

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства  
та природокористування

Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики і  
гідравлічних машин

**01-06-90М**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять з навчальної дисципліни  
«Теплотехнологічні процеси та установки»  
(Тема «Тепловий розрахунок чотирьохкорпусної випарної  
установки») для здобувачів вищої освіти першого  
(бакалаврського) рівня за ОПП «Теплоенергетика»  
спеціальності 144 «Теплоенергетика» галузі знань 14  
«Електрична інженерія» усіх форм навчання

Рекомендовано науково-методичною  
радою з якості ННІЕАВГ  
Протокол № 3 від 21 листопада 2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Теплотехнологічні процеси і установки» (Тема «Тепловий розрахунок чотирьохкорпусної випарної установки») для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за ОПП «Теплоенергетика» спеціальності 144 «Теплоенергетика» галузі знань 14 «Електрична інженерія» усіх форм навчання [Електронне видання] / Куба В. В., Середа В. В. – Рівне : НУВГП, 2023. – 31 с.

Укладачі:

Куба В. В.– старший викладач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин;

Середа В. В.– доцент кафедри теплової та альтернативної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського, к.т.н., доцент.

Відповідальний за випуск – Рябенко О. А., д.т.н., професор, завідувач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Керівник групи забезпечення спеціальності 144 «Теплоенергетика»

Костюк О. П

© В. В. Куба,  
В. В. Середа, 2023  
© НУВГП, 2023

## ЗМІСТ

Передмова.....	3
1. Загальні відомості процесу випарювання .....	4
2. Фізичні основи процесу випарювання.....	7
3. Теплопередача у випарних апаратах.....	8
4. Послідовність теплового розрахунку випарної чотирьохкорпусної установки.....	10
4.1. Встановлення температурного режиму установки..	11
4.2. Розрахунок коефіцієнтів теплопередачі.....	20
4.3. Розрахунок площі поверхонь нагріву корпусів....	24
5. Питання до самостійної роботи.....	24
Список літератури.....	25
Додаток.....	26

## ПЕРЕДМОВА

Теплотехнологічні процеси є технологічною основою промислового виробництва кінцевого продукту.

Серед технологічного обладнання деяких виробництв особливу роль відіграють багатокорпусні випарні установки. Тоді такі установки є основними елементами технологічного процесу, споживають значну кількість енергоресурсів, їх спорудження та експлуатація потребують значних затрат.

Студенти спеціальності «Теплоенергетика» вивчають конструкцію та розрахунок випарних установок на лекціях і практичних заняттях з дисципліни «Теплотехнологічні процеси і установки».

Практичні заняття дозволяють закріпити знання, що отримані при вивченні теоретичного курсу, активізувати роботу кожного студента, розвивати навички самостійного виконання поставлених задач з теплотехнічних розрахунків, аналізувати результати та вибрати раціональне рішення.

Мета методичних вказівок – поглибити та на практиці закріпити навчальний матеріал, закріпити навички з розрахунків тепломасообмінних процесів, що характерні для випарних установок.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ

Процеси випарювання у випарних апаратах полягають у частковому видаленні розчинника з розчину, одержанням концентрованого розчину, який в подальшому загусає до остаточної концентрації сухих речовин, а для багатьох технологій до стану кристалізації. При реалізації процесу необхідно, при заданій потужності випарної установки, одержати згущений розчин заданої концентрації, з високою якістю, без втрат сухих речовин при менших витратах палива. Випарювання може відбуватися в одному апараті, або у випарній установці з кількох послідовно зв'язаних між собою апаратів (корпусів) безперервної дії з паровим обігрівом. Використання багатокорпусних установок дає можливість значно зменшити витрати палива на процес випарювання.

Випарювання розчинів відрізняється від кипіння однокомпонентної рідини (наприклад води) тим, що розчини киплять при більш високій температурі, ніж чистий розчинник, при тому ж тиску. Дану обставину необхідно враховувати під час розрахунку та проектуванні випарного апарата, при виборі параметрів теплоносія та робочого режиму експлуатації.

Пару, що утворюється з розчину (вторинна пара) одного випарного апарата направляють в гріючу камеру наступного випарного апарата та при цьому підтримують в другому апараті такий тиск, щоб температура цієї пари була більша температури кипіння розчину в другому апараті, тоді в ньому відбуватися випарювання, як і в першому апараті. З'єднання декількох випарних апаратів, в яких вторинна пара з кожного попереднього апарата направляється в гріючу камеру наступного апарата, називається випарною багатокорпусною установкою.

Для реалізації кипіння розчину в кожному корпусі, необхідно забезпечити різницю між температурами вторинної пари попереднього корпусу та киплячого розчину наступного корпусу. Проведенням випарювання у багатокорпусних установках досягається значна економія пари, а значить і палива для її отримання, порівняно з однокорпусним випарюванням при тих

же потужностях. Принципова схема чотирьохкорпусної випарної установки зображена на рис. 1.

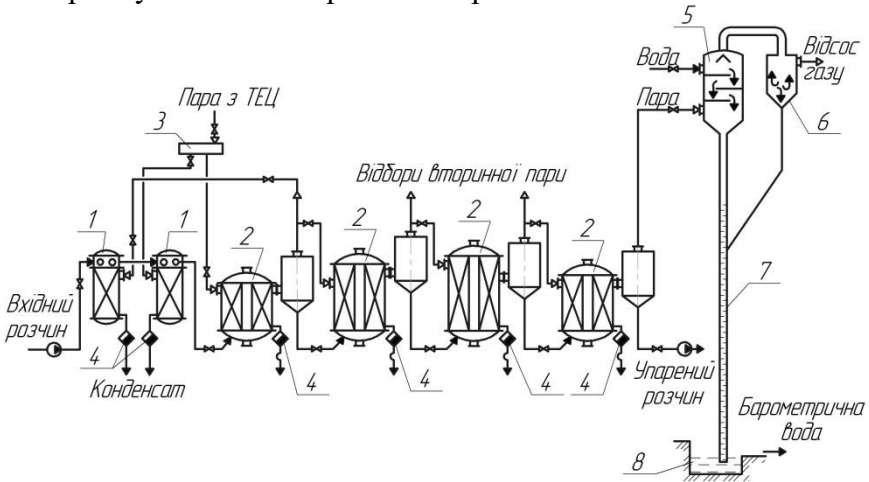


Рис. 1. Принципова схема випарної установки цукрового заводу:  
 1 – підігрівники розчину; 2 – випарні апарати; 3 – паровий колектор; 4 – конденсато-відвідники; 5 – барометричний конденсатор; 6 – вловлювач; 7 – барометрична труба; 8 – збірник води

Для чотирьохкорпусної установки, яка зображена на рис. 1, розглянемо схему підігріву розчину, схему живлення апаратів розчином та систему використання вторинного тепла.

Гріюча пара, яка надходить до першої ступені випарної установки через паровий колектор 3, має температуру, що з однієї сторони необхідна для забезпечення необхідного температурного перепаду між парою та розчином у першому корпусі (8...10°C), а з другої – для забезпечення різниці температур по всій випарній установці, що достатня для корисного перепаду температур у кожному корпусі. Але заборонено без технологічної необхідності підвищувати температуру гріючої пари, виходячи з того, що її підвищення веде до недовиробітку електроенергії в турбіні ТЕЦ.

Температура розчину при подачі його в першу ступінь має досягати температури кипіння. Для цього у випарній установці використовують схему регенеративного підігріву розчину.

Частину екстра-пари з першого корпусу подають до першого підігрівника 1. Кінцевий нагрів розчину перед подачею на випарювання відбувається в наступному підігрівачі свіжою парою з ТЕЦ, розподіл якої між першим корпусом та підігрівачем здійснюють у паровому колекторі. Підігрівання розчину первинною парою перед подачею його на випарювання не забезпечує економію цієї пари та не впливає на величину поверхонь нагріву всієї випарної установки. Але це приводить до зменшення площі поверхні нагріву випарних апаратів за рахунок збільшення поверхні нагріву підігрівників розчину.

Витрати теплоти на нагрів розчину перед подачею на випарювання та на кипіння в корпусах, супроводжується виділенням великої кількості вторинного тепла у вигляді пари розчинника та гарячого конденсату, що видаляється з кожного апарата та підігрівників.

Конденсат із першого корпусу установки повертають на ТЕЦ чи котельню, а з інших корпусів і регенеративних підігрівників використовують для промивки апаратів і для інших власних потреб.

Відбір вторинної пари з усіх корпусів здійснюється для споживачів тепла, через що випарна установка спроектована з протитечійним барометричним конденсатором змішування 5, в якому для конденсації вторинних парів останньої ступені утворюють вакуум. Найбільш доцільними споживачами низькопотенціального тепла є гаряче водопостачання найближчих цехів підприємства та побутове споживання тепла в сусідніх житлових районах.

Розрахунок випарних установок полягає в одночасному розв'язуванні рівнянь теплового та матеріального балансів установки з рівнянням теплопередачі. Теплотехнічні умови випарювання різних розчинів є подібними, а сам процес відбувається в апаратах, подібної будови. Але методика розрахунку повинна враховувати фізико-хімічних особливості кожного розчину. Дані методичні вказівки побудовані з урахуванням факторів, що рекомендуються для розрахунку

вертикальних випарних установок у цукровому виробництві. Теплофізичні властивості цукрових розчинів наведені в додатку, табл. Д2.

## 2. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ

Перевищення температури кипіння розчину над температурою кипіння чистого розчинника при однаковому тиску приводить до того, що пара над киплячим розчином має температуру нижчу температури кипіння розчину. Дану різницю називають фізико-хімічною температурною депресією. У довідковій літературі приведені дані для визначення нормальних температурних депресій різних розчинів, виміряних при атмосферному тиску. Перерахунок від нормальної депресії до депресії при робочому тиску в випарному апараті проводять за формулою

$$\Delta_1 = 0,01622 \cdot \frac{T^2}{r} \cdot \Delta_1'' = \eta \cdot \Delta_1'' , \quad (1)$$

де  $\Delta_1$  – фізико-хімічна температурна депресія при тиску в апараті, °С;  $T$  – температура кипіння води при даному тиску, К;  $r$  – питома теплота пароутворення води при даному тиску, кДж/кг;  $\Delta_1''$  – нормальна, взята при атмосферному тиску фізико-хімічна температурна депресія, °С;  $\eta$  – поправка на тиск.

У додатку приведені значення нормальної фізико-хімічної температурної депресії цукрових розчинів (табл.Д 3). Значення поправок  $\eta$  при різних температурах приведені в табл. Д4.

При розрахунку температурних режимів вертикальних випарних апаратів слід враховувати і гідростатичну депресію, зв'язану з впливом на температуру кипіння розчину висоти стовпа киплячої рідини. Гідростатична депресія  $\Delta_2$  визначається як різниця між температурою кипіння розчину при тиску в розрахунковій точці апарата та температурою вторинної пари. В технічній літературі для випарних установок наведені формули розрахунку гідростатичної депресії. Вона

залежить від густини парорідинної емульсії, інтенсивності перемішування та умов циркуляції. У зв'язку з відсутністю достатніх даних для оцінки впливу багатьох факторів для апаратів, що працюють під тиском, значенням  $\Delta_2$  знехтують. При роботі установок під розрідженням вплив гідростатичного тиску стовпа рідини є більш відчутний, так як в цьому випадку температура збільшується зі зростанням тиску. За рахунок гідростатичного ефекту зменшується корисний перепад температур, що приводить до необхідності збільшувати поверхню нагріву апарата. Для наближених розрахунків приймають  $\Delta_2=1...3^\circ\text{C}$ .

У випарних багатокорпусних установках потрібно враховувати також гідродинамічну депресію  $\Delta_3$ , що виникає за рахунок гідравлічного опору паропроводів між корпусами та знижує тиску насиченої пари та відповідно температури насичення. Рекомендовано приймати  $\Delta_3 = 0,5...1,5^\circ\text{C}$ .

### 3. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА У ВИПАРНИХ АПАРАТАХ

У випарному апараті, так як і в інших теплообмінних пристроях, теплота передається від теплоносія через стінку до киплячої рідини, та на відміну від звичайного теплообмінника розчинник тут частково свій агрегатний стан змінює.

Передача теплоти відповідає загальновідомому рівнянню

$$Q = F \cdot k \cdot \Delta t, \quad (2)$$

в якому коефіцієнт теплопередачі  $k$  визначається з формули

$$k = \phi \cdot k_o \quad (3)$$

де  $\phi$  – дослідний поправочний коефіцієнт використання поверхні нагріву ( $\phi < 1$ );  $k_o$  – коефіцієнт теплопередачі для чистої стінки,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Коефіцієнт теплопередачі для чистої стінки (у 1-й день роботи) може бути визначений за формулою



$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4)$$

де  $\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до стінки,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\delta$  – товщина стінки,  $\text{м}$ ;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності стінки,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;  $\alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячої рідини,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

### 3.1. Тепловіддача від пари до стінки

Для випадку конденсації пари на вертикальній поверхні коефіцієнт тепловіддачі від пари до поверхні нагрівання визначається з критеріального рівняння

$$Nu = C \cdot (Pr \cdot Ga \cdot Ku)^{0,25}, \quad (5)$$

де  $C$  – розрахункова стала ( $C=1,15$  для ламінарно-хвильового режиму протікання конденсату;  $C=0,925$  для ламінарного режиму);  $Nu$  – критерій Нуссельта;  $Pr$  – критерій Прандтля конденсату;  $Ga$  – критерій Галілея;  $Ku$  – критерій Кутателадзе.

У розрахунковій практиці використовуються границі ламінарно-хвильового режиму  $20 < Re_k < 180$ . Для практичних розрахунків цього режиму формула (5) видозмінюється у розрахункове рівняння:

$$\alpha_1 = \frac{A_1}{(q \cdot H)^{1/3}}, \quad (6)$$

де  $A_1$  – множник, який характеризує фізичні параметри конденсату і залежить від його температури;  $q$  – тепловий потік,  $\text{Вт}/\text{м}$ ;  $H$  – висота поверхні нагріву,  $\text{м}$ .

Значення величини  $A_1$  для водяної пари при температурах конденсації  $80 \dots 120^\circ\text{C}$  розраховують за формулою

$$A_1 = (141 + 1,85 \cdot t_k - 0,0053 \cdot t_k^2) \cdot 10^3, \quad (7)$$

де  $t_k$  – температура конденсації,  $^\circ\text{C}$ .

Рекомендується температуру  $t_k$  приймати на  $2\text{-}3^\circ\text{C}$  менше температури гріючої пари  $t_s$ , тобто  $t_k = t_s - (2 \dots 3)^\circ\text{C}$ .

Формула (6) дійсна при швидкості пари в паровій камері до  $10 \text{ м}/\text{с}$ . При більших швидкостях виникає тертя між парою і

плівкою конденсату. Якщо напрями руху пари і плівки конденсату збігаються, то  $\alpha_1$  зростає, в іншому випадку – зменшується. Стан поверхні теплообміну впливає на коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$ : при окисненій поверхні  $\alpha_1$  зменшується ще на 30% і більше.

### 3.2. Тепловіддача від стінки до киплячої рідини

Для чистих рідин і малоконцентрованих розчинів при розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі  $\alpha_2$  при кипінні в трубах використовують критеріальне рівняння Кичигіна-Тобілевича:

$$Nu = 3,25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe_u^{0,6} \cdot Ga^{0,25} \cdot K_p^{0,7}, \quad (8)$$

де  $Nu = \frac{\alpha_2 \cdot l_o}{\lambda}$  – критерій Нуссельта, що характеризує

коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячої рідини  $\alpha_2$ , коефіцієнт теплопровідності рідини  $\lambda$  безпосередньо поблизу поверхні нагріву і характерний для процесу кипіння лінійний розмір системи, пропорційний розміру парової кульки в момент відриву її від поверхні нагріву;  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу,  $к\mathcal{Z}/м$ ;  $Pe_u$  – критерій Пекле;  $K_p$  – критерій тиску,  $K_p = \frac{Pe \cdot l_o}{\sigma}$ .

Після підстановки замість критеріїв їх значень у формулу (8) остання спрощується до виду

$$\alpha_2 = A_2 \cdot q^{0,6}, \quad (9)$$

де  $A_2$  – функція фізичних параметрів цукрових розчинів.

Для чистих цукрових розчинів графік цієї функції показаний на рис. Д1 додатку.

## 4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ТЕПЛОГО РОЗРАХУНКУ ВИПАРНОЇ ЧОТИРЬОХКОРПУСНОЇ УСТАНОВКИ

Викладені положення дають можливість окреслити загальний план розрахунку випарної багатокорпусної установки цукрового заводу. Принципова схема установки, що працює під

погіршеним вакуумом показана на рис. 1. Вихідні дані до розрахунку наведені в табл. Д1 додатку.

Метою теплового розрахунку установки є:

1) визначення поверхні нагріву корпусів,  $m^2$ :

$$F_i = \frac{Q_i}{k_i \cdot \Delta t_i}, \quad (10)$$

де індекс  $i$  позначає номер корпусу.

2) розрахунок кількості води, що випарена в кожному корпусі, і витрати пари в ньому з урахуванням заданого відбору вторинної пари на технологічні потреби заводу;

3) розподіл загальної корисної різниці температур між корпусами.

*Вихідні дані до розрахунку* (див. табл. Д1 додатку)

1) Продуктивність установки  $m=51500$  кг/год.

2) Вихідна кількість розчину  $G_0=130$  кг/100кг.

3) Концентрації сухих речовин:  $b_0=15\%$ ,  $b_k=65\%$ .

4) Відбирання вторинної пари з корпусів, кг/100кг:

$$E_1=12,2 \quad E_2=8,2 \quad E_3=10,8 \quad E_4=7,0.$$

5) Тиск гріючої пари 1-го корпусу  $P_1=0,35$  МПа.

6) Температура вторинної пари в корпусах, °С:

$$v_1=125,2 \quad v_2=111,0 \quad v_3=95,0 \quad v_4=77,5.$$

#### 4.1. Встановлення температурного режиму установки

Розрахунок традиційно ведуть на 100 кг сировини (для даного прикладу це цукровий буряк).

4.1.1 Загальна кількість випаруваної вологи в установці

$$W_{\text{заг}} = G_0 \left( 1 - \frac{b_0}{b_k} \right), \quad (11)$$

де  $G_0$  – загальна кількість розчину, який надходить на випаровування, кг/100кг;  $b_0$ ,  $b_k$  – початкова і кінцева концентрація сухих речовин, %.

$$W_{\text{заг}} = 130 \cdot \left( 1 - \frac{15}{65} \right) = 100 \frac{\text{кг}}{100\text{кг}}.$$

4.1.2. Розподіл загальної кількості випаруваної води по корпусам

Скористаємось спрощеним методом розрахунку корпусів, що допускає відсутність самовипарювання розчину при проходженні його з одного ступеня в інший та втрат теплоти в навколишнє середовище. При цьому приймається, що витрати гріючої пари в кожному апараті відповідають кількості випаруваної води.

Тоді витрату пари на 1-й корпус визначимо за формулою:

$$W_1 = D_1 = \frac{W_{\text{заг}}}{4} + 3 \frac{E_1}{4} + 2 \frac{E_2}{4} + \frac{E_3}{4}, \quad (12)$$

де  $E_1, E_2, E_3$  – кількість вторинної пари, що відбирається, кг/100кг.

$$W_1 = D_1 = \frac{100}{4} + 3 \cdot \frac{12,2}{4} + 2 \cdot \frac{8,2}{4} + \frac{10,8}{4} = 40,95 \text{ кг} / 100\text{кг}.$$

Для випарних установок з відборами вторинної пари справедливе рівняння:

$$D_{i+1} = W_i - E_i, \quad (13)$$

де  $D_{i+1}$  – витрата пари, кг/100кг.

Тоді витрата пари на 2-й корпус:

$$W_2 = D_1 - E_1 = 40,95 - 12,2 = 28,75 \text{ кг} / 100\text{кг}.$$

Витрата пари на 3-й корпус:

$$W_3 = W_2 - E_2 = 28,75 - 8,2 = 20,55 \text{ кг} / 100\text{кг}.$$

Витрата пари на 4-й корпус:

$$W_4 = W_3 - E_3 = 20,55 - 10,8 = 9,75 \text{ кг} / 100\text{кг}.$$

Перевіримо:

$$\begin{aligned} W_{\text{заг}} &= W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = \\ &= 40,95 + 28,75 + 20,55 + 9,75 = 100 \text{ кг} / 100\text{кг}. \end{aligned}$$

4.1.3 З формули (11) знайдемо кінцеві та середні концентрації розчину по корпусах установки:

- початкова концентрація розчину в 1-му корпусі:

$$b_{1n} = b_0 = 15 \%;$$

- кінцева концентрація розчину в 1-му корпусі:

$$b_{1k} = \frac{b_o}{1 - \frac{W_1}{s_0}} = \frac{15}{1 - \frac{40,95}{130}} = 21,9 \%;$$

- середня концентрація розчину в 1-му корпусі:

$$b_{1cp} = \frac{b_{1n} + b_{1k}}{2} = \frac{15 + 21,9}{2} = 18,45 \%;$$

- початкова концентрація розчину в 2-му корпусі:

$$b_{2n} = b_{1k} = 21,9 \%;$$

- кінцева концентрація розчину в 2-му корпусі:

$$b_{2k} = \frac{b_{2n}}{1 - \frac{W_2}{s_0 - W_1}} = \frac{21,9}{1 - \frac{28,75}{130 - 40,95}} = 32,34 \%;$$

- середня концентрація розчину в 2-му корпусі:

$$b_{2cp} = \frac{b_{2n} + b_{2k}}{2} = \frac{21,9 + 32,34}{2} = 27,12 \%;$$

- початкова концентрація розчину в 3-му корпусі:

$$b_{3n} = b_{2k} = 32,34 \%;$$

- кінцева концентрація розчину в 3-му корпусі:

$$b_{3k} = \frac{b_{3n}}{1 - \frac{W_3}{s_0 - W_1 - W_2}} = \frac{32,34}{1 - \frac{20,55}{130 - 40,95 - 28,75}} = 49,06 \%;$$

- середня концентрація розчину в 3-му корпусі:

$$b_{3cp} = \frac{b_{3n} + b_{3k}}{2} = \frac{32,34 + 49,06}{2} = 40,7 \%;$$

- початкова концентрація розчину в 4-му корпусі:

$$b_{4n} = b_{3k} = 49,06 \%;$$

- кінцева концентрація розчину в 4-му корпусі:

$$b_{4k} = \frac{b_{4n}}{1 - \frac{W_4}{s_0 - W_1 - W_2 - W_3}} = \frac{49,06}{1 - \frac{9,75}{130 - 40,95 - 28,75 - 20,55}} = 65 \%;$$

- середня концентрація розчину в 4-му корпусі:

$$b_{4cp} = \frac{b_{4n} + b_{4к}}{2} = \frac{49,06 + 65}{2} = 57,03 \%$$

4.1.4. Визначаємо нормальну фізико-хімічну температурну депресію  $\Delta_{ni}$ , °C за середньою концентрацією розчину в корпусах  $b_{i\text{cp}}$  на основі табл. ДЗ додатку.

Таблиця 1. Перший корпус

$b_{1\text{cp}}$	Температура $\nu$ пари над розчином в апараті, °C		
	120	125,2	130
0	0	0	0
18,45	0,369	<b>0,369</b>	0,369
20	0,4	0,4	0,4

Таблиця 2. Другий корпус

$b_{2\text{cp}}$	Температура $\nu$ пари над розчином в апараті, °C		
	110	111	120
20	0,4	0,4	0,4
27,12	0,614	<b>0,621</b>	0,685
30	0,7	0,71	0,8

Таблиця 3. Третій корпус

$b_{3\text{cp}}$	Температура $\nu$ пари над розчином в апараті, °C		
	90	95	100
40	1,1	1,15	1,2
40,7	1,156	<b>1,206</b>	1,256
50	1,9	1,95	2

Таблиця 4. Четвертий корпус

$b_{4\text{cp}}$	Температура $\nu$ пари над розчином в апараті, °C		
	70	77,5	80
50	1,7	1,775	1,8
57,03	2,403	<b>2,531</b>	2,573
60	2,7	2,85	2,9

4.1.5. Визначаємо поправку на тиск до нормальної фізико-хімічної температурної депресії  $\eta_i$  залежно від температури вторинної пари  $\nu_i$  з табл. Д4 додатку.

Для першого корпусу:

$$\eta_1 = 1,14 + \frac{1,22 - 1,14}{10} \cdot 5,2 = 1,182.$$

Для другого корпусу:

$$\eta_2 = 1,07 + \frac{1,14 - 1,07}{10} \cdot 1 = 1,077.$$

Для третього корпусу:

$$\eta_3 = 0,94 + \frac{1 - 0,94}{10} \cdot 5 = 0,97.$$

Для четвертого корпусу:

$$\eta_4 = 0,82 + \frac{0,88 - 0,82}{10} \cdot 7,5 = 0,865.$$

4.1.6. Визначаємо значення фізико-хімічної депресії для робочого тиску в корпусах за формулою:

$$\Delta_i = \Delta_{ni} \eta_i. \quad (14)$$

Для першого корпусу

$$\Delta_1 = 0,369 \cdot 1,182 = 0,436 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для другого корпусу

$$\Delta_2 = 0,621 \cdot 1,077 = 0,668 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для третього корпусу

$$\Delta_3 = 1,206 \cdot 0,97 = 1,17 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для четвертого корпусу

$$\Delta_4 = 2,531 \cdot 0,865 = 2,189 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.1.7. Згідно рекомендаціям с.8 приймаємо наступні значення гідростатичної та гідродинамічної депресії для корпусів:

$$\Delta_2 = 2 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \Delta_3 = 1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тоді сумарна температурна депресія визначається за формулою:

$$\Sigma\Delta_i = \Delta_{1i} + \Delta_{2i} + \Delta_{3i}. \quad (15)$$

Для першого корпусу:

$$\Sigma\Delta_1 = 0,436 + 2 = 2,436 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для другого корпусу:

$$\Sigma\Delta_2 = 0,668 + 2 + 1 = 3,668 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для третього корпусу:

$$\Sigma\Delta_3 = 1,17 + 2 + 1 = 4,17 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для четвертого корпусу:

$$\Sigma\Delta_4 = 2,189 + 2 + 1 = 5,189 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.1.8. Сумарна температурна депресія для всієї чотирьохкорпусної установки:

$$\Sigma\Delta = \Sigma\Delta_1 + \Sigma\Delta_2 + \Sigma\Delta_3 + \Sigma\Delta_4, \quad (16)$$

$$\Sigma\Delta = 2,436 + 3,668 + 4,17 + 5,189 = 15,46 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.1.9. Загальна корисна різниця температур установки:

$$\Delta t_{ycm} = t_1 - \nu_4 - \Sigma\Delta, \quad (17)$$

де  $t_1$  – температура гріючої пари першого корпусу, визначаємо за табл. Д5 додатку:  $t_1 = f(P_1) = f(3,4 \cdot 10^5 \text{ Па}) = 137,57 \text{ } ^\circ\text{C}.$

$$\Delta t_{ycm} = 137,57 - 77,5 - 15,46 = 44,61 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.1.10. Розподіл корисної різниці температур по корпусам установки проводимо за заданими температурам вторинної пари.

Для першого корпусу:

Температура кипіння розчину:

$$t_{1p} = \nu_1 + \Sigma\Delta_1 = 125,2 + 2,436 = 127,64 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Корисна різниця температур:

$$\Delta t_1 = t_1 - t_{1p} = 137,57 - 127,67 = 9,94 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для другого корпусу:

Температура первинної пари:

$$t_2 = \nu_1 - \Delta_3 = 125,2 - 1 = 124,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура кипіння розчину:



$$t_{2p} = \nu_2 + (\Sigma\Delta_2 - \Delta_3) = 111 + (3,668 - 1) = 113,67 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Корисна різниця температур:

$$\Delta t_2 = t_2 - t_{2p} = 124,2 - 113,67 = 10,53 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для третього корпусу:

Температура первинної пари:

$$t_3 = \nu_2 - \Delta_3 = 111 - 1 = 110 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура кипіння розчину:

$$t_{3p} = \nu_3 + (\Sigma\Delta_3 - \Delta_3) = 95 + (4,17 - 1) = 98,17 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Корисна різниця температур:

$$\Delta t_3 = t_3 - t_{3p} = 110 - 98,17 = 11,83 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для четвертого корпусу:

Температура первинної пари:

$$t_4 = \nu_3 - \Delta_3 = 95 - 1 = 94 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура кипіння розчину:

$$t_{4p} = \nu_4 + (\Sigma\Delta_4 - \Delta_3) = 85 + (5,189 - 1) = 81,69 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Корисна різниця температур:

$$\Delta t_4 = t_4 - t_{4p} = 94 - 81,69 = 12,31 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Перевірка правильності розподілення корисної різниці температур:

$$\begin{aligned} \Sigma\Delta t &= \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 = \\ &= 9,94 + 10,53 + 11,83 + 12,31 = 44,61 \text{ } ^\circ\text{C} = \Delta t_{\text{вс}}. \end{aligned}$$

4.1.11. Визначаємо температуру конденсату в кожному корпусі

Рекомендується приймати температуру конденсату  $t_k$  на 2-3 $^\circ\text{C}$  менше температури гріючої пари, тобто

$$t_{ki} = t_i - (2...3) \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (18)$$

Для першого корпусу

$$t_{k1} = 137,57 - (2...3) = 135 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для другого корпусу

$$t_{k2} = 124,2 - (2...3) = 122 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для третього корпусу

$$t_{k3} = 110 - (2...3) = 108 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для третього корпусу

$$t_{k4} = 94 - (2...3) = 92 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.1.12 Теплове навантаження корпусів визначимо за формулою:

$$Q_i = W_i (h_{i_i} - h_{k_i}). \quad (19)$$

де  $h_{i_i}$ ,  $h_{k_i}$  – ентальпії гріючої пари і конденсату по корпусах установки,  $\text{кДж/кг}$ , див. табл. Дб додатку.

Для першого корпусу:

$$Q_1 = 40,95 \cdot (2730,6 - 567,8) = 88570 \frac{\text{кДж}}{100\text{кг}}.$$

Для другого корпусу:

$$Q_2 = 28,75 \cdot (2712,1 - 512,2) = 63246 \frac{\text{кДж}}{100\text{кг}}.$$

Для третього корпусу:

$$Q_3 = 20,95 \cdot (2691,1 - 452,9) = 45993 \frac{\text{кДж}}{100\text{кг}}.$$

Для четвертого корпусу:

$$Q_4 = 9,75 \cdot (2666 - 385,4) = 22236 \frac{\text{кДж}}{100\text{кг}}.$$

Результати розрахунку температурного режиму зведемо в таблицю 5.

Фізичні властивості водяної пари, для заповнення табл.5 наведені в табл. Дб додатку.

Таблиця 5. Результати розрахунку температурного режиму

	Поз.	Один. вимір.	Номер корпусу			
			1	2	3	4
Тиск грійючої пари	$P_1$	МПа	0,34	0,233	0,15	0,083
Температура грійючої пари	$t_1$	°С	137,57	124,2	110	94
Ентальпія грійючої пари	$h_1$	кДж/кг	2730,6	2712,1	2691,1	2666
Температура киплячого розчину	$t_{p,i}$	°С	127,64	113,67	98,17	81,69
Фізико-хімічна температурна депресія	$\Delta_1$	°С	0,436	0,668	1,17	2,189
Гідростатична температурна депресія	$\Delta_2$	°С	2	2	2	2
Температура вторинної пари	$U_i$	°С	125,2	111	95	77,5
Тиск вторинної пари	$P_{вт.і}$	МПа	0,241	0,155	0,086	0,043
Ентальпія вторинної пари	$h_{вт.і}$	кДж/кг	2713,5	2692,6	2667,7	2638,9
Гідродинамічна температурна депресія	$\Delta_3$	°С	0	1	1	1
Корисна різниця температур	$\Delta t_i$	°С	9,936	10,532	11,83	12,311
Температура конденсату	$t_k$	°С	135	122	108	92
Ентальпія конденсату	$h_k$	кДж/кг	567,8	512,2	452,9	385,4

#### 4.2 Розрахунок коефіцієнтів теплопередачі

Коефіцієнти теплопередачі  $k$  окремих корпусів доцільно розрахувати з використанням графоаналітичного методу розрахунку, що потребує встановлення залежності  $q = f(\Delta t)$  для всіх корпусів. Розрахункові дані слід звести в табл.6, для побудови характеристик кожного корпусу задаються трьома значеннями питомих теплових потоків. Значення питомих теплових потоків  $q_1$  для корпусів приймаємо на основі дослідних даних. Наприклад, для випарної чотирьохкорпусної установки цукрового заводу, що працює під погіршеним вакуумом, рекомендуються наступні середні значення:

- для 1-го корпусу –  $15000 \text{ Вт/м}^2$ ;
- для 2-го корпусу –  $10000 \text{ Вт/м}^2$ ;
- для 3-го корпусу –  $5000 \text{ Вт/м}^2$ ;
- для 4-го корпусу –  $5000 \text{ Вт/м}^2$ .

Виконаємо розрахунок коефіцієнта теплопередачі  $k$  першого корпусу при значенні питомого теплового потоку  $q=26000 \text{ Вт/м}^2$ . Інші результати розрахунку при різних значеннях питомого теплового потоку для корпусів зведемо в таблицю 6.

##### 4.2.1 Тепловіддача від пари до стінки

Висоту поверхні нагріву  $H$  приймаємо рівною  $5\text{м}$ .

Множник  $A_1$  визначимо за формулою (7):

$$A_1 = (141 + 1,85 \cdot t_k - 0,0053 \cdot t_k^2) \cdot 10^3 = \\ (141 + 1,85 \cdot 135 - 0,0053 \cdot 135^2) \cdot 10^3 = 294157,5.$$

Тоді коефіцієнт тепловіддачі від пари до стінки знайдемо за формулою (6):

$$\alpha_1 = \frac{A_1}{(qH)^{1/3}} = \frac{294157,5}{(26000 \cdot 5)^{1/3}} = 5807 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}.$$

##### 4.2.2 Тепловіддача від стінки до киплячої рідини

Функцію фізичних параметрів цукрових розчинів  $A_2$  знайдемо за рис. Д1 додатку.

$$A_2 = f(b_{1cp} = 18,45\%; t_{1p} = 127,64^\circ \text{C}) = 14.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячої рідини знайдемо за рівнянням (9):

$$\alpha_2 = A_2 q^{0,6} = 14 \cdot 26000^{0,6} = 6239 \frac{Вт}{м^2 К}.$$

4.2.3 Коефіцієнт теплопередачі для чистої стінки (на перший день роботи)

$$k_o = \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad (20)$$

$$k_o = \frac{5807 \cdot 6239}{5807 + 6239} = 3008 \frac{Вт}{м^2 К}.$$

4.2.4 Практичний коефіцієнт теплопередачі знайдемо за формулою (3):

$$k = \varphi k_o = 0,85 \cdot 3008 = 2556 \frac{Вт}{м^2 К},$$

де  $\varphi=0,85$  та  $0,75$  – дослідний поправочний коефіцієнт використання поверхні нагріву, відповідно для двох перших та двох останніх корпусів.

4.2.5 Визначимо корисну різницю температур в першому корпусі при питомому навантаженні корпусу  $26000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ :

$$\Delta t = \frac{q}{k}, \quad (21)$$

$$\Delta t = \frac{26000}{2556} = 12,32 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

На основі даних табл. 6 будемо залежність  $q = f(\Delta t)$  для всіх корпусів випарної установки, рис. 2.

Користуючись цією графічною залежністю за знайденими корисними різницями температур  $\Delta t_i$  (табл. 1), знаходимо дійсні питомі теплові потоки кожного корпусу установки. Одержані значення  $q_i$  використовуємо для визначення розрахункових величин коефіцієнтів теплопередачі за формулою (21).

Таблиця 6. Визначення коефіцієнтів теплопередачі

Величина	Номер корпусу											
	Перший			Другий			Третій			Четвертий		
	$A_1=294157,5$ $A_2=14$			$A_1=287814,8$ $A_2=10,7$			$A_1=278980,8$ $A_2=7,5$			$A_1=266340,8$ $A_2=4,7$		
$q_i$	26000	25000	24000	24000	23000	22000	17000	16000	15000	10000	9000	8000
$\alpha_1$	5807	5883	5964	5835	5919	6007	6345	6475	6615	7230	7488	7788
$\alpha_2$	6239	6094	5946	4545	4430	4314	2590	2498	2403	1181	1108	1033
$k_o$	3008	2993	2978	2555	2534	2511	1839	1802	1763	1015	965	912
$\varphi$	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
$k$	2556	2544	2531	2172	2154	2134	1379	1352	1322	761	724	684
$\Delta t$	10,17	9,83	9,48	11,05	10,68	10,31	12,32	11,84	11,35	13,14	12,43	11,7

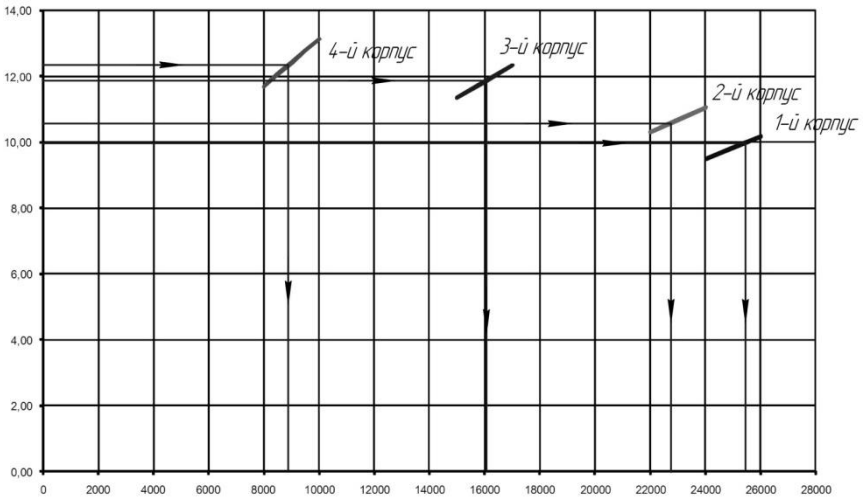


Рис. 2. Навантажувальні характеристики корпусів випарної чотирьохкорпусної установки

4.2.6 Знаходимо дійсні питомі теплові потоки для всіх корпусів установки за формулою (21):

Для першого корпусу:

$$k_1 = \frac{25450}{9,936} = 2561,4 \frac{Вт}{м^2 К}.$$

Для другого корпусу:

$$k_2 = \frac{22763}{10,532} = 2161,4 \frac{Вт}{м^2 К}.$$

Для третього корпусу:

$$k_3 = \frac{1359,1}{11,83} = 1359,1 \frac{Вт}{м^2 К}.$$

Для четвертого корпусу:

$$k_4 = \frac{8901}{12,311} = 723 \frac{Вт}{м^2 К}.$$

### 4.3 Розрахунок площі поверхонь нагріву корпусів

Поверхні нагріву визначаємо за формулою:

$$F_i = \frac{10^3 m \cdot Q_i}{3600 \cdot 100 \cdot k_i \cdot \Delta t_i}, \quad (22)$$

де  $m$  – розрахункова продуктивність установки,  $кг/год$ .

Для першого корпусу:

$$F_1 = \frac{10^3 \cdot 51500 \cdot 88570}{3600 \cdot 100 \cdot 2561,4 \cdot 9,936} = 497,85 \text{ м}^2.$$

Для другого корпусу:

$$F_2 = \frac{10^3 \cdot 51500 \cdot 63246}{3600 \cdot 100 \cdot 2161,4 \cdot 10,532} = 397,48 \text{ м}^2.$$

Для третього корпусу:

$$F_3 = \frac{10^3 \cdot 51500 \cdot 45993}{3600 \cdot 100 \cdot 1359,1 \cdot 11,83} = 409,21 \text{ м}^2.$$

Для четвертого корпусу:

$$F_4 = \frac{10^3 \cdot 51500 \cdot 22236}{3600 \cdot 100 \cdot 723 \cdot 12,311} = 357,38 \text{ м}^2.$$

## 5. ПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ, [1]

1. Теплофізичні властивості цукрових розчинів, с.127.
2. Оптимальна кількість корпусів випарної установки, с.138.
3. Вибір випарних апаратів і основні принципи їх конструювання, с.164.
4. Плівкові випарні апарати, с.168.
5. Матеріальний і теплові баланси випарного апарата, с.181.
6. Вплив витрати пари, води накипоутворення, паровідборів на продуктивність і економічність випарної станції, с.199.
7. Принципові схеми багатокорпусних випарних станцій, с.208.



8. Трансформація та акумуляція теплоти вторинної і відпрацьованої пари, с.252.
9. Допоміжне устаткування випарної станції, с.285.

### **СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Кулінченко В. Р., Мирончук В. Г. Випарювання і випарні апарати у розрахунках і конструюванні: навч. посіб. для студ. Вузів. К. : Кондор, 2006. 390 с.
2. Кулінченко В. Р. Справочник по теплообменным расчетам. К. : Техника, 1990. 198 с.
3. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник / 2-е видання, доп. та випр. Х. : Світ Книг, 2014. 495 с.

## ДОДАТОК

Таблиця Д1. Вихідні дані для розрахунку випарної установки

Перша цифра номера студентів за списком	Продуктивність установки $m$ , кг/год.	Вихідна кількість розчину $G_0$ , кг	Концентрації сухих речовин, %		Відбирання вторинної пари з корпусів, кг/100кг				Друга цифра номера студента за списком	Тиск гріючої пари 1-го корпусу $P_1$ , МПа	Температура вторинної пари в корпусах, $^{\circ}\text{C}$			
			$b_0$	$b_k$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$			$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$
0	51500	130	15	65	12,2	8,2	10,8	7,0	9	0,35	125,2	111,0	95,0	77,5
1	40000	120	15	65	29,5	18,5	0	0	8	0,31	122,0	111,0	94,0	85,0
2	37800	121	15	65	18,0	12,0	0	0	7	0,34	127,0	113,0	97,0	79,0
3	50000	120	15	65	20,0	8,0	12,0	4,0	6	0,35	124,0	112,0	96,0	79,0
4	35600	140	16	64	9,0	6,0	0	0	5	0,28	123,0	114,0	101,0	83,0
5	42000	127	16	65	14,0	6,0	8,0	11,0	4	0,34	127,0	113,0	99,0	77,0
6	35000	130	15	65	12,0	8,0	0	0	3	0,34	125,0	109,0	98,0	80,0
7	41500	120	15	65	29,0	18,5	0	0	2	0,32	121,0	110,0	97,0	83,0
8	45000	140	16	65	9,0	6,0	0	0	1	0,29	125,0	116,0	102,0	85,0
9	33500	130	15	65	12,2	8,2	7,0	7,0	0	0,34	124,0	112,0	97,0	84,0

Таблиця Д2. Теплофізичні властивості цукрових розчинів

Темпе- ратура $t, ^\circ\text{C}$	Концентра- ція сухих речовин $b$ , %	Теплоємність $c, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Теплопро- відність $\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	Густина $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Кінематич- на в'язкість $\nu \cdot 10^6, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	Поверхне- вий натяг $\sigma \cdot 10^2, \frac{\text{кГ}}{\text{м}}$	Число Прандтля Pr
1	2	3	4	5	6	7	8
50	20	3,77	0,59	1069	0,91	6,77	6,3
	40	3,31	0,55	1162	2,15	7,16	15,1
	60	2,899	0,49	1271	10,30	7,36	81,3
	65	2,76	0,47	1300	20,90	7,45	162,0
	70	2,64	0,44	1330	47,40	7,55	378,0
60	20	3,77	0,62	1064	0,76	6,67	5,0
	40	3,35	0,57	1157	1,71	7,06	11,6
	60	2,93	0,52	1265	7,50	7,26	53,0
	65	2,81	0,50	1295	13,30	7,36	96,8
	70	2,72	0,48	1325	28,50	7,45	216,0
70	20	3,77	0,64	1060	0,65	6,47	4,1
	40	3,39	0,59	1152	1,40	6,87	9,1
	60	2,97	0,55	1260	5,50	7,16	37,3
	65	2,89	0,53	1290	9,45	7,26	65,0
	70	2,76	0,51	1320	18,80	7,26	134,0

## Продовження таблиці Д2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
80	20	3,81	0,65	1055	0,56	6,28	3,4
	40	2,39	0,63	1147	1,16	6,77	7,2
	60	3,01	0,58	1255	4,20	7,06	27,2
	65	2,93	0,56	1285	6,35	7,16	46,3
	70	2,81	0,55	1315	12,70	7,26	86,0
90	20	3,81	0,66	1050	0,48	6,18	2,6
	40	3,43	0,65	1143	0,98	6,67	5,9
	60	3,31	0,62	1250	3,35	7,06	20,7
	65	2,97	0,59	1280	5,15	7,06	33,0
	70	2,85	0,58	1310	9,62	7,16	62,0
100	20	3,81	0,67	1040	0,43	6,08	2,5
	40	3,48	0,66	1135	0,84	6,47	5,0
	60	3,10	0,64	1240	2,65	6,96	15,9
	65	3,01	0,62	1270	3,94	6,96	24,4
	70	3,93	0,60	1300	6,92	7,06	44,0
120	20	3,85	0,69	1020	0,34	5,88	1,9
	40	3,52	0,67	1110	0,60	6,38	3,5
	60	3,22	0,66	1220	1,80	6,77	10,6
	65	3,10	0,64	1250	2,55	6,87	15,5
	70	3,01	0,63	1280	5,90	7,06	24,0

Таблиця Д3. Нормальна фізико-хімічна температурна депресія  $\Delta_1''$  цукрових розчинів,  $^{\circ}C$

Концентрація розчинів $b_{cp}$ , % сух. речовин	Температура $\nu$ пари над розчином в апараті, $^{\circ}C$							
	60	70	80	90	100	110	120	130
20	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
30	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
40	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	-
50	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	-
60	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6	-	-
70	4,2	4,4	4,8	5,1	5,4	5,8	-	-

29

Таблиця Д4. Поправки до нормальної фізико-хімічної температурної депресії

$\vartheta, ^{\circ}C$	$\eta$	$\vartheta, ^{\circ}C$	$\eta$
60	0,76	100	1,00
70	0,82	110	1,07
80	0,88	120	1,14
90	0,94	130	1,22

Таблиця Д5. Температура грійочої водяної пари першого корпуса, °С, [4]

$P_1$ , МПа	$t_1$ , °С
0,2	120,23
0,3	133,54
0,4	143,62

Таблиця Д6. Фізичні властивості водяної пари, які необхідні для заповнення табл.1., [4]

$t$ , °С	$P_n$ , МПа	$h''$ , кДж/кг	$h'$ , кДж/кг	$v''$ , м <sup>3</sup> /кг	$v'$ , м <sup>3</sup> /кг
0	0,00061	2500,8	0	206,3	0,0010002
10	0,00123	2519,2	42,2	106,42	0,0010004
20	0,00234	2537,2	83,9	57,84	0,0010018
30	0,00424	2555,6	125,69	32,93	0,0010044
40	0,00738	2573,6	167,51	19,55	0,0010079
50	0,01234	2591,6	209,3	12,05	0,0010121
60	0,01992	2609,2	251,12	7,678	0,0010171
70	0,03116	2626,4	292,99	5,045	0,0010228
80	0,04736	2643,1	334,94	3,409	0,0010290
90	0,07011	2659,5	376,98	2,361	0,0010359
100	0,10132	2675,8	419,1	1,673	0,0010453
120	0,19854	2706,3	503,7	0,8917	0,0010603
140	0,3614	2734	589,1	0,5087	0,0010798
160	0,618	2757,8	675,3	0,3068	0,0011021

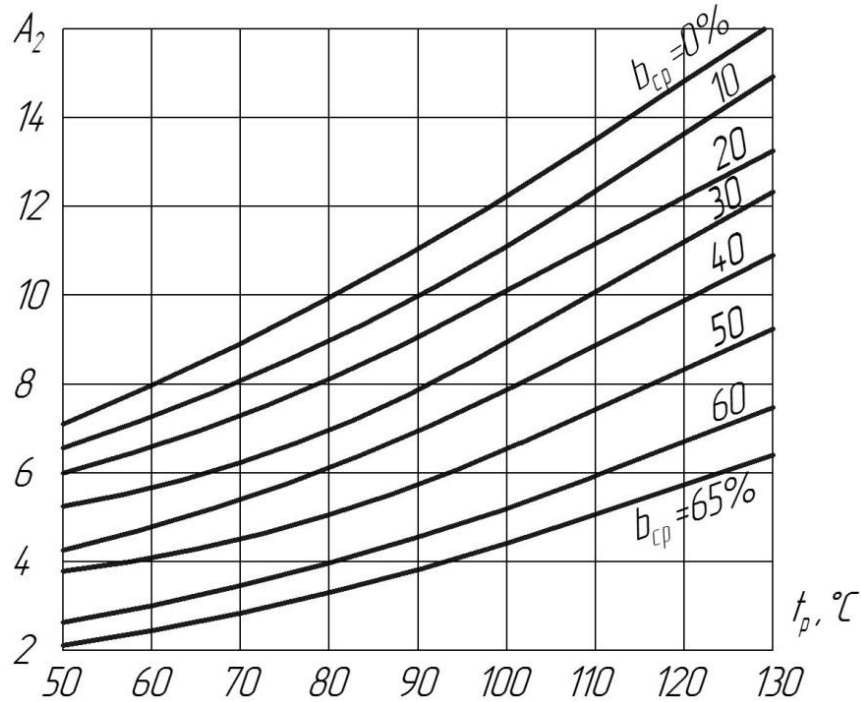


Рис. Д1. Графік для знаходження розрахункового коефіцієнта  $A_2$  для цукрових розчинів залежно від концентрації розчину  $b_{cp}$  і температури кипіння  $t_p$