

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КІЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Горін Вадим Вікторович

УДК 536.24

ТЕПЛООБМІН ТА ЙОГО ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРИ КИПІННІ
ХЛАДОНА R22 У ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТРУБАХ

Спеціальність 05.14.05 - теоретична теплотехніка

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ-1997

621.1



Дисертація є рукопис

Робота виконана на кафедрі теоретичної та промислової
теплотехніки Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут".

Науковий керівник: доктор технічних наук,
професор Ріферт В.Г., НТУУ "КПІ",
зав.відділом термодистіляції

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
професор Письменний Є.М.,
НТУУ "КПІ",
зав.кафедрою АЕС та ІТФ

кандидат технічних наук
Шаврін Ю.В., Міністерство України
у справах науки і технологій,
зам.директора НТЦ

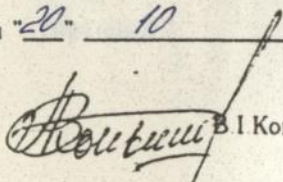
Провідна організація: Інститут технічної теплофізики
НАН України

Захист дисертації відбудеться 20 11 1997 р.
о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д. 01.02.13 в Національному технічному університеті України
"Київський політехнічний інститут" за адресою: 252056, м.Київ,
пр. Перемоги 37, корпус 5, аудиторія 406.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотечі Націо-
нального технічного університету України "Київський політех-
нічний інститут"

Автореферат розісланий 20 10 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Вченої Ради

 В.І. Коншин

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Теплообмін при кипінні хладона R22 усереднені горизонтальних труб знаходить широке застосування у багатьох галузях промисловості. Випарники холодильних машин з кипінням хладона усереднені труб являють собою конструкцію значної металомісткості і коштовності. Тому проблема раціонального проектування хладонових випарників, пріоритетним напрямком рішення котрої є інтенсифікація теплообміну в трубах, сьогодні дуже актуальна

Методики теплового розраунку, які зараз використовуються, не в повній мірі задовольняють пред'явленим до них вимогам, тому що вони не враховують деякі фізичні процеси, які протікають при випаровуванні рідини. Однією з причин такого положення є недостатня вивченність ряду процесів, і, в першу чергу, впливу початкової теплової дільниці на теплообмін при випаровуванні хладона.

Методика дослідження. Характеристики процесів теплообміну в горизонтальних трубах досліджувалися експериментальним шляхом на основі реалізації класичного плану систематичних експериментів.

Наукову новизну дисертаційної роботи складають такі основні результати:

1) експериментальні дослідження локальних та середніх коефіцієнтів тепловіддачі при пароутворенні хладона R22 усереднені гладкої труби та труб з різними методами інтенсифікації теплообміну (спірально-оребрена, подовжньо-оребрена, із пористою поверхнею, із зірковидною вставкою) при однакових геометричних параметрах труб та методик вимірювання тепловіддачі;

2) вперше виявлено вплив початкової теплової дільниці на локальну тепловіддачу при кипінні рідини усереднені гладкої труби, запропонована залежність для розрахунку тепловіддачі з урахуванням впливу початкової теплової дільниці;

3) встановлено вплив на теплообмін різних методів інтенсифікації;

4) запропонована узагальнена залежність для розрахунку

середнього коефіцієнта тепловіддачі при пароутворенні хладона в трубі із спіральним оребренням.

Практична цінність. Результати експериментальних досліджень дозволили одержати розрахункові залежності для визначення тепловіддачі у випарниках.

Запропоновано високоефективний метод інтенсифікації тепловіддачі стосовно горизонтально-трубних випарників холодильних установок.

Результати роботи використані при виготовленні хладонних випарників, які пройшли випробування на заводах "Хіммаш" (Україна, м.Коростень) і "Компресор" (Росія, м.Москва).

Апробація роботи. Основні результати роботи викладені на VI-му Міжнародному симпозіумі з транспортних проблем (Корея, 1993 р.); на Міжнародній конференції з енергетики (Індонезія, 1994 р.); на Семінарі-наradі з двофазних течій (Болгарія, 1997 р.); на семінарі кафедри теоретичної та промислової теплотехніки НТУУ "КПІ", 1997 р.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 4 наукові статті.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, загальних висновків, списку використаної літератури з 84 найменувань. Основний зміст роботи викладено на 159 сторінках машинописного тексту, враховуючи 10 таблиць та 110 рисунків.

Зміст роботи

У першій главі проведено аналіз стану питання теплообміну та його інтенсифікації при кипінні хладона R22 у горизонтальних трубах.

Встановлено, що основними типами інтенсифікаторів теплообміну в трубах випарників є: зірковидна вставка, спіральне оребрення та пористе покриття. Розрахункові співвідношення для тепловіддачі при випаровуванні усереднені гладких труб різних авторів не носять універсального характеру і дають різну ступінь впливу режимних параметрів, характерних для випарників холодильних установок, на середній коефіцієнт

тепловіддачі. Визначено розходження у ступіні інтенсифікації теплообміну для труб із спіральним оребренням та пористим покриттям. На підставі аналізу літературних даних сформульовані цілі та задачі досліджень.

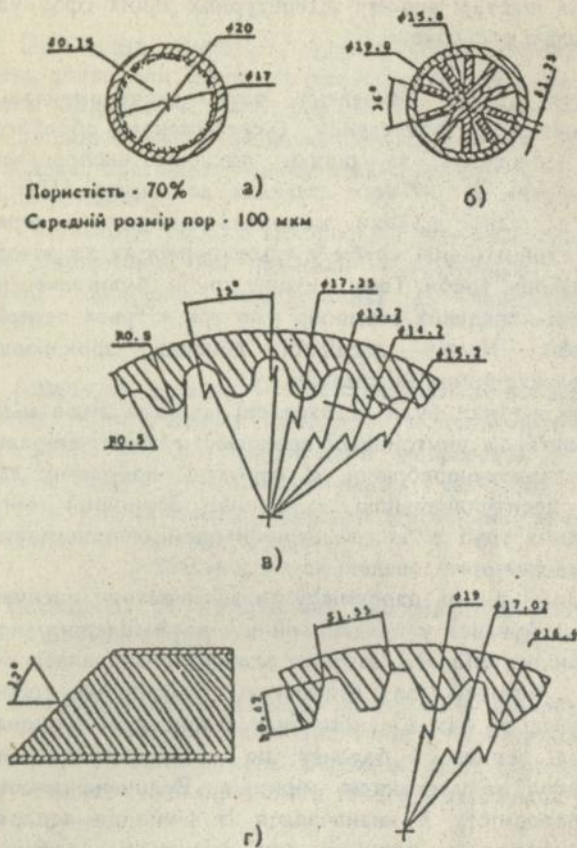
У другій главі приведено опис експериментальної установки, методики проведення експеримента, оброблення результатів досліджень та оцінки похибки експерименту. Досліди проведені на робочих ділянках довжиною 1100 мм. Конструкція дослідної ділянки дозволяла вимірювати середні температури стінки мідної труби у трьох перерізах та локальні коефіцієнти вздовж труби. Тому в стінку труби були зачеканені дев'ять хромель-копелевих термопар - по три в трьох перерізах вздовж труби. Нагрів дослідної ділянки здійснювався ізольованим електричним обігрівачем.

Дослідні ділянки були виготовлені із п'яти видів мідних труб (за характером внутрішньої поверхні): гладкої, спіральноребреної, подовжньо-оребреної, із пористим покриттям та із зірковидною десятиканальною вставкою. Зовнішній вигляд інтенсифікованих труб та їх геометричні розміри приведені на рис. 1. Всі дослідження проведені на хладоні R22.

Необхідний рівень паровмісту та температури насичення хладона забезпечувався у предвипарнику, встановленому перед дослідною ділянкою. Масова витрата хладона визначалася калориметричним методом за допомогою підігрівника рідкого хладона, на вході та виході якого були встановлені термопари. Для зведення теплового балансу по холоду вимірювалась витрата хладона за допомогою мірників. Величина масового витратного паровмісту x визначалася із рівняння теплового балансу. Максимальна похибка при визначенні коефіцієнта тепловіддачі складає 4.4 %.

У третьій главі приведені результати експериментального дослідження гідродинаміки та теплообміну при пароутворенні хладона усередині гладкої труби. Дослідження проведені при температурах кипіння хладона $T = 286.9 \dots 296.4 \text{ K}$, густині теплового потоку $q = 5 \dots 15 \text{ кВт/м}^2$, масової швидкості $m = 92 \dots 450 \text{ кг/м}^2\text{с}$ та локального паровмісту $x = 0.04 \dots 0.64$.

Експериментальні дослідження дали такі основні результати. Спостереження за режимом течії фаз на виході із труби показали, що при малих значеннях густини теплового



Пористість - 70% а)
Середній розмір пор - 100 мкм

б)

в)

г)

Рис. 1 Дослідні труби: а) з пористим покриттям; б) із зірковидною вставкою; в) подовжньо-орєбрена; г) спіральньо-орєбрена.

поток, масової швидкості та паровмісту спостерігається розширений режим течії фаз. При збільшенні m та q для всіх x починається хвильовий режим.

Із збільшенням густини теплового потоку та паровмісту, внаслідок зростання швидкості парового потоку та кількості пари, зростає винос рідини з парою. Це сприяє поліпшенню змочування рідиною верхньої частини труби навіть у режимах розширеної та хвильової течії. Тому, навіть на виході з труби, тобто відносно далеко від входу двофазного потоку в трубу, спостерігалось стікання плівки рідини з верхньої частини труби у нижню її частину.

На рис.2 приведені дані по середнім (по кутовій координаті φ у кожному перерезі труби в напрямку течії потоку) коефіцієнтам тепловіддачі для різних m та q . Характер зміни α_φ в напрямку течії залежить від густини теплового потоку та масової швидкості. При малих m α_φ мало змінюються вздовж труби. Для великих значень m та малих q спостерігається зменшення тепловіддачі вздовж труби незважаючи на збільшення паровмісту. Ступінь зменшення тим вище, чим вище m та менше q . Це явище встановлено вперше і пояснюється таким чином. При малих q основний перенос теплоти здійснюється за рахунок конвекції. При цьому на початковій ділянці труби формується тепловий прикордонний шар, товщина якого зростає вздовж труби. Як відомо, це приводить до зниження тепловіддачі вздовж труби. З ростом густини теплового потоку збільшується частка теплоти, яка переноситься за рахунок випаровування рідини біля стінки. Роль конвекційної складової зменшується, що приводить до зменшення падіння α вздовж труби для великих m . Вплив масової швидкості на тепловіддачу показано на рис.3. Ступінь впливу m на α_φ зменшується з ростом густини теплового потоку. Збільшення α_φ з ростом q та ослаблення впливу m на α_φ пояснюється зменшенням вмісту конвекційної складової у теплоперенос.

Встановлено, що введення в формулу Стайнера поправки ϵ_n , яка враховує вплив початкової ділянки, дозволяє більш точно розраховувати середню тепловіддачу α_φ :

$$\alpha_\varphi = \alpha_{\varphi ST} \times \epsilon_n \quad (1)$$

де α_{ϕ} ст - середній по ϕ , але локальний вздовж труби, коефіцієнт тепловіддачі на ділянці стабілізованого теплообміну, який розраховується за формулою Стайнера:

$$St = \frac{\alpha_{\phi} c_{\phi} T}{m c_p} = c x^{0.45} (1-x)^{0.1} p^{-0.4} \left(\frac{d_0}{d} \right)^{0.8} \quad (2)$$

$$\varepsilon_H = 1 + 0.87 \left(Re Pr \frac{d}{x} \right)^{0.07} \quad (3)$$

У четвертій главі приведені результати експериментальних досліджень при пароутворенні хладона R22, що рухається всередині горизонтальних труб: спірально-оребреної, пористої, подовжньо-оребреної та із зірковидною вставкою. На їх основі запропоновані узагальнені співвідношення для розрахунку середньої тепловіддачі, обґрунтовано застосування на практиці спірально-оребреної труби.

Спостереження за режимами течії двофазного потоку на виході із дослідної спірально-оребреної труби показали що, як і у випадку руху потоку усередині гладкої труби, у досліджених діапазонах змінювання основних режимних параметрів (q , m та x) у середині труби спостерігалися розшарований та хвильовий режими течії фаз. Проте, при однакових з гладкою трубою параметрах процесу, на виході з оребреної труби було помітно перетікання рідини з верхньої частини труби по спіралі у нижню. Як і передбачалось, спіральне оребрення сприяє поліпшенню змочування верхньої частини труби.

На рис.4 приведені дані по середнім (по кутовій координаті) коефіцієнтам тепловіддачі α_{ϕ} , у функції паровмісту x для різних m . Із збільшенням x для усіх m тепловіддача зростає. Це пояснюється тим, що в оребреній трубі, на відміну від гладкої, відсутній вплив початкової ділянки стабілізації профілю температури. Вплив паровмісту x на α_{ϕ} для оребреної труби більш значний, ніж для гладкої труби. Порівняння α_{ϕ} для гладкої та оребреної труби показує, що у залежності від величин m , q та x тепловіддача оребреної труби у 1.5 - 2.3 раза вища, ніж у гладкої. Менша інтенсифікація спостерігається при максимальних m . У всьому дослідженому діапазоні змінювання m , q та x збільшення α_{ϕ} для оребреної труби, в порівнянні з гладкою трубою, більше від ступеню збільшення поверхні теплообміну.

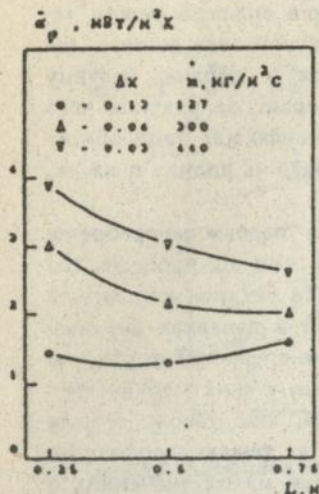


Рис. 2 Середні по периметру труби коефіцієнти тепловіддачі α_p у функції довжини труби при $q=5 \text{ кВт/м}^2$.

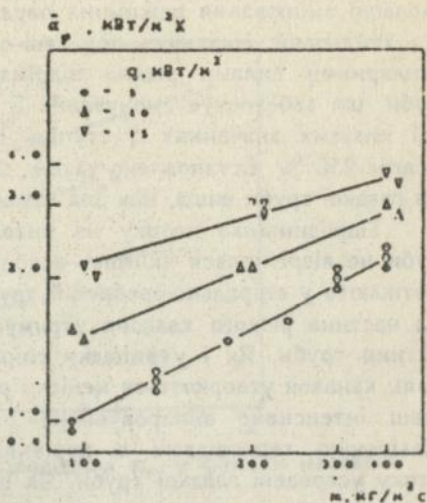


Рис. 3 Середні по периметру труби коефіцієнти тепловіддачі α_p у функції масової швидкості m при $x=0.08, 0.12$.

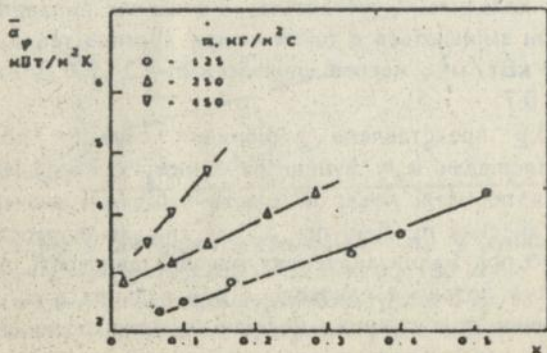


Рис. 4 Середні по периметру труби коефіцієнти тепловіддачі α_p у функції масового паровмісту при $q=5 \text{ кВт/м}^2$.

Визначено, що у трубі із пористим покриттям у всьому діапазоні змінювання режимних параметрів видимий режим течії - хвильовий. Найявність пористої структури веде до того, що капілярними силами рідина підіймається у верхню частину труби, що забезпечує змочування її поверхні, за рахунок чого при низьких значеннях q ступінь інтенсифікації теплообміну досягає 250 %. Встановлено також, що ступінь впливу q на α_f для гладкої труби вище, ніж для пористої.

Гідродинаміка потоку на виході із подовжньо-оребреної труби не відрізнялася якимись особливостями від процесів, які протікають у спіральньо-оребреній трубі. За рахунок капілярних сил частина рідкого хладона утримується в канавках верхньої частини труби. Як і у випадку спіральньо-оребреної труби, по краях канавок утворюються меніски рідини, у яких відбувається більш інтенсивне випаровування рідини, що також сприяє збільшенню тепловіддачі в порівнянні з течією двофазного потоку усередені гладкої труби. Як що при малих значеннях q інтенсифікація α_f для подовжньо-оребреної труби, порівняно з гладкою, відбувається тільки завдяки більш розвиненій поверхні, то із зростанням густини теплового потоку інтенсифікація теплообміну значно перевищує ступінь збільшення поверхні.

З метою обґрунтування найбільш прийнятнього, з точки зору технологічності та економічності, метода інтенсифікації, було зроблено порівняння ефективності досліджених поверхонь з інтенсифікаторами теплообміну стосовно горизонтально-трубних випарників холодильних установок. В згаданих випарниках робочі параметри змінюються в таких межах: густина теплового потоку $q=5...10$ кВт/м², масова швидкість $m=33...200$ кг/м²с, паровміст $x=0...0.7$.

На рис.5,6 представлено порівняння середніх по ϕ коефіцієнтів тепловіддачі α_f у функції паровмісту x . Коефіцієнти тепловіддачі для пористої поверхні мають найбільші значення при всіх q для високих m . Дані по α_f для спіральньо-оребреної та пористої труб при малих значеннях масової швидкості m та густини теплового потоку q однакові, а при великих q α_f для спіральньо-оребреної труби вищі. Дослідні α_f для подовжньо-оребреної труби наближаються по значенню до α_f для спіральньо-оребреної труби тільки при великих q і m . Дані по α_f для труби з 10-ти канальною зірковидною вставкою, одержані для порівняння на тому ж експериментальному стенді, виявили н-

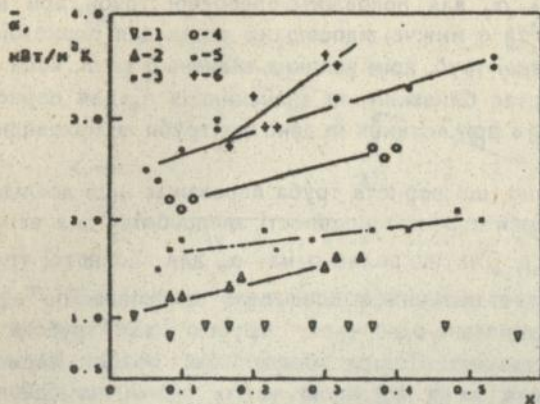


Рис. 5 Середні коефіцієнти тепловіддачі α_v у функції масового паровмісту x при $q=5 \text{ кВт/м}^2$:

1-гладка труба, $m=91 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$; 2-гладка труба, $m=130 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$;
 3-подовжно-оробрена труба, $m=105 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$; 4-труба із зірковидною вставкою, $m=130 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$; 5-спірально-оробрена труба, $m=130 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$; 6-пориста труба, $m=130 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$.

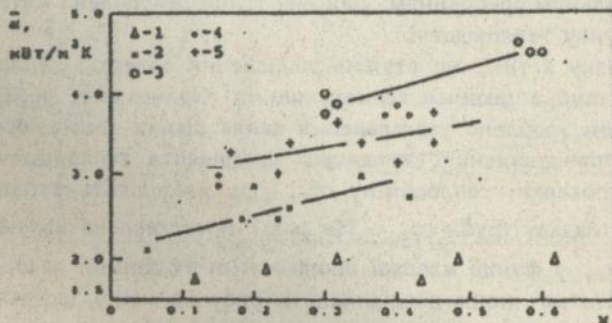


Рис. 6 Середні коефіцієнти тепловіддачі α_v у функції масового паровмісту x при $q=10 \text{ кВт/м}^2$ та $m=100-130 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$:

1-гладка труба; 2-подовжно-оробрена труба; 3-труба із зірковидною вставкою; 4-спірально-оробрена труба; 6-пориста труба.

ся при великих q і малих m вищими від α_q для спірально-орєбреної труби. α_q для подовжньо-орєбреної труби при всіх значеннях x , m та q нижче відповідних даних для пористої та спірально-орєбреної труб, крім великих значень q та m , коли α_q для цієї труби стає близьким по значенню із α_q для пористої труби і перевищує при великих m дані для труби із зірковидною вставкою.

Встановлено, що пориста труба переважає інші досліджені поверхні з точки зору інтенсивності теплообміну для всіх m та x при малих q . Так як вплив q на α_q для пористої труби незначний, то при великих q вона стає однаковою по ефективності із спірально-орєбреною трубою та трубою із зірковидною вставкою. Таким чином, три труби: пориста, спірально-орєбрена та із вставкою мають практично однакові значення α_q у діапазонах змінювання x , m та q , які мають місце при роботі випарників холодильних установок.

Враховуючи, що існуюча технологія виготовлення спірально-орєбrenих труб вимагає менших витрат, ніж для пористих труб та труб із вставкою, в хладонових випарниках холодильних установок більш перспективним в даний час є використання труб із спіральним орєбrenням. Для цієї труби розроблена методика розрахунку тепловіддачі.

В зв'язку з тим, що ступінь збільшення поверхні теплообміну для труб з різними геометричними параметрами ребер різна, автором зроблено узагальнення даних різних дослідників у вигляді співвідношення середнього коефіцієнта тепловіддачі для повної поверхні теплообміну $\alpha_{пов}$, до коефіцієнта тепловіддачі для гладкої труби $\alpha_{гд}$. На рис.7 представлена залежність $\alpha_{пов}/\alpha_{гд}$ у функції масової швидкості m за даними автора та по результатам інших дослідників. Із рисунка видно, що дані автора по відносним коефіцієнтам тепловіддачі добре сходяться з даними тих робіт, де були близьки до досліджених автором значення q та x . Згідно рис.7 $\alpha_{пов}/\alpha_{гд} \cdot m^{0.46}$ або, що теж саме, пропорційно числу $Re^{-0.46}$, де

$$Re = \frac{m d}{\rho v} (1 - x) \quad (4)$$

На рис. 8 дослідні дані автора для трьох значень густини теплового потоку q представлені у вигляді функції:

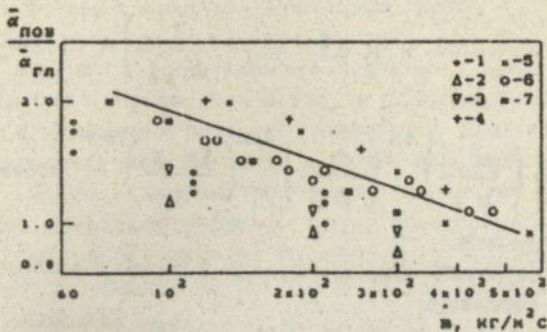


Рис. 7 Відношення середніх коефіцієнтів тепловіддачі для спірально-ребреної труби $\alpha_{пов}$ до середніх коефіцієнтів тепловіддачі для гладкої труби $\alpha_{гл}$ у функції масової швидкості:

- 1- $x=0.25$, $q=20$ кВт/м², труба N1,2,3, R114 [Уен];
- 2- $x=0.25$, $q=10$ кВт/м², труба N2, R12 [Галлі];
- 3- $x=0.25$, $q=20$ кВт/м², труба N2, R12 [Галлі];
- 4- $x=0.25$, $q=10$ кВт/м², труба N2, R113 [Ханпара];
- 5- $x=0.25$, $q=10$ кВт/м², труба N5, R113 [Ханпара];
- 6- $x=0.25$, $q=10$ кВт/м², труба N2, R22 [автор];
- 7- $x=0.25$, $q=10$ кВт/м², труба B, R22 [Еснда].

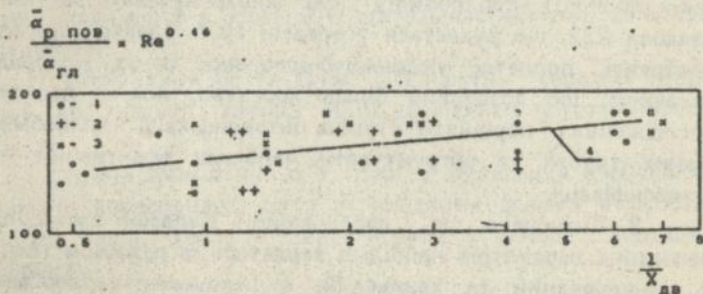


Рис. 8 Дослідні дані для трьох значень густини теплового потоку q : 1 - 5 кВт/м²; 2 - 10 кВт/м²; 3 - 15 кВт/м²; 4 - розрахункова лінія (5).

$$\frac{\alpha_{пов}}{\alpha_{гл}} \times Re^{0.46} = f\left(\frac{1}{X_{дв}}\right), \quad (5)$$

де $X_{дв} = \left(\frac{\mu_p}{\mu_t}\right)^{0.1} \left(\frac{\rho_t}{\rho_p}\right)^{0.5} \left(\frac{1-x}{x}\right)^{0.9}$ - параметр Локкарта-Мартінееллі.

В результаті обробки функції розподілу дослідних точок одержана кореляція:

$$\frac{\alpha_{пов}}{\alpha_{гл}} = 147.7 Re^{0.46} \left(\frac{1}{X_{дв}}\right)^{0.09}, \quad (6)$$

яка узагальнює дані автора з максимальним відхиленням $\pm 22\%$. Залежність справедлива у діапазоні параметрів: $Re=5000\dots 33000$; $1/X_{дв} = 0.5\dots 7$; $Bo=0.62\dots 11.9$.

Висновки

1. Вперше досліджені при однакових геометричних (діаметр та довжина) параметрах труб та методиці вимірювання закономірності теплообміну при випаровуванні та кипінні хладона R22, що рухається усереднені труб: гладкої, спірально-орєбреної, пористої, подовжньо-орєбреної та із зірковидною вставкою, що дозволило більш коректно, ніж у попередніх дослідженнях, порівняти ступінь інтенсифікації теплообміну в різних трубах та обґрунтувати найбільш ефективний метод інтенсифікації.

2. Визначено, що у дослідженому діапазоні застосування режимних параметрів найбільш характерним режимом течії фаз є розшарований та хвильовий, а режимами теплообміну - випаровування при вимушеному русі рідини, коли на теплообмін співміряно впливають m , q та x .

3. Вперше виявлено вплив початкової теплової дільниці на локальну тепловіддачу при кипінні рідини усереднені гладкої труб при $q < 10 \text{ кВт/м}^2$ та $m > 160 \text{ кг/м}^2$.

4. Визначено, що вплив m та q на локальні та середні коефіцієнти тепловіддачі не залежить від типу внутрішньої поверхні труб. При збільшенні q вплив m слабне і, навпаки, при зменшенні m ступінь впливу q збільшується для усіх труб. Паровміст x має незначний вплив на тепловіддачу для гладкої, пори-

стої та подовжньо-оребреної труби; для спіральньо-оребреної труби ступінь впливу x вища, ніж для гладкої труби.

5. Доведено, що головним фактором збільшення тепловіддачі в трубах із спіральним та подовжнім оребренням, а також в трубах із зірковидною вставкою по відношенню до гладкої труби є збільшення поверхні теплообміну. Додаткова інтенсифікація процесу для цих труб, а також для пористої труби, пов'язана тільки з кращим розподілом рідини по периметру труби. Для спіральньо-оребреної труби спостерігається збільшення конвективної складової теплопереносу внаслідок закрутки потоку. Це збільшення має місце як для однофазної течії, так і для двофазної.

6. Визначено, що інтенсифікація теплообміну при використанні спеціальних поверхонь в порівнянні з гладкою, суттєво залежить від m , q і в меншій мірі від x , за виключенням спіральньо-оребреної труби. Для неї та труби із зірковидною вставкою найбільша інтенсифікація мала місце при малих m і становила 180...220 %. Для пористої та подовжньо-оребреної труб ступінь інтенсифікації збільшується із зростанням m . Для спіральньо-оребреної труби ступінь інтенсифікації зростає при збільшенні паровмісту x . Найбільша інтенсифікація теплообміну у діапазоні режимних параметрів m , q та x , характерних для роботи хладонових випарників холодильних машин, мала місце в дослідах із спіральньо-оребреною та пористою трубами.

7. Порівняння результатів досліджень середніх коефіцієнтів тепловіддачі з даними інших дослідників показало наступне:

- ступінь збільшення α у трубі із спіральним оребренням задовільно кореспондується з відповідними даними в роботах Ханпарі, Галлі, Уена та Есиді (труби з різним спіральним оребренням);

- дані по α для пористої труби погоджуються з роботою Пальма (труби з пористою фольгою);

- дані по α для труби із зірковидною вставкою близькі до відповідних даних, одержаних Дьячковим (труби із різними зірковидними вставками);

- дані по теплообміну при кипінні хладона R22 усередені подовжньо-оребреної труби одержані вперше.

8. Обгрунтовано застосування для практики спіральньо-оребреної труби.

9. Вперше запропонована залежність для розрахунку середньої тепловіддачі, яка задовільно узагальнює дані проведеного дослідження і дані робіт інших авторів.

Основні положення дисертації опубліковані у слідуючих работах:

1. Хайтин Б.Ш., Горин В.В. Горизонтальный плиточный морозильный аппарат со встроенной холодильной установкой АМП -1.6 КМ. // Технологическое оборудование для рыбной промышленности. - 1986. - №6. - С.1-8.

2. Rifert V.G., Trokoz Y.E., Gorin V.V., Melnichuk G.A. Intensification heat exchange with vaporization inside horizontal tubes. // The 6th International symposium on transport phenomena. - 1993. - V.2. - P.377-380.

3. Rifert V.G., Trokoz Y.E., Gorin V.V. Heat transfer enhancement in horizontal tube evaporators of refrigerating plants. // International conference on fluid and thermal energy. - 1994. - P.343-352.

4. Rifert V.G., Gorin V.V., Ozimay S.S. Convective Condensation and evaporation inside the horizontal tubes. // Russ. J. Eng. Thermophys. - 1996. - V.6. - N3. - P.205-224.

Умовні позначення

q - густина теплового потоку, Вт/м²; α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м² К; x - паровміст; m - масова швидкість потоку, кг/м² с; d - діаметр, м; p - тиск, Па; c_p - питчеза теплоємність, Дж/кг К; ρ - густина, кг/м³; γ - кінематичний коефіцієнт в'язкості, м²/с; μ - динамічний коефіцієнт в'язкості, Па с; φ - кутова координата; Re - число Рейнольдса; Wo - число Бонда; Pr - число Прандтля.

Індекси

r - рідина; g - газ; $пов$ - повна; $гл$ - гладка; $дв$ - двофазний; $ор$ - оребрена; $ст$ - стабілізований; $п$ - початковий.

Анотація

Горин В.В. Теплообмін та цого інтенсифікація при кипінні хладона R22 у горизонтальних трубах. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.05 - теоретична теплотехні-

ка. - Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Київ, 1997.

Дисертація містить результати експериментальних досліджень впливу густини теплового потоку, масової швидкості та паровмісту на теплообмін та його інтенсифікацію при кипінні хладона у середені горизонтальних труб. Визначено вплив на теплообмін різних методів інтенсифікації. Запропонована залежність для розрахунку середньої тепловіддачі при пароутворенні хладона R22 в трубі з спіральним оребренням.

Ключові слова: інтенсифікація теплообміну, густина теплового потоку, масова швидкість, паровміст, оребрені труби, пориста труба, труба із зірковидною вставкою, тепла початкова ділянка.

Аннотация

Горин В.В. Теплообмен и его интенсификация при кипении хладона R22 в горизонтальных трубах. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.05 - теоретическая теплотехника. - Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, 1997.

Диссертация содержит результаты экспериментальных исследований влияния плотности теплового потока, массовой скорости и паросодержания на теплообмен и его интенсификацию при кипении хладона внутри горизонтальных труб. Установлено влияние на теплообмен различных методов интенсификации. Предложена обобщающая зависимость для расчета среднего коэффициента теплоотдачи при парообразовании хладона R22 в трубе со спиральным оребрением.

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, плотность теплового потока, массовая скорость, паросодержание, оребренные трубы, пористая труба, труба со звездообразной вставкой, начальный тепловой участок.

Summary

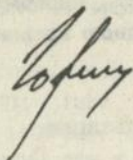
Gorin V.V. Heat exchange intensification during refrigerant R22 boiling inside horizontal tubes. - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences by speciality 05.14.05 - theoretical principles of heat engineering, National technical university of Ukraine "Kiev polytechnical institute, Kiev, 1997.

The dissertation contains the results of experimental investigation of heat flux, mass flux and vapour quality influence on heat exchange during refrigerant boiling inside horizontal tubes. Affect of various methods of intensification on heat exchange has been determined. Summerizing dependence for average heat transfer coefficient calculation has been suggested for refrigerant R22 vaporization in spiral finned tube.

Key words: heat exchange intensification, heat flux, mass flux, vapour quality, finned tubes, porous tube, tube with finned straight, initial thermal region.

Здобувач



В.В. Горін

Подписано к печати 1710 Формат 60x84, I/I6
Объем 1,0 печ. лист. Заказ № 49 Тираж 100
ОНТИ и ПД УкрНПОМО

121400

AB 38.707

AB 38.707