г) після перегонки знаючи значення інтеграла A і кількість початкової суміші (бражки) W_n:

$$W_к = \frac{W_n}{e^A}, \qquad (11)$$

де $e=2,72$ - основа натурального логарифму

Розрахувати масу дистиляту з рівняння масового балансу:

$$W_д = W_n - W_к. \qquad (12)$$

Розрахувати концентрацію дистиляту за рівнянням

$$X_д = \frac{W_n \cdot X_n - W_к \cdot X_к}{W_д}. \qquad (13)$$

Знайти щільність спирту з масової концентрації $\rho_д$ (г/см^3)за таблицею А1 (додаток А).

Визначити об’єм дистиляту (г) за виразом:

$$V_д = W_д / \rho_д. \qquad (14)$$

Розрахувати кількість спирту в дистиляті:

$$P_д = W_д \cdot X_д \qquad (15)$$

Визначити щільність кубового залишку $\rho_{куб}$ при концентрації спирту $X_к$ (мас) і температурі 20°С (таблиця А1, додаток А)

Розрахувати об’єм кубового залишку $V_{куб}$, (мл)

$$V_{куб} = W_r / \rho_{re}, \qquad (16)$$

Розрахувати кількість спирту в кубовому залишку, $P_{куб}$:

$$P_{куб} = W_к \cdot X_к . \quad (17)$$

Результати розрахунків занести в таблицю 2.

6 Методика проведення експериментальної частини

1 Визначити об'єм водно-спиртової суміші та вміст у ній (в об'ємних відсотках) спирту. Показання спиртометрів за таблицями для визначення вмісту етилового спирту у водно-спиртових сумішах зводити до показань при температурі 20 °С. Кількість суміші при цьому має бути ***2,5...3,0*** л з вмістом спирту ***15...22*** % (об.) при температурі 20 °С.Залити водно-спиртову суміш у порожній куб і закрити заливну горловину.

2 Задаючись вмістом легколетучого компонента (спирту) в кубовому залишку ($X_к$ = ***3...5*** *%* (об.) при температурі 20°С), розрахувати параметри процесу перегонки.

3 Відкрити кран підведення холодної води в конденсатор і ввімкнути електронагрівник куба. Подачу води регулювати починаючи з моменту появи конденсату.

4 Відібравши розрахункову кількість дистиляту, припинити процес. Електронагрівник вимкнути за кілька хвилин до моменту відбирання потрібної кількості дистиляту (перегонка закінчиться за рахунок теплової інерції нагрівника).

5 Відібрати у мірний циліндр з зливного крана певну кількість кубового залишку.

6 З урахуванням температур дистиляту і кубового залишку виміряти їхню міцність у масових процентах.

7 Порівняти розрахункові значення $X_д$ та $X_к$ з одержаними в експерименті. Розбіжність не повинна перевищувати 1...2 %.

Таблиця 2. Експериментальні параметри процесу.

Параметр	Початкова суміш		Дистилят	Кубовий залишок	
	Розр.	Вимір	Розр.	Вимір	Розр.
Об'єм ***V***, мл					
Об'ємна концентрація					

X, частка					
Маса суміші ***W***, г					
Густина **ρ**, г/мл					
Маса спирту ***P***, г					

8 Вимоги безпеки

Під час проведення роботи додержуватись загальної інструкції з охорони праці, наведених в розділі „Загальні вимоги безпеки“.

9 Контрольні питання

1 Який процес називають простою перегонкою?

2 Який закон лежить в основі теорії простої перегонки?

3 На які три групи поділяють бінарні суміші в залежності від взаємної розчинності?

4 За рахунок чого відбувається розділення складної суміші на компоненти?

5 Який вигляд має диференціальне рівняння простої перегонки?

6 Що виражає залежність $Y = f(X)$ і який вигляд вона має?

7 Поясніть значення терміну „дефлегмація“.

8 Назвати основні складові рівняння матеріального балансу простої перегонки.

9 Наведіть основні етапи розрахунків параметрів процесу простої перегонки?

10 Наведіть порядок підготовки перегінного куба до роботи та його використання.

9 Тестові завдання

1) Чи можливо проводити просту перегонку під вакуумом?

а) так; б) ні; в) ніколи.

2) Доповніть формулювання : „Згідно з законом Рауля ...

а) ...парціальний тиск кожного компоненту в парі є пропорціональним мольній частці цього компонента в розчині;

б) ...парціальний тиск кожного компоненту в парі не є пропорціональним мольній частці цього компонента в розчині;

в) ...парціальний тиск кожного компоненту в парі не залежить від мольної частки цього компонента в розчині.

3) Як називають суміші, компоненти яких при змішуванні не змінюють об'єм, а змішування проходить без теплових ефектів?

а) реальними; б) ідеальними; в) практичними.

4) Яку залежність демонструє вираз $Y = f(X)$?

а) залежність складу пари над рідиною від складу рідини;
б) залежність тиску пари над рідиною від складу рідини;
в) залежність кількості пари над рідиною від складу рідини;

5) Які розчини НЕ можуть бути розділеними на чисті компоненти шляхом перегонки?

а) розчини, що мають велику різницю в температурах кипіння;
б) розчини з необмеженою розчинністю складових компонентів;
в) розчини з екстремумами на діаграмі температура кипіння-склад.

6) При перегонці суміші з необмеженою розчинністю компонентів співвідношення складу пари і рідини:

а) практично не міняється; б) весь час міняється;
в) є величиною жорстко рівноважною.

7) Просту перегонку проводять при значенні тиску:

а) тільки атмосферного; б) тільки підвищеного;
в) при обох наведених значеннях.

8) Через який патрубок конденсатора перегінного апарата подають охолоджуючу воду?

а) нижній; б) верхній; б) не має значення.

9) Вкажіть вірне співвідношення між значеннями $X_п$ і $X_к$?

а) $X_п > X_к$; **б)** $X_п < X_к$ **в)** $X_п = X_к$.

10) Яка перегонка проста або дробова має більшу тривалість?

а) проста; б) дробова; в) однакова.

Література

1. Горбатюк. В.И, Процессы и аппараты пищевых производств./ В.И, Горбатюк. - М.: "Колос" 1999, - 335с.

2. Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. / Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - М.: Колос 2000. - 551с.

3. Стабников В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств/ В.Н. Стабников, В.Д. Попов.- М.: Пищевая промышленность 1978 - 660 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум. За редакцією проф.. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2006. - 224 с.

Додаток А

(довідковий)

Таблиця А1 – Співвідношення об’ємних і масових процентів і густин рідких водно-спиртових сумішей (проценти об’ємні при температурі 20 °С; значення густини при температурі 20 °С, віднесені до густини води при температурі 4 °С)

Процент		Густина, г/см^3	Процент		Густина, г/см^3
(об)	(мас)		(об)	(мас)	
0	0,00	0,99823	31	25,46	0,96100
1	0,79	0,99675	32	26,32	0,95972
2	1,59	0,99529	33	27,18	0,95839
3	2,38	0,99385	34	28,04	0,95704
4	3,18	0,99244	35	28,91	0,95536
5	3,98	0,99106	36	29,78	0,95419
6	4,78	0,98974	37	30,65	0,95271
7	5,59	0,98845	38	31,53	0,95119
8	6,40	0,98719	39	32,41	0,94964
9	7,20	0,98596	40	33,30	0,94806
10	8,01	0,98476	41	34,19	0,94644
11	8,83	0,98356	42	35,09	0,94479
12	9,64	0,98239	43	35,99	0,94308
13	10,46	0,98123	44	36,89	0,94134
14	11,27	0,98009	45	37,80	0,93956
15	12,09	0,97897	46	38,72	0,93755
16	1291	0,97786	47	39,60	0,93591
17	13,74	0,97678	48	40,56	0,93404
18	14,56	0,97570	49	41,49	0,93213
19	15,39	0,97465	50	42,43	0,93019
20	16,21	0,97360	51	43,37	0,92822
21	17,04	0,97253	52	44,31	0,92621
22	17,88	0,97145	53	45,26	0,92418
23	18,71	0,97036	54	46,22	0,92212

24	19,54	0,96925		55	47,18	0,92003
25	20,38	0,96812		56	48,15	0,91790
26	21,22	0,96698		57	49,13	0,91576
27	22,06	0,96583		58	50,11	0,91358
28	22,91	0,96466		59	51,10	0,91138
29	23,76	0,96346		60	52,09	0,90916
30	24,61	0,96224				

Продовження таблиці А1

Процент		Густина, г/см^3	Процент		Густина, г/см^3
(об)	(мас)		(об)	(мас)	
61	53,09	0,90691	81	74,64	0,85652
62	54,09	0,90462	82	75,81	0,85369
63	55,11	0,91231	83	77,00	0,85082
64	56,13	0,89999	84	78,19	0,84791
65	57,15	0,89764	85	79,40	0,84495
66	58,19	0,89526	86	80,62	0,84193
67	59,23	0,89286	87	81,86	0,83888
68	60,27	0,89044	88	83,11	0,83754
69	61,33	0,88799	89	84,38	0,82926
70	62,39	0,88551	90	86,66	0,82759
71	63,46	0,88302	91	86,97	0,82590
72	64,54	0,88051	92	88,29	0,82247
73	65,53	0,87796	93	89,63	0,81893
74	66,72	0,87538	94	91,00	0,81526
75	67,83	0,87277	95	92,41	0,81144
76	68,94	0,87015	96	93,84	0,80748
77	70,06	0,86749	97	95,30	0,80334
78	71,19	0,86480	98	96,81	0,79894
79	72,33	0,86206	99	98,38	0,79431
80	73,48	0,85932	100	100,0	0,78927

Таблиця А2 – Склад киплячої водно-спиртової рідини і пари, що з неї утворюється і температура кипіння при атмосферному тиску

Вміст спирту в рідині		Температура кипіння, °С	Вміст спирту у парі		Вміст спирту в рідині		Температура кипіння, °С	Вміст спирту у парі	
(мас.) %	(мол.) %		(мас.) %	(мол.) %	(мас.) %	(мол.) %		(мас.) %	(мол.) %
0,01	0,004	99,9	0,13	0,053	0,90	0,35	98,9	9,9	4,12
0,10	0,004	99,8	1,2	0,51	1,0	0,39	98,75	10,75	4,51
0,20	0,08	99,6	2,6	1,08	2,0	0,79	97,65	19,7	8,76
0,30	0,12	99,5	3,8	1,57	3,0	1,19	96,65	27,2	12,75
0,40	0,16	99,4	4,9	1,98	4,0	1,61	95,8	33,8	16,34
0,50	0,19	99,3	6,1	2,48	5,0	2,01	94,95	37,0	18,68
0,60	0,23	99,2	7,1	2,90	6,0	2,43	94,15	41,1	21,45
0,70	0,27	99,1	8,1	3,33	7,0	2,86	93,35	44,6	23,96
0,80	0,31	99,0	9,0	3,72	8,0	3,29	92,6	47,6	26,21

Продовження таблиці А2

Вміст спирту в рідині		Температура кипіння, °С	Вміст спирту у парі		Вміст спирту в рідині		Температура кипіння, °С	Вміст спирту у парі	
(мас.) %	(мол.) %		(мас.) %	(мол.) %	(мас.) %	(мол.) %		(мас.) %	(мол.) %
9,0	3,73	91,9	50,0	28,12	49,0	27,32	82,0	76,8	56,44
10,0	4,16	91,3	52,2	29,92	50,0	28,12	81,9	77,0	56,71
11,0	4,61	90,8	54,1	31,56	51,0	28,93	81,8	77,3	57,12
12,0	5,07	90,5	55,8	33,06	52,0	29,80	81,7	77,5	57,41
13,0	5,51	89,7	57,4	34,51	53,0	30,61	81,6	77,7	57,70
14,0	5,98	89,2	58,8	35,83	54,0	31,47	81,5	78,0	58,11
15,0	6,46	89,0	60,0	36,98	55,0	32,34	81,4	78,2	58,39
16,0	6,86	88,3	61,1	38,06	56,0	33,24	81,3	78,5	58,78
17,0	7,41	87,9	62,2	39,16	57,0	34,16	81,2	78,7	59,10
18,0	7,95	87,7	63,2	40,18	58,0	35,09	81,2	79,0	59,55
19,0	8,41	87,4	64,3	41,27	59,0	36,02	81,1	79,2	59,84
20,0	8,92	87,0	65,0	42,09	60,0	36,98	81,0	79,5	60,29
21,0	9,42	86,7	65,8	42,94	61,0	37,97	80,9	79,7	60,58
22,0	9,93	86,4	66,6	43,82	62,0	39,22	80,8	80,3	61,30
23,0	10,43	86,2	67,3	44,61	63,0	40,2	80,7	80,4	61,55
24,0	11,00	85,95	68,0	45,41	64,0	41,02	80,6	80,5	61,76
25,0	11,53	85,7	68,6	46,08	65,0	42,09	80,6	80,8	62,22
26,0	12,08	85,4	69,3	46,90	66,0	43,17	80,5	81,0	62,52
27,0	12,64	85,2	69,8	47,49	67,0	44,27	80,4	81,3	62,99
28,0	13,19	85,0	70,3	48,08	68,0	45,41	80,4	81,6	63,43
29,0	13,77	84,8	70,8	48,68	69,0	46,53	80,3	81,9	63,91
30,0	14,35	84,7	71,3	49,30	70,0	47,72	80,2	82,1	64,21
31,0	14,95	84,5	71,7	49,77	71,0	48,92	80,1	82,4	64,70
32,0	15,55	84,3	72,1	50,27	72,0	50,16	80,0	82,8	65,35
33,0	16,16	84,2	72,5	50,78	73,0	51,39	79,9	83,1	65,81
34,0	16,77	83,85	72,9	51,27	74,0	52,68	79,8	83,4	66,28
35,0	17,41	83,75	73,2	51,67	75,0	54,0	79,7	83,8	66,93
36,0	18,03	83,7	73,5	52,04	76,0	55,34	79,7	84,1	67,42
37,0	18,68	83,5	73,8	52,43	77,0	56,71	79,7	84,5	68,07
38,0	19,34	83,4	74,0	52,68	78,0	58,11	79,65	84,8	68,76
39,0	20,00	83,3	74,3	53,09	80,0	61,02	79,5	85,8	71,15
40,0	20,68	83,1	74,6	53,49	82,0	64,05	79,3	86,7	71,86
41,0	21,38	82,95	74,8	53,76	84,0	67,27	79,1	87,7	73,61
42,0	22,07	82,78	75,1	54,12	86,0	70,62	78,85	88,9	75,81
43,0	22,79	82,65	75,4	54,53	88,0	74,31	78,68	90,1	78,12
44,0	23,51	82,50	75,6	54,80	90,0	77,88	78,5	91,3	80,42
45,0	24,25	52,45	75,9	55,22	92,0	81,82	78,3	92,65	83,15
46,0	25,00	82,35	76,1	55,48	93,0	83,86	78,25	91,9	84,8
47,0	25,75	82,25	76,3	55,74	94,0	85,97	78,2	91,2	86,40
48,0	26,53	82,15	76,5	56,03	95,0	88,15	78,18	95,05	88,25