



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”



ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВІДДАЧІ ПРИ КИПІННІ ТА КОНДЕНСАЦІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ НДРС З КУРСУ «ПРОЦЕСИ
ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ»

Київ НТУУ «КПІ» 2008

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВІДАЧІ ПРИ КИПІННІ ТА
КОНДЕНСАЦІЇ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ НДРС З КУРСУ «ПРОЦЕСИ
ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ»

Для студентів інженерно-хімічного та хіміко-технологічного факультетів
всіх форм навчання

Затверджено
на засіданні кафедри
машин і апаратів
хімічних та нафтопереробних
виробництв
Протокол № 4 від 15.10.08 р.

Київ НТУУ «КПІ» 2008

Дослідження тепловіддачі при кипінні та конденсації: Метод. вказівки до проведення НДРС з курсу „Процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв” для студентів інженерно-хімічного та хіміко-технологічного факультетів всіх форм навчання / Укл. С.В.Сидоренко, І.А.Андреев – К.: КПІ, 2008. – 19 с.

Укладачі: С.В.Сидоренко, канд. техн. наук, доцент
І.А.Андреев, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний редактор Я.М.Корнієнко, доктор техн. наук,
професор

Рецензент Л.І.Ружинська, канд. техн. наук, професор

1. ВСТУП. ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

В хімічній промисловості теплові процеси здійснюються в широкому інтервалі температур. Часто в процесі теплообміну теплоносії змінюють свій агрегатний стан, наприклад, випаровуються, конденсуються. При цьому теплота підводиться до теплоносіїв або відводиться від них при постійній температурі.

Кипіння – це процес переходу із рідкого стану в газоподібний при утворенні пари в об'ємі рідини. Температурою або точкою кипіння називають температуру рідини, при якій тиск її насиченої пари дорівнює зовнішньому тиску.

На інтенсивність утворення парових пухирів впливає тепловий потік та тиск, властивості киплячої рідини та вміст в ній газів, особливості поверхні нагріву /шорсткість, геометрична форма, матеріал, орієнтація в просторі тощо/. Перелічені фактори впливають на внутрішні особливості процесу кипіння: щільність центрів пароутворення, частоту відриву та відривний діаметр парових пухирів, швидкість росту парових пухирів, розподіл температури у пристінному шарі киплячої рідини [4].

Конденсація – процес зрідження пари чи газу. Перехід пари /газу/ у рідкий стан здійснюється за допомогою відводу теплоти від пари, що конденсується або при одночасному стисненні та охолодженні. Розрізняють два види конденсації: 1) поверхневу, коли пара, що конденсується, та охолоджуючий агент роз'єднані стінкою; 2) конденсацію змішування, при якій пара, що конденсується, безпосередньо стикається з

охлаждающим агентом. В промышленности чаще встречается первый вид конденсации и в большинстве случаев на поверхности теплообмена образуется сплошная пленка жидкости, то есть имеет место „пленочная конденсация пара“. Пленка жидкости, которая образуется на поверхности твердого тела, является основным термическим сопротивлением распространению тепла от пара к твердому телу. Однако, искусственно можно создать условия и для капельной конденсации /например, при использовании поверхности теплообмена, которая не имеет способности к смачиванию/, при которой тепловыдача значительно интенсивнее, чем при пленочной.

Целью работы является исследование процессов кипения жидкости в условиях свободной конвекции в неограниченном пространстве и пленочной конденсации пара в горизонтальной короткой трубке.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основной характеристикой теплового процесса является количество переданной теплоты, а основным параметром рекуперативного теплообменника – поверхность теплопередачи.

В лабораторной установке пар, который нагревается, подается в середину кипятильной трубки, и, конденсуючись, отдает свою теплоту внутренней поверхности трубки. Внешняя кипятильной трубки жидкость кипит в условиях свободной конвекции и неограниченного пространства.

Количество теплоты, которое передается, определяется из основного уравнения теплопередачи, Вт [1, 2, 3]:

$$Q = KF\Delta t, \quad (2.1)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); F – площадь поверхности теплообмена с более низким коэффициентом тепловыдачи, м²; Δt – средняя

різниця температур між теплоносіями /температурою пари, що конденсується, та температурою киплячої рідини/, К.

Коефіцієнт теплопередачі при кипінні рідини та конденсації пари для циліндричної трубки з відношенням зовнішнього діаметра до внутрішнього $d_3/d_6 < 2$ можна визначити за рівнянням, Вт/(м²·К), [1, 2, 3]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{кип}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{конд}}}}, \quad (2.2)$$

де $\alpha_{\text{кип}}$, $\alpha_{\text{конд}}$ – коефіцієнт тепловіддачі відповідно при кипінні рідини і при конденсації пари, Вт/(м²·К); λ – теплопровідність стінки трубки, Вт/(м·К); δ – товщина стінки трубки, м.

Різниця температур на внутрішній та зовнішній поверхнях кип'ятильної трубки знаходиться за рівнянням теплопровідності для циліндричної стінки [3]:

$$t_T^6 - t_T^3 = \frac{Q \ln \frac{d_3}{d_6}}{2\pi\lambda l}, \quad (2.3)$$

де l – довжина кип'ятильної трубки, м; t_T^6 , t_T^3 – температури внутрішньої та зовнішньої поверхонь експериментальної трубки, К.

Значення коефіцієнтів тепловіддачі визначаються з рівняння Ньютона-Ріхмана, Вт/(м²·К):

$$\alpha_i = \frac{Q}{F_i \Delta t_i}, \quad (2.4)$$

де F_i – поверхня теплообміну процесу тепловіддачі, м²; Δt_i – температурний напір між стінкою та відповідним теплоносієм, К.

Залежність коефіцієнтів тепловіддачі від характеру та швидкості руху теплоносіїв, їх фізичних властивостей, розмірів, форми та розташування поверхні теплообміну, а також інших факторів досить складна. Тому для визначення коефіцієнтів тепловіддачі проводяться

експериментальні дослідження з подальшою обробкою та узагальненням дослідних даних.

Значення коефіцієнта тепловіддачі при кипінні води в умовах вільної конвекції та необмеженого простору при атмосферному тиску може бути визначено за рівнянням, Вт/(м²·К), [4]:

$$\alpha_{\text{кип}}^p = \frac{10^6}{\Delta t_{\text{кип}}} K_{\text{ц}} (K_{\text{T}} + 1) + 800 \Delta t_{\text{кип}}^{0,25}, \quad (2.5)$$

де $\Delta t_{\text{кип}} = t_{\text{T}}^3 - t_{\text{кип}}$ - різниця температур між температурою зовнішньої стінки кип'ятильної трубки t_{T}^3 та температурою киплячої води $t_{\text{кип}}$, К; $K_{\text{ц}}$ і K_{T} - коефіцієнти, що враховують відповідно щільність центрів пароутворення та перегрів рідини у пристінному шарі киплячої рідини.

Залежно від $\Delta t_{\text{кип}}$ значення для $K_{\text{ц}}$ і K_{T} визначаються з табл.2.1 [4].

Таблиця 2.1. Значення коефіцієнтів K_{T} і $K_{\text{ц}}$ залежно від $\Delta t_{\text{кип}}$

Коефіцієнти	Температурний напір, $\Delta t_{\text{кип}}$, К					
	5	6	7	8	9	10
K_{T}	0,93	0,74	0,64	0,60	0,60	0,60
$K_{\text{ц}} \cdot 10^2$	0,45	0,85	1,8	3,25	5,0	7,25

Значення коефіцієнта тепловіддачі при конденсації пари у горизонтальній короткій трубці визначається за рівняння, одержаним методом теорії подібності, Вт/(м²·К), [5]:

$$\alpha_{\text{конд}}^p = AK_{\text{к}} q_{\text{конд}}^{0,5}, \quad (2.6)$$

де A - враховує матеріал, довжину та діаметр трубки, що гріє (для умов даної лабораторної роботи $A=5$); $q_{\text{конд}}$ - щільність теплового потоку на поверхні експериментальної трубки, де відбувається конденсація, Вт/м²; $K_{\text{к}}$ - величина, що враховує вплив температури пари на фізичні характеристики пари, що конденсується [5].

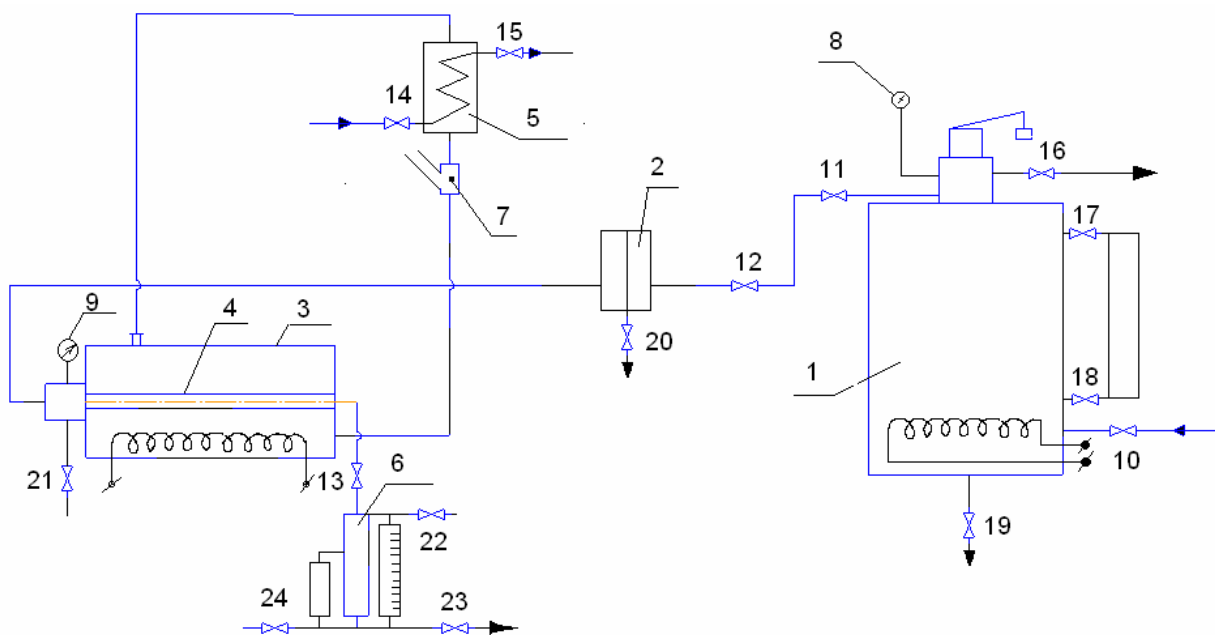
Таблиця 2.2. Залежність K_k від температури пари

Температура пари, що гріє, °C	105	110	115	120	125
K_k	8,23	8,08	7,92	7,72	7,56

3. ОПИС УСТАНОВКИ

Лабораторна установка (рис.3.1) складається з парового котла 1, сепаратора 2, експериментальної посудини 3 з кип'ятильною трубкою 4, конденсатора вторинної пари 5, мірника конденсату 6, трійника 7, манометрів 8 і 9 для вимірювання тиску пари у паровому котлі та у кип'ятильній трубці, вентилів та кранів 10-22. Вимірювання температури зовнішньої стінки кип'ятильної трубки, пари, що гріє та киплячої рідини здійснюється за допомогою термопар, підключених до цифрового термометра. Десять термопар (Т1-Т10) закладені на зовнішній поверхні кип'ятильної трубки 4 у трьох перерізах (рис.3.2).

Паровий котел 1 та експериментальна ємність 3 забезпечені електропідігрівачами. На кришці парового котла розміщений запобіжний клапан, який відкривається (спрацьовує) при досягненні тиску всередині котла вище допустимого для витравлювання частини пари. Мідна кип'ятильна трубка вмонтована в експериментальній ємності 3 з невеликим нахилом для стікання конденсату і має такі розміри: довжина $l=0,252$ м; зовнішній діаметр $d_3=2,05 \cdot 10^{-2}$ м; внутрішній діаметр $d_b=1,45 \cdot 10^{-2}$ м. Мірник конденсату 6 має теплову оболонку, складену з двох циліндрів, вставлених один в один, що зменшує теплові витрати.



1 – паровий котел; 2 – сепаратор; 3 – експериментальна посудина;
 4 – кип’ятильна трубка; 5 – конденсатор вторинної пари; 6 – мірник
 конденсату; 7 – трійник; 8,9 – манометри; 10-22 – вентиля і крани

Рис. 3.1. Схема установки

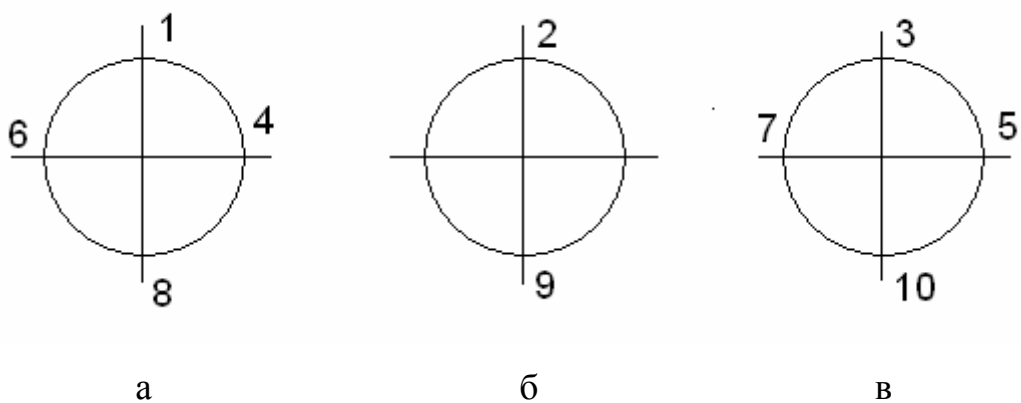


Рис. 3. 2. Схема закладки термопар у трьох перерізах: а) лівий бік
 трубки; б) середина трубки; в) правий бік труби

4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

1. Електропідігрів парового котла може бути увімкнений лише при наявності води у котлі.

2. Не допускати перевищення тиску у паровому котлі вище 0,2 МПа. Тиск необхідно регулювати періодичним вимиканням та вмиканням електропідігрівника парового котла.

3. Перед початком роботи необхідно переконатися у відсутності нещільностей у трубопроводах, вентилях, кранах та їх справності.

4. Вимикач попереднього електропідігріву води в експериментальній посудині може бути увімкнений лише при наявності води у посудині.

5. Не допускати перевищення тиску у кип'ятильній трубці вище 0,08 МПа. Тиск регулюється вентилем 12 (рис. 3.1).

5. ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОСНОВНІ ВИМІРИ

5.1. Опис процесу

Під час роботи установки водяна пара з котла 1 (рис. 3.1), проходячи сепаратор 2, де відбувається відділення крапель води від пари, надходить всередину кип'ятильної трубки 4. Пара, віддавши свою теплоту внутрішній поверхні кип'ятильної трубки, конденсується. Конденсат стікає до мірника 6. В ємності 3 відбувається кипіння рідини під атмосферним тиском за рахунок теплоти, що віддається кип'ятильною трубкою. Вторинна пара, що утворюється у ємності 3, надходить у конденсатор 5, охолоджується проточною водою. Конденсат вторинної пари, проходячи трійник 7, вертається назад у посудину 3, чим досягається замкнена циркуляція у вторинному контурі без додаткового вводу нових порцій дистильованої води. Трійник з'єднаний з навколишнім середовищем, що забезпечує атмосферний тиск у вторинному контурі. Про інтенсивність

процесів кипіння та конденсації можна зробити висновок по швидкості зростання конденсату у мірнику.

5.2. Підготовка установки до проведення досліджень

Підготовка парового котла 1. Закрити запірний 11 та регулюючий 12 вентилі правої лінії. Відкрити спускний кран 16. Відкривши вентиль 10, встановити рівень води у котлі по водомірному склу (до середини водомірного скла). Після цього можна вмикати тумблер «нагрів котла» на щиті керування.

Підготовка експериментальної ємності 3. Ввімкнути тумблер «Освітлення» на щиті керування для освітлення посудини зсередини. Заповнити посудину дистильованою водою так, щоб її рівень був вище верхньої твірної кип'ятильної трубки на 3-4 см. Відкрити вентиль 14 для підводу охолоджуючої води у конденсатор 5. Ввімкнути попередній електропідігрів води в експериментальній посудині за допомогою тумблера «нагрів бачка» на щиті керування.

Підготовка магістралі гріючої пари. При досягненні у котлі 1 тиску 0,15 МПа відкриваються продувні та спускні вентилі і крани (13, 20-24), повільно відкривається запірний (11) і регулюючий (12) вентилі. Спостерігаючи за манометром (9) (показання повинне бути не більше 0,08 МПа), продувається вся установка, внаслідок чого з неї відводять конденсат від попередніх дослідів та повітря, місце яких займає пара. Не закриваючи остаточно запірний (11) і регулювальний (12) вентилі, перекрити крани (20-24). Вентиль 13 та кран 22 трохи відкрити, таким чином конденсат буде мати вихід у мірник 6, а газу, що не конденсується у процесі досліду, залишають трубопровід. До початку роботи рівень конденсату у мірній посудині повинен бути на мітці «0» або вище.

Установка до роботи готова.

5.3. Проведення дослідів

Встановити та підтримувати постійним по манометру 9 за допомогою вентиля 11 перше значення тиску у кип'ятильній трубці 4 (кількість вимірів визначає викладач). Вимкнути тумблер попереднього електропідігрівання води в експериментальній ємності 3 та через 1-2 хвилини після появи конденсату у трійнику 7 зробити такі виміри:

- 1) Тиск граючої пари у кип'ятильній трубці p , МПа.
- 2) Температура зовнішньої поверхні кип'ятильної трубки $t_1 - t_{10}$, гріючої пари t_{11} та киплячої рідини t_{12} , °С.
- 3) Рівні конденсату, що надходить до мірника 6, на початку проведення вимірів H_1 та по закінченню часу Δt , що витрачається на дослід H_2 , м. Відрізок часу Δt не повинен перевищувати 2-3 хвилини.

Результат вимірів треба занести до табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Значення величин, що вимірюються у досліді

Номер експерименту	Тиск гріючої пари у кип'ятильній трубці, р, МПа	Температура зовнішньої поверхні кип'ятильної трубки, °С										Температура гріючої пари, °С t_{11}	Температура киплячої рідини, °С t_{12}	Рівень конденсату, м		Час експерименту $\Delta\tau$, с
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}			H_1	H_2	
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																

6. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДІВ

6.1. Визначення експериментальних значень коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі

Маса конденсату за час дослідіу $\Delta\tau$, кг:

$$M = \rho F \Delta H, \quad (6.1)$$

де ρ – густина конденсату при температурі гріючої пари, кг/м³ (визначається за допомогою таблиць, наведених у додатку А); F – площа поперечного перерізу каналу мірника, де збирається конденсат, $F=5,5 \cdot 10^{-4}$ м²; $\Delta H = H_1 - H_2$ – різниця рівнів конденсату в мірнику за час дослідіу, м.

Кількість теплоти, що передається через поверхню теплообміну за час дослідіу, Вт:

$$Q = \frac{Mr}{\Delta\tau}, \quad (6.2)$$

де r – теплота пароутворення при температурі гріючої пари, Дж/кг (визначається за допомогою таблиць, наведених у додатку А).

Температура на зовнішній поверхні кип'ятильної трубки (позначення температур зроблені відповідно до рис. 3.2):

$$t_T^3 = \frac{t^I + t^{II} + 2t^{III} + 2t^{IV}}{6}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (6.3)$$

де $t^I = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}, \text{ } ^\circ\text{C}$

$$t^{II} = \frac{t_8 + t_9 + t_{10}}{3}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t^{III} = \frac{t_6 + t_7}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t^{IV} = \frac{t_4 + t_5}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура внутрішньої поверхні кип'ятильної трубки розраховується за формулою (2.3). Теплопровідність мідної стінки кип'ятильної трубки $\lambda = 384 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Експериментальні значення коефіцієнтів тепловіддачі (при кипінні $\alpha_{\text{кип}}^e$ і при конденсації $\alpha_{\text{конд}}^e$) визначаються за рівнянням Ньютона-Ріхмана (2.4).

При знаходженні коефіцієнта тепловіддачі при кипінні $\alpha_{\text{кип}}$:

$$F_i = F_3 = \pi d_3 l, \text{ м}^2; \Delta t_i = \Delta t_{\text{кип}} = t_{\text{Г}}^3 - t_{12}, \text{ К.}$$

При визначенні коефіцієнта тепловіддачі при конденсації необхідно у формулу (2.4) підставляти $F_i = F_{\text{в}} = \pi d_{\text{в}} l, \text{ м}^2; \Delta t_i = \Delta t_{\text{конд}} = t_{12} - t_{\text{Г}}^{\text{в}}, \text{ К.}$

Експериментальне значення коефіцієнта теплопередачі K^e визначається за рівнянням (2.1), де $\Delta t = t_{11} - t_{12}, \text{ К.}$

6.2 Визначення розрахункових значень коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі.

Використовуючи експериментально визначені величини Q та $\Delta t_{\text{кип}}$, розраховуємо значення коефіцієнтів тепловіддачі $\alpha_{\text{кип}}^p$, $\alpha_{\text{конд}}^p$ та коефіцієнта теплопередачі K^p за формулами (2.5), (2.6) та (2.2).

Дані розрахунків заносять до табл. 6.1.

6.3 Побудова графічних залежностей.

За даними табл. 6.1 побудувати такі графіки:

а) у логарифмічних координатах: 1. $\alpha_{\text{кип}}^p = f_1(\Delta t_{\text{кип}})$, 2. $\alpha_{\text{кип}}^e = f_2(\Delta t_{\text{кип}})$,
3. $q_{\text{кип}} = f_3(\Delta t_{\text{кип}})$

б) у декартових координатах: 4. $K^e = f_4(\Delta t)$, 5. $K^p = f_5(\Delta t)$

Графіки 1 – 3 побудувати з загальною абсцисою $\Delta t_{\text{кип}}$, графіки 4, 5 – з загальною абсцисою Δt .

Таблиця 6.1. Результати розрахунків

Розрахункова величина	Номер експерименту				
	1	2	3	4	5
$H, \text{ м}$					
$M, \text{ кг}$					
$Q, \text{ Вт}$					
$F_3, \text{ м}^2$					
$F_B, \text{ м}^2$					
$q_{\text{кип}}, \text{ Вт/м}^2$					
$q_{\text{конд}}, \text{ Вт/м}^2$					
$t^I, \text{ }^\circ\text{C}$					
$t^{II}, \text{ }^\circ\text{C}$					
$t^{III}, \text{ }^\circ\text{C}$					
$t^{IV}, \text{ }^\circ\text{C}$					
$t_T^3, \text{ }^\circ\text{C}$					
$t_{11}, \text{ }^\circ\text{C}$					
$t_{12}, \text{ }^\circ\text{C}$					
$t_T^B, \text{ }^\circ\text{C}$					
$\Delta t_{\text{кип}}, \text{ К}$					
$\Delta t_{\text{конд}}, \text{ К}$					
$\Delta t, \text{ К}$					
$\alpha_{\text{кип}}^e, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$					
$\alpha_{\text{конд}}^e, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$					
$K^e, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$					
$\alpha_{\text{кип}}^p, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$					
$\alpha_{\text{конд}}^p, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$					
$K^p, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$					

7. АНАЛІЗ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ І ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

7.1 Порівняти дійсні і розрахункові коефіцієнти тепловіддачі ті теплопередачі.

7.2 Пояснити, що є причиною розходження дослідних і розрахункових даних, розкиду дослідних даних.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО РОБОТИ

1. Які існують способи переносу теплоти?
2. Що таке теплопередача?
3. Що таке тепловіддача?
4. Дайте визначення щільності теплового потоку.
5. Напишіть рівняння Ньютона-Ріхмана.
6. Напишіть основне рівняння теплопередачі.
7. Що таке конвективний теплообмін?
8. Які особливості теплообміну при зміні агрегатного стану теплоносія?
9. Який процес має назву кипіння?
10. Як підвищити інтенсивність пароутворення?
11. Що таке конденсація?
12. Яка мета цієї роботи?

Додаток А

Термодинамічні параметри насиченої водяної пари

Таблиця А1. Термодинамічні параметри насиченої водяної пари залежно від температури [7]

Температура, t, °С	Абсолютний тиск, $P \cdot 10^{-5}$, Н/м	Густина води, що кипить, ρ' , кг/м ³	Приховане тепло випаровування, г, кДж/кг
98	0,9429	959,8	2262
99	0,9775	959,0	2259
100	1,0132	958,3	2257
101	1,0499	957,6	2254
102	1,0876	956,9	2250
103	1,1265	956,1	2248
104	1,1666	955,4	2245
105	1,2079	954,7	2243
106	1,2504	954,0	2241
107	1,2941	953,2	2238
108	1,3390	952,5	2235
109	1,3852	951,7	2232
110	1,4326	951,0	2230
111	1,4814	950,2	2227
112	1,5316	949,4	2224
113	1,5831	948,7	2222
114	1,6361	947,9	2219
115	1,6905	947,1	2216
116	1,7464	946,3	2213
117	1,8038	945,5	2211
118	1,8628	944,7	2208
119	1,9233	943,9	2205
120	1,9854	943,1	2202
121	2,0491	942,3	2200

Таблиця А2. Термодинамічні параметри насиченої водяної пари в залежності від тиску [7]

Абсолютний тиск, $P \cdot 10^{-5}$, Н/м ²	Температура, t, °С	Густина води, що кипить, ρ' , кг/м ³	Теплота пароутворення, г, кДж/кг
0,95	98,21	959,6	2261
1,00	99,64	958,5	2258
1,1	102,32	956,7	2250
1,2	104,81	954,9	2244
1,3	107,14	953,2	2238
1,4	109,33	951,4	2232
1,5	111,38	949,9	2226
1,6	113,32	948,4	2221
1,7	115,17	947,0	2216
1,8	116,94	945,6	2211
1,9	118,62	944,2	2206
2,0	120,23	942,9	2202

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. В 2-х кн.: часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты / Ю.И. Дытнерский; изд. 2-е. – М.: Химия, 1995. – 400 с.
2. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
4. Сидоренко С.В. Исследование механизма теплообмена при кипении жидкостей в условиях естественной конвекции: Диссертация на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – К.: КПИ, 1974. 198 с.
5. Чернобыльский И.И. Машины и аппараты химических производств / И.И.Чернобыльский, А.Г.Бондарь, Б.А.Гаевский, С.А.Городинская, Р.Я.Ладиев, Ю.М.Тананайко, В.Т.Миргородский; изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: «Машиностроение», 1974. – 456 с.
6. Дослідження тепловіддачі при кипінні та конденсації. Метод. вказівки до проведення НДРС з курсу „Процеси та апарати хімічних виробництв” для студентів факультету хімічного машинобудування та хіміко-технологічного факультету всіх форм навчання / Укл. С.В.Сидоренко, І.А.Андреєв – К.: КПІ, 1993. – 12 с.
7. Вукалович М.П. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара / М.П. Вукалович, С.Л. Ривкин, А.А. Александров – М.: Изд-во стандартов, 1968. – 408 с.

Навчальне видання

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВІДАЧІ ПРИ КИПІННІ ТА КОНДЕНСАЦІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ НДРС З КУРСУ
«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ
ВИРОБНИЦТВ»

Для студентів інженерно-хімічного та хіміко-технологічного
факультетів всіх форм навчання

Укладачі:

С.В.Сидоренко, канд. техн. наук

І.А.Андреєв, канд. техн. наук