

Автореферат
В54

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

На правах рукопису

ВІТЮК Антоніна Вікторівна

**ТЕПЛОМАСООБМІН В КОНТАКТНИХ ПРИСТРОЯХ
ПЛІВКОВИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ
З УРАХУВАННЯМ НЕРІВНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ РІДИНИ**

Спеціальність 05.04.03 - холодильна і криогенна техніка,
системи кондиціонування

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

xv 946

ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
бібліотека

Одеса - 1997

Робота виконана в Одеській державній академії холоду

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
В.Х.Кирилов

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор
В.В.ПРИТУЛА
- доктор фіз.-мат. наук, доцент
М.Я.ТИХОНЕНКО

Провідна організація - державна науково - виробнича фірма
«НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ» держхарчпрому
України

Захист відбудеться " 16 " *серпня* 1997 р. у 11 годин
на засіданні спеціалізованої ради Д.05.20.01 при Одеській
державній академії холоду за адресою: 270026, м. Одеса,
вул. Дворянська 1/3, ОДАХ.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці інституту

Автореферат розісланий " 13 " *травня* 1997 р.

секретар
ради
наук, професор

В.А.Календер'ян

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Одним з найбільш перспективних напрямків розвитку холодильної техніки, яка виступає необхідним елементом життєдіяльності сучасного суспільства, є подальше удосконалення тепломасообмінної апаратури. Воно включає в себе раціональне використання енергетичних і матеріальних ресурсів, якісне покращення робочих характеристик застосовуваних апаратів, підвищення їх надійності, забезпечення параметрів комфортності, що вимагаються, значне покращення екологічного становища, а також вирішення зв'язаних з ним економічних проблем. Це може бути досягнуто шляхом інтенсифікації процесів тепломасообміну (ТМО), підвищення їх ефективності при зниженні енергозатрат, створення оптимальних робочих поверхонь, які забезпечують зниження матеріалоемкості апаратури. Аналіз літературних даних підводить до висновку, що більша частина теоретичних праць присвячена безпосередньо контактному пристрою з рівномірним зрошенням робочих поверхонь, що зовсім не враховує реальних режимів роботи плівкової апаратури з форсуночною системою зрошення. З іншого боку, тепловий розрахунок в більшості праць проводиться на засаді лінійної теорії випарувального охолодження, що дає можливість аналітично розв'язати відповідні рівняння ТМО. Проте для плівкової апаратури з достатньо великими тепловими навантаженнями подальше досконалення теплового розрахунку зв'язано з нелінійною теорією. Отже, виникає необхідність при проектуванні нових і удосконаленні існуючих плівкових апаратів з одного боку проводити комплексні теоретичні дослідження процесів гідродинаміки і ТМО контактної зони у взаємодії із зрошувальним пристроєм, а з другого - удосконалити інженерну методику теплового розрахунку такої апаратури.

Мета роботи. Розробка гідродинамічного і теплового розрахунку контактної зони плівкових апаратів із врахуванням нерівномірності зрошення з метою створення інженерної методики проектування ефективної плівкової апаратури прямого і непрямого випарувального охолодження.

Наукову новизну складають такі розробки:

- чисельна методика розв'язування нелінійної задачі теплового розрахунку контактних пристроїв при різноманітних схемах контактування фаз з врахуванням нерівномірності зрошення;
- принципи оптимального розподілу системи відцентрово-струминних форсунок зрошувального пристрою плівкових апаратів;

- інженерна методика теплового розрахунку контактних пристроїв у взаємодії з системою зрошування.

Практична цінність роботи. Проведені дослідження дозволяють глибше зрозуміти взаємозв'язок гідродинаміки і процесів ТМО при плівковій і струминно-плівковій течії рідини по гладкій і гофрованій з регулярно шорсткістю поверхнях, встановити вплив неоднакового зрошування насадочного шару на ефективність проти- і перехресноточних вентиляторних градиєнтів і на засаді цього розробити методику інженерного розрахунку випарувальних апаратів при нерівномірному зрошуванні контактних пристроїв форсуночними розпилювачами.

Наукові положення, які захищаються в роботі.

1. Для плівкових ТМА з прямокутною формою перерізу насадки незалежно від схем контактування потоків рідини та газу визначальною умовою стабільної ефективної роботи виступає рівномірність зрошення, яка виражається мінімальним значенням коефіцієнта надмірного зрошення. При цьому відношення сегмента рідини, яка випадає на стінку, до радіуса факела на поверхні наближається до 0,3.

2. Розрахунок ТМА на основі лінійної теорії випарувального охолодження правомірний лише при невеликих поглибленнях охолодження ($\Delta t \leq 5^\circ\text{C}$). Із зростанням цих глибин похибка розрахунку зростає. Тому для розв'язку задачі необхідно застосовувати чисельні методи з урахуванням нелінійної залежності $p'' = f(t)$ (парціального тиску насиченого пару від температури рідини).

Реалізація роботи. Отримані результати використані при розробці вентиляторних протиточних градиєнтів типу ГРН (у вигляді типорозмірного ряду), перехресноточних градиєнтів типу ГРН-П, непрямо-випарувальних повітроохолоджувачів типу БКВО.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались на щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу і наукових співробітників ОДАХ в період з 1991 - 1996 рр; Республіканській науково-методичній конференції, присвяченій 200 - річчю від дня народження М.І.Лобачевського (Одеса, 1992 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 18 робіт, в яких відображені основні положення і результати.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 4 глав, висновків, списку використаної літератури (198 найменувань) і додатків.

Робота викладена на 154 сторінках машинописного тексту, виключає 37 рисунків та 18 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

У вступі обґрунтовується актуальність і мета досліджень, вказана наукова новизна і практична цінність роботи, проводиться короткий огляд літератури і описується математична модель випарувального охолодження рідини і газу.

Проведений аналіз теоретичних і експериментальних робіт по створенню та удосконаленню плівкових ТМА, виконаних в ОДАХ, дозволяє сформулювати нові задачі дослідження:

- у випадку великих глибин охолодження ($\Delta t > 5^\circ\text{C}$) при всіх схемах контактування фаз необхідно враховувати нелінійну залежність $p''(t)$ і розвинути на цій основі чисельні розв'язки відповідних задач ТМО;

- розглянути різноманітні схеми контактування фаз (прямо-, проти- і перехресноточну) з метою обґрунтованого вибору однієї з них;

- одночасно з основною схемою непрямого випарувального охолодження розглянути регеративну схему, що забезпечує більшу глибину охолодження повітря;

- виконати аналіз нерівномірності розподілу рідини на основі системи відцентрово-струминних форсунок та відпрацювати рекомендації зведення до мінімуму шкідливого впливу нерівномірності;

- відпрацювати методики розрахунку плівкових ТМА вентиляторних проти- і перехресноточних градиєнтів, прямо- і непрямо-випарувальних повітроохолоджувачів з урахуванням нерівномірності зрошення рідини та опробувати ці методики при розрахунку та конструюванні апаратів.

В 1 главі досліджується ТМО в гілоскопаралельному насадочному шарі при протиточній безхвильовій течії фаз, який розглядається в нелінійній системі диференціальних рівнянь з граничними умовами (1)

$$\begin{aligned} \frac{dt}{dx} &= a_1(\theta - t) + b_1(p - p''), \quad p'' = f(t) \\ \frac{d\theta}{dx} &= a_2(\theta - t), \quad \frac{dp}{dx} = b_2(p - p''), \end{aligned} \quad (1)$$

при $x=0 \quad t=t_0$, при $x=H \quad \theta=\theta_n$, $p=p_n$,

де

$$a_1 = \frac{\alpha_2}{c_1 Q_1}, \quad b_1 = \frac{r_0 \beta_2}{c_1 Q_1}, \quad a_2 = \frac{\alpha_2}{c_2 Q_2}, \quad b_2 = 1,61 \frac{P_0 \beta_2}{Q_2}$$

Відомі аналітичні розв'язки задачі (1) у випадку лінійної залежності $p'' = m + n t$, одержані в працях Бермана, Кирилова та інших.

Ці розв'язки можуть застосовуватись в інженерній практиці тільки у випадку невеликої глибини охолодження фаз $\Delta t \leq 5^\circ \text{C}$. В іншому випадку (при $\Delta t > 5^\circ \text{C}$) відомі аналітичні розв'язки призводять до значних похибок і це на-самперед стосується апаратів інтенсивного охолодження з рециркуляцією рідини. Тому у пропонованій роботі розвиваються зокрема чисельні методи розв'язку задачі (1) з врахуванням нелінійних залежностей $p'' = p''(t)$, $c_1 = c_1(t)$, $c_2 = c_2(\theta)$, а саме -

$$\lg \frac{p''}{98066.5} = 0.141966 - 3142.305 \left[\frac{1}{t - 273.16} - \frac{1}{373.16} \right] + 8.211 \lg \frac{373.16}{t + 273.16} - 0.0024804(100 - t) \quad (2)$$

При чисельному розв'язку задачі (1) використовується схема Рунге-Кутта. Проте, як було показано академіком П.Л.Капіцею, процеси ТМО у двохфазній системі пливка рідини - газ ускладнюються хвилеутворенням поверхні розділу. І для дослідження процесів ТМО при сильних гідродинамічних взаємодіях фаз ($v_2 > 3 \text{ м/с}$, $Re_1 > 30$, режим інтенсивного хвилеутворення) необхідно враховувати хвильовий механізм тепло- і масопередачі. З цією метою проведено статистичну обробку експериментальних даних В.М.Олевського і методом найменших квадратів отримані характеристики пливкових течій, а також проведено кількісну оцінку хвилеутворення на втрати тиску газового потоку і коефіцієнти тепло- і масовіддачі кожної із фаз. Тоді коефіцієнт теплообміну визначається за формулою Кадера, як при русі в шорткому каналі (висота елементів шерсткості дорівнює подвоєній амплітуді хвиль, а період шерсткості p - довжині хвиль).

$$Nu = \frac{\alpha_2 d_{\phi}}{\lambda_2} = \frac{Re_2 \sqrt{\xi/8}}{3.03 \ln(Re_2 \sqrt{\xi/8}) + M - 5.86 + 9.57 \sqrt{\xi/8}}, \quad (3)$$

$$\text{де } \xi = 1 / [8 (2.5 \ln(d_{\phi}/2e) + B_0(\sigma) - 3)]^2, \quad k_+ = e_1 Re_2 (\xi/8)^{1/2},$$

$$Re_2 = v d_{\phi} / \nu_2, \quad M = 4.9 (k_+)^{1/4} - 3.03 \ln k_+ + B(\sigma), \quad e_1 = e/d,$$

$$d_{\phi} = d^2 [(1 - 2e_1)^2 + 2e_1(k - 2)^2 (27 - 58e_1 + 2e_1 k) / (243k)], \quad B(\sigma) = 1.79 \sigma^{0.45},$$

$$\sigma = (k - 2)^{2/3} k^{1/3} (1 - 2e_1)^2, \quad B_0(\sigma) = 10 \exp(-0.3 \sigma) + 1.5 \sigma^{0.45}, \quad k = p/e.$$

Формули Кадера застосовуються в інтервалі $4 \cdot 10^3 \leq Re_2 \leq 4 \cdot 10^6$, $3 \leq k_+ \leq 6 \cdot 10^3$, $e_1 \leq 1$, $1.2 \leq k \leq 11$.

На рисунку 1 подані результати розрахунку температури рідини t на виході з ГРН-8 в залежності від швидкості повітря. (Тут і далі розрахунки проводились в орієнтуванні на типорозмірні ряди проти- (ГРН) і перехресноточних (ГРН-П) градирень, а також побутових кондиціонерів (БКВО), розроблених в ОДАХ. Цифри 8, 50 ($\text{м}^3/\text{г}$) відповідають продуктивності ТМА по охолодженню води. В розрахунках брались до уваги характеристики процесів ТМО в межах регулярної насадки (РН) без урахування інших елементів апарата).

В розділі 2.2 глави 1 проведено дослідження інтенсифікації процесів ТМО при використанні гофрованих робочих поверхонь насадок з регулярною шерсткістю. Коефіцієнт тепловіддачі розраховується за формулами Кадера (3).

Результати розрахунку t на виході з ГРН-50, які подаються на рисунку 2, дозволяють зробити висновок про більшу ефективність апарата з алюмінієвими листами насадки, чим з пластмасовими.

Розроблені чисельні схеми розрахунку застосовувались і для повітроохолоджувачів прямо-випаровувального типу.

Результати розрахунку температури повітря θ на виході із кондиціонера БКВО-0,5 подані на рисунку 3.

В розділі 5 глави 1 розглядається розв'язок задачі ТМО для проточних фаз за допомогою інтегральних перетворень і теорії лишків.

Отримані розподіли температур рідини і газу, а також парціального тиску і розраховуються коефіцієнти тепло- і масовіддачі для них.

В 2 главі досліджується ТМО при перехресній течії фаз, математична модель випаровувального охолодження у цьому випадку має вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial t}{\partial x} &= a_1 (\theta - t) + b_1 (p - p''), \quad p'' = f(t), \\ \frac{\partial \theta}{\partial z} &= a_2 (t - \theta), \quad \frac{\partial p}{\partial z} = b_2 (p'' - p), \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{при } x = 0 \quad t = t_0, \quad \text{при } z = 0 \quad \theta = \theta_0, \quad p = p_0,$$

а коефіцієнти рівнянь такі самі, як у формулах (1).

Для отримання чисельного розв'язку, де p'' задається залежністю (2), використовується метод сіток. Причому оператори диференціювання рівнянь (4) апроксимуються правими різницевиими похідними.

Аналогічно 1 главі, як приклад, розглядається розрахунок t , θ , p на виході з перехресноточних градирень з гладкими і гофрованими листами і перехресноточного кондиціонера БКВО-0,5. На основі цього можна зробити висновок, що протиточна схема відзначається більшою інтенсивністю процесів ТМО - в 1,5 - 1,7 рази. Проте це не компенсує росту енерговитрат. А при протиточній

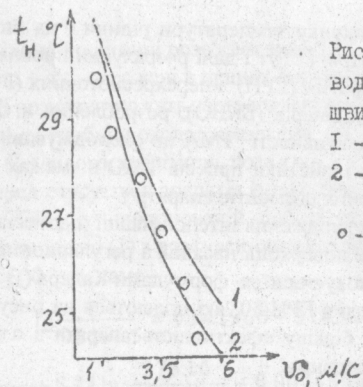


Рис. 1. Залежність температури води t_n на виході з ГРН-8 від швидкості повітря U_0 :
1 - без урахування хвилеутворення,
2 - з урахуванням хвильового характеру течії плівки,
○ - експеримент (Сікорська).

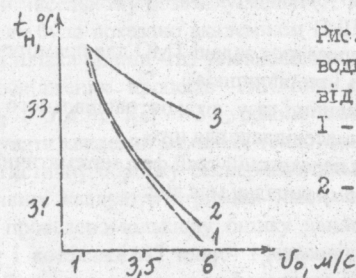


Рис. 2. Залежність температури води t_n на виході з ГРН-50 від швидкості повітря U_0 :
1 - алюмінієва гофрована з НН поверхня,
2 - пластмасова гофрована з НН поверхня,
3 - плоска алюмінієва поверхня.

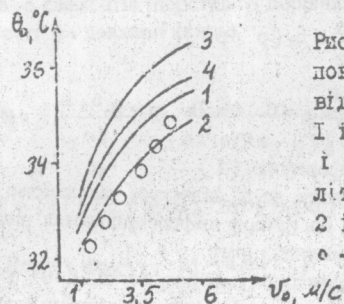


Рис. 3. Залежність температури повітря θ_0 на виході з БКВ-0,5 від його швидкості U_0 :
1 і 3 - відповідно для алюмінієвої і пластмасової поверхонь аналітичний розв'язок задачі,
2 і 4 - чисельний розв'язок,
○ - експеримент (Дорошенко).

1,5-2,3 рази вище за Δp при перехресному тоці, що збігається з дослідженнями Е.М.Сікорської.

Метод сіток використовується також для розрахунку плізкових апаратів непрямого випарувального охолодження, які пізніше знайшли широке застосування в системах кондиціювання повітря. Досліджується математична модель процесів випарувального охолодження повітря в плоскопаралельному насадочному модулі з регенеративною схемою руху фаз. В результаті інтенсивного випаровування і рециркуляції температура шару рідини, яка стікає по вертикальних стінках цільових каналів контактного пристрою, стає значно нижчою за температуру оточення. Первісне охолодження потоку повітря шаром холодної рідини здійснюється в сухому каналі непрямим шляхом через роз'єднуючу їх стінку, а далі потік повітря направляється в зрошувальний канал, де подальше підохолодження відбувається в результаті контактної взаємодії з випарувальним шаром рідини. Математичний опис цих процесів при конденсації повітря подається такою задачею математичної фізики:

$$\begin{aligned} \frac{\partial t}{\partial x} &= a_1 (\theta_B - t) + b_1 (p - p'') + c_1 (\theta - t), \quad p'' = f(t), \\ \frac{\partial \theta_B}{\partial z} &= a_2 (\theta_B - t), \quad \frac{\partial p}{\partial z} = b_2 (p'' - p), \quad \frac{\partial \theta}{\partial z} = c_2 (t - \theta), \\ a_1 &= \frac{\alpha_2}{c_1 Q_1}, \quad b_1 = \frac{r_D \beta_2}{c_1 Q_1}, \quad c_1 = \frac{k}{c_1 Q_1}, \\ a_2 &= \frac{\alpha_2}{c_2 Q_2}, \quad b_2 = 1,61 \frac{r_B \beta_2}{Q_2}, \quad c_2 = \frac{k}{c_2 Q_{\text{сст}}}, \end{aligned}$$

$$\text{при } x=0 \quad t=t_0, \quad \text{при } z=0 \quad \theta=\theta_0, \quad \text{при } z=1 \quad p=p_0, \quad \theta_B=\theta_{B0}.$$

Результати розрахунку температури повітря θ на виході з апарата подаються на рисунку 4.

У 3 главі розглядається питання про нерівномірність зрошування робочих поверхонь насадок і вплив його на ефективність ТМА. Формування деск-фазного газорідного потоку водорозподільним пристроєм здійснюється за допомогою відцентрово-струминних форсунок. Щоб досягти максимальної ефективності роботи насадки необхідно правильно розташувати зрошуючі її поверхню розпилювачі.

При паралельній роботі декількох форсунок взаємна накладка факелів і випадання рідини на стінки апарата на рівні поверхні насадки повинні бути мінімальними. Ці умови відповідають мінімальному значенню коефіцієнта надмірного зрошення $J = S_F / S_A$, де S_F і S_A - відповідно сумарна площа факелів усіх розпилювачів і площа перерізу апарата на рівні зрошувальної поверхні, а їх виконання визначається формою перерізу контактної зони.

Як свідчить аналіз, проведений за значеннями температур рідини на виході з апарата оптимальне зрошення для насадок з прямокутним перерізом (рис.5) досягається при розстановці розпилювачів у вузлах сітки, відстань між якими $a = 2r \cos \varphi$, $b = 2r \sin \varphi$ ($J = 1,57$). При цьому радіус факела і його кореневий кут обчислюються за допомогою співвідношень

$$r_n = d / (2n)^{1/2} \quad (5), \quad \gamma = 2 \arctg (r_n / h),$$

де n - кількість розпилювачів, h - відстань від вершини факела до насадочного шару; для прямокутної насадки d дорівнює середньому арифметичному довжин її сторін.

Порівнюючи довжину прямокутної сітки [Д.Г.Пажи, В.С.Галустов. Основы техники распыливания жидкостей.-Москва: Химия, 1984.-256 с.]

$$d = (n^{1/2} - 1) a + 2(r_n - y) \text{ з формулою (5), одержуємо: } y = r_n (1 - 2^{1/2} / 2),$$

(y - висота сегмента, який відтинає сторона насадки від перерізу факела на рівні поверхні, a - відстань між центрами факелів на цій поверхні). Отже, для оптимального зрошення насадки необхідно, щоб відношення висоти сегмента рідини, яка випадає на стінку, до радіуса факела на поверхні було близько 0,3.

Крім того, виходячи з вимоги рівномірності густини зрошення по периметру каналу, відстань h повинна бути не менша за відстань l_* від вершини факела до зони диспергування суцільного струменя.

Експериментальні дані показали, що факел, який сформувався, характеризується об'ємною густиною крапель $\beta = 5 \cdot 10^{-5} - 8 \cdot 10^{-5}$. Це відповідає розташуванню форсунок на висоті $h = 25 \div 40$ см над насадочним шаром. Виходячи з геометричних міркувань, отримана відповідність між висотою факела до початку диспергування рідини і параметрами форсунки γ і d_c (d_c - діаметр вихідного отвору форсунки) $l_* = d_c \operatorname{ctg} (\gamma / 2) / (2 \beta^{1/2})$.

З урахуванням нерівномірності зрошення шукані функції обчислюються за формулами

$$t_{\text{вих}} = K_1 t_1 + K_2 t_2, \quad \theta_{\text{вих}} = K_1 \theta_1 + K_2 \theta_2, \quad p_{\text{вих}} = K_1 p_1 + K_2 p_2,$$

де $K_1 = 1 - K_2$, $K_2 = r^2 n^{1/2} (n^{1/2} - 1) (\pi - 2) / (1 \cdot \Pi)$ - відповідно коефіцієнти нерівномірності зрошення для одно- ($i=1$) і двохкратно ($i=2$) зрошуючих дільниць поверхні. На вплив різноманітного розташування розпилювачів на ефективність апарата вказує коефіцієнт ефективності $k_F = F_H / F_P$, де F_H і F_P - відповідно ефективності нерівномірного зрошення і рівномірного, коли вся поверхня насадки без накладки факелів змочується рідиною (ці процеси ілюструє рис.6 - ГРН-50). Ефективність апарата обчислюється за формулами:

$$F = Q \eta / \Delta p, \quad \eta = \Delta t / (t_{\text{вх}} - t), \quad Q = G_1 c_1 \Delta t, \quad \Delta p = \xi \rho_2 v_0^2 H / 2 d_{\text{ж}}, \quad d_{\text{ж}} = 2b_0,$$

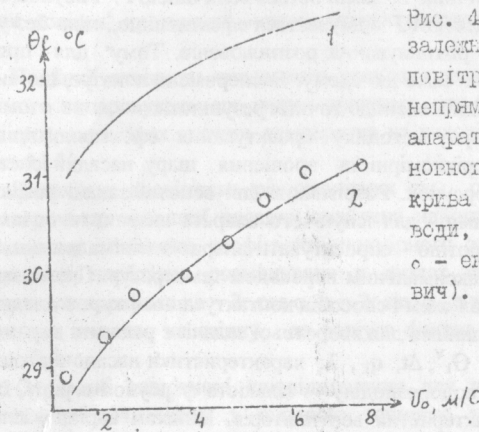


Рис. 4. Крива 1 описує залежність температури повітря θ_2 на виході з непрямо-випаровувального апарата від швидкості основного потоку повітря U_0 , крива 2 - при рециркуляції води, $\circ$ - експеримент (Ярмолович).

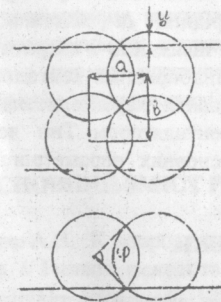


Рис. 5. Найоптимальніше розміщення розпилювачів при прямокутній формі перерізу граничних стінок.

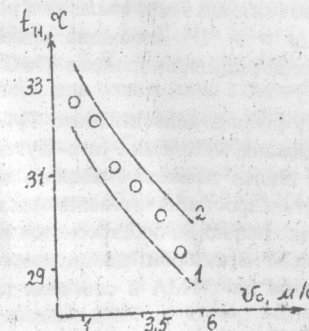


Рис. 6. Залежність температури води t_1 на виході з ГРН-50 від швидкості повітря U_0 : 1 - оптимальне розташування розпилювачів ($k_F = 0,83$), 2 - розташування при відсутності випадання рідини на стінку і взаємної накладки факелів ($k_F = 0,67$), $\circ$ - експеримент (Сікорська), відповідний 2.

ξ обчислюється за формулами Кадера (3), а для перехресноточних апаратів у співвідношенні для Δp величина N замінюється величиною L . Рисунок 6 свідчить, що у випадку 1) процес ТМО відбувається ефективніше, ніж без урахування умов на оптимальне розташування розпилювачів. Тому для проектування апаратів рекомендуємо саме цю схему. Експеримент показує, що чисельний розрахунок дає досить наближені до точних результати.

4 глава містить інженерну методику проектування ефективною плівковою апаратури, яка враховує нерівномірність зрошення шару насадки системою відцентрово-струминних форсунок. Розрізняють дві основні задачі розрахунку контактної пристрою: пряму - для існуючого апарата визначити оптимальні режими його роботи, і зворотню - спроектувати апарат з мінімальними затратами енергії і матеріалу і максимальним перепадом температур. Пряма задача і її розв'язок для різноманітних схем і способів контактування фаз розглядається в главах 1, 2, 3. Вихідними даними для зворотної задачі є режимні параметри - на вході в апарат $t, \theta, p, G_1^V, \Delta t, q_1, \lambda$; характеристики насадочного шару - $p, e, P, E, \delta_w, b_0$; вузол водорозподілу - кількість форсунок в ряду, їх тип, паспортні дані, набір характеристик вентиляторів. Шляхом варіації кількості форсунок, висоти насадки, відстані між листами визначаються розміри насадки, яка забезпечує заданий ступінь охолодження рідини Δt , відстань від розпилювачів до робочої поверхні, кількість листів, швидкість і витрати газу, гідравлічні витрати апарата і його ефективність, підбирається вентилятор. Аналогічно для іншого типу вентилятора можна знайти характеристики контактної пристрою при його компановці з новим вентилятором. Тип вентилятора необхідно змінити, якщо стримані значення основних параметрів непридатні для конструювання апарата.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.

1. Для градирень у випадку малих перепадів температур рідини $\Delta t \leq 4 : 5 ^\circ C$ при розрахунках розподілу температур і парціального тиску по висоті апарата можна застосовувати лінійну теорію і зв'язані з нею аналітичні розв'язки відповідних рівнянь; у випадку, коли $\Delta t > 5 ^\circ C$ необхідно враховувати нелінійну залежність $p = f(t)$ (2) і для дослідження процесів ТМО застосовувати чисельні розв'язки.

2. За допомогою чисельного розв'язку рівнянь конвективного ТМО, який описує процеси випаровувального охолодження, методами Рунге-Кутта і сіток підтверджується вже відома порівняльна оцінка плівкових апаратів проти- і перехресноточного типу, яка перебуває в стані зростання інтенсивності та енерговитрат для протиточних апаратів по відношенню до перехресноточних. Кінцевий вибір схем контактування визначається характером поставлених задач. Перехресні схеми здебільшого застосовуються для ТМА в системах конди-

ювання повітря, протиточні - при дефіциті місцезнаходження, габаритів та ваги.

3. Поданий алгоритм чисельного розв'язку задачі ТМО для кондиціонера непрямого випаровувального типу і програма, яка його реалізує, дають відхилення розрахункових значень температур на виході від експериментальних не більше 41 %.

4. Внаслідок досліджень різноманітних схем розташування розпилювачів над шаром прямокутної насадки знайдена найоптимальніша, яка відповідає мінімальному значенню коефіцієнта надмірного зрошення $J = 1,57$. Тоді розпилювачі необхідно розміщувати у вузлах сітки, відстань між якими визначається виразами: $a = 2r \cos \phi$, $b = 2r \sin \phi$, а відношення висоти сегмента рідини, яка випадає на стінку, до радіуса факела на поверхні повинно бути близько 0,3.

5. Отримані аналітичні співвідношення для коефіцієнтів нерівномірності зрошення, які дозволяють з більшою точністю установлювати значення основних параметрів процесів ТМО.

6. З урахуванням взаємодії з системою зрошення вироблена методика прямого і зворотнього розрахунку контактних пристроїв ТМА: вентиляторних проти- і перехресноточних градирень, а також повітроохолоджувачів прямого і непрямого випаровувального типу для систем кондиціонування повітря.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ ВІДТВОРЕНО У ПУБЛІКАЦІЯХ

1. Витюк А.В. К вопросу о повышении эффективности работы контактных аппаратов // Ринкові важелі та стимули розвитку господарчих систем: Межвуз. збірник - 1997. - Вып.1. - С. 139-140.

2. Витюк А.В. Расчет экологически чистых систем с низкими энергозатратами // Ринкові важелі та стимули розвитку господарчих систем: Межвуз. Сборник - 1997. - Вып.1. - С. 62 - 63.

3. Витюк А.В. Сравнение технико-экономических показателей некоторых устройств для охлаждения жидкости // Ринкові важелі та стимули розвитку господарчих систем: Межвуз. збірник - 1997. - Вып.2. - С. 40-45.

4. Витюк А.В. Оптимальное орошение контактных устройств пленочных аппаратов с помощью форсуночных распылителей. - Киев, 1995. - 8 с. - Деп. в ГНТБ Украины 02.06.95, N 1409-Ук 95.

5. Витюк А.В. Расчет оптимальной расстановки форсуночных распылителей пленочных аппаратов для холодильной техники // Тез. докл. 60-й учебно-методической и научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и студентов Одесской государственной академии холода. - Одесса, 1995. - С. 47.

6. Витюк А.В. Расчет тепломассообмена в плоскопараллельном насадочном модуле косвенно-испарительного аппарата. - Одесса, 1996. - 3 с. - / Информ. листок N 102-96 - ОЦНТИ.

7. Кириллов В.Х., Витюк А.В. Испарительное охлаждение воды в контактном устройстве противоточной вентиляционной градирни. - Киев, 1994. - 9 с. - Деп. в ГНТБ Украины 12.04.94, N 683-Ук94.

8. Кириллов В.Х., Витюк А.В. Испарительное охлаждение пленки жидкости при перекрестном токе фаз и тепломассообмен при косвенном испарительном охлаждении сред. - Киев, 1993. - 7 с. - Деп. в УкрИНТЭИ 25.03.93, N 661-Ук93.

9. Кириллов В.Х., Витюк А.В. Косвенное испарительное охлаждение при прямоточном и противоточном течении фаз. - Киев, 1992. - 9 с. - Деп. в УкрИНТЭИ 17.12.92, N 1997-Ук92.

10. Кириллов В.Х., Витюк А.В. Математическое моделирование гидродинамики и процессов испарительного охлаждения жидкости при противотоке фаз в насадке с гофрированными элементами. - Киев, 1994. - 12 с. - Деп. в ГНТБ Украины 06.04.94, N 627-Ук94.

11. Кириллов В.Х., Витюк А.В. Математическое моделирование гидродинамики и процессов испарительного охлаждения жидкости при перекрестном токе фаз в насадке с гофрированными элементами. - Киев, 1994. - 12 с. - Деп. в ГНТБ Украины 08.07.94, N 1259-Ук94.

12. Кириллов В.Х., Витюк А.В. Математическое моделирование процессов тепломассообмена в пленочных аппаратах косвенного испарительного охлаждения. - Киев, 1993. - 13 с. - Деп. в ГНТБ Украины 18.08.93, N 1769-Ук93.

13. Витюк А.В., Кириллов В.Х. Моделирование процессов тепломассообмена в плоскопараллельной насадке вентиляционной градирни. - Киев, 1993. - 13 с. - Деп. в ГНТБ Украины 11.08.93, N 1700-Ук93.

14. Кириллов В.Х., Витюк А.В. Тепломассообмен испарительного охлаждения жидкости в плоскопараллельной насадке. - Киев, 1993. - 9 с. - Деп. в ГНТБ Украины 26.07.93, N 1607-Ук93.

15. Витюк А.В., Витюк В.Ф., Кириллов В.Х. Применение метода Винера-Хопфа в теории конвективного тепломассообмена. - Киев, 1992. - 17 с. - Деп. в УкрИНТЭИ 17.12.92, N 1996-Ук92.

16. Витюк А.В., Кириллов В.Х., Витюк В.Ф. Сопряженный теплообмен в условиях прямотока двух фаз // Тез. докл. Республиканской научно-методической конференции, посвященной 200 - летию со дня рождения Н.И.Лобачевского. - Одесса, 1992. - С. 47.

17. Кириллов В.Х., Витюк В.Ф., Витюк А.В. Тепломассообмен при пленочном течении жидкости в контакте со спутным потоком газа. - Киев, 1992. - 9 с. - Деп. в УкрИНТЭИ 31.08.92, N 1373-Ук92.

18. Кириллов В.Х., Витюк В.Ф., Витюк А.В. Устойчивость ламинарного течения тонкого слоя вязкой жидкости по вертикальной поверхности в контакте с

турбулентным газовым потоком. - Киев, 1992. - 27 с. - Деп. в УкрИНТЭИ 26.08.92, N 1332-Ук92.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.

x, y, z - осі координат; H, L - висота, довжина і ширина насадки, м; t, θ - температура рідини та газу, $^{\circ}\text{C}$; τ - границя охолодження, $^{\circ}\text{C}$; p - парціальний тиск пари, Па; період виступів РШ, м; e - висота виступів РШ, м; P, E - період та висота гофрування, м; d - діаметр, м; b - відстань між листами, м; δ, h - товщина плівки рідини, м; g - ширина каналу, м; q - фронтальна густина зрошення, $\text{кг}/(\text{м}^2 \text{с})$; ρ - густина, $\text{кг}/\text{м}^3$; c - питома теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг}^{\circ}\text{C})$; u_0, v_0 - середні по витраті швидкості рідини та газу, $\text{м}/\text{с}$; α - коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{C})$; β - коефіцієнт масовіддачі, віднесений до різниці концентрацій парціальних тисків, $\text{с}/\text{м}$; λ - коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$; a - коефіцієнт теплопровідності, $\text{м}^2/\text{с}$; P - барометричний тиск, Па; D - коефіцієнт молекулярної дифузії сумішу водяної пари-повітря, $\text{м}^2/\text{с}$; ν - кінематична в'язкість, $\text{м}^2/\text{с}$; g - теплота пароутворення, $\text{Дж}/\text{кг}$; Re, Nu, Sh - числа Рейнольдса, Нуссельта, Шервуда.

ІНДЕКСИ ТА СКОРОЧЕННЯ

1 - рідина; 2 - газ; п - пара; осн, в - основний і допоміжний потоки; w - стінка; і - на поверхні розділу рідина-газ; т - турбулентний; эк - еквівалентний; эф - ефективний, вых - на виході; ТМО - тепломасообмін; ТМА - тепломасообмінний апарат; РШ - регулярна шорсткість.

АННОТАЦІЯ

Витюк А.В. Тепломассообмен в контактных устройствах пленочных аппаратов для холодильной техники с учетом неравномерности распределения жидкости. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.03- холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования. Одесская государственная академия холода, Одесса 1997.

Защищено 18 научных работ, которые содержат теоретические исследования гидродинамики и тепломассообмена пленочного и струйно-пленочного течения по гладким и гофрированным с регулярной шероховатостью поверхностям в контакте с газовым потоком.

Разработана численная методика решения нелинейных задач теплового расчета насадочного слоя вентиляционных градирен и воздухоохладителей, а

также принципы оптимального распределения системы центробежно-струйных форсунок орошающего устройства при различных схемах контактирования фаз. С учетом неравномерности орошений создана инженерная методика проектирования эффективной пленочной аппаратуры прямого и косвенного испарительного охлаждения.

Ключевые слова: гофрированные с регулярной шероховатостью поверхности, вентиляторные градирни и воздухоохладители, насадочный слой, система центробежно-струйных форсунок, орошающее устройство.

SUMMARY

Vityuk A.V. Heat and mass transfer in the contact devices of film apparatus for refrigerating machines allowing for irregular irrigation of liquid. Submit one's thesis for Candidate degree of Technical Sciences by specialty of 05.04.03-refrigerating and cryogenic engineering, systems of condition. The Odessa State Academy of Refrigeration, Odessa 1997.

18 scientific papers are presented for consideration which contain the theoretic research of hydrodynamics, heat and mass transfer of films and stream films of liquid's flow on smooth and regular rough corrugation surface in the contact with airstream.

Designed are the numeric method of nonlinear problems solution of fan tower packing layer and air coolers, and optimal distribution principle of centrifugal-spray injectors of irrigation apparatus with different phase contacts scheme. Allowing for irregular irrigation the engineering procedure of effective film apparatus for direct and indirect evaporation cooling have been created.

Key words: regular rough corrugation surface, fan towers and air coolers, packing layer, centrifugal spray injectors, irrigation apparatus.

A. V. Vityuk

Підписано до друку 5.05.97 р.
Замовлення 304, формат паперу 60*84,
1/16, обсяг - 1 др. арк.
Тир. - 100 примірників
Одеська державна академія холоду

xv 946

ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА