

Автореферат
Ш 89

ОДЕСЬКИЙ ІНСТИТУТ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕХНІКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

На правах рукопису

ШТЕЛМАХ Олег Миколайович

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВПРІСКУЮЧИХ ОХОЛОДНИКІВ ДЛЯ АМІАЧНИХ
ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

Спеціальність: 05.04.03 - Машини і апарати холодної
та криогенної техніки і систем
кондиціонування.

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

xv 1053

ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
Бібліотека

аш

Одеса - 1994

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Одеському Інституті низькотемпературної техніки та енергетики.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук,
доцент ЖИВИЦЯ В.І.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук,
професор СМІРНОВ Г.Ф.,
кандидат технічних наук,
старший науковий спів-
робітник ОЛІНИЧЕНКО В.І.

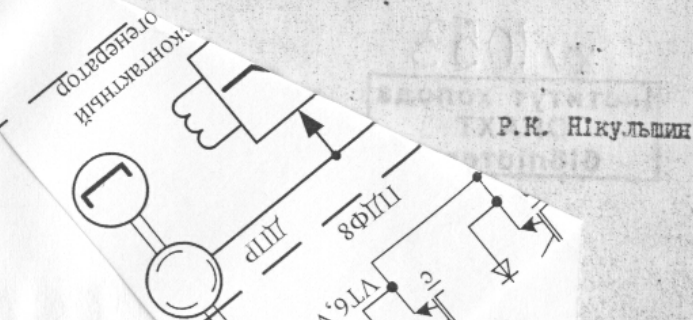
Провідна організація:

АНВО "ОДЕСХЛОД"

Захист дисертації відбудеться "26" "05" 1994 р.
о 11 годині на засіданні спеціалізованої Ради К.063.27.01.
Одеського Інституту низькотемпературної техніки та енергетики
за адресою: 270100, м.Одеса, вул. Петра Великого, 1/3, ОІНТЕ.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеського Ін-
ституту низькотемпературної техніки та енергетики

розіслано "24" "04" 1994 р.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ам'ячні парокомпресійні холодильні машини та установки з поршневими та гвинтовими маслозаповненими компресорами (ГМК) знаходять широке вживання в багатьох галузях народного господарства.

Задовільна робота ГМК забезпечується системою охолодження масла, яка відводить в навколишнє середовище від 20 до 70 відсотків тепла стиснення. Вибір системи та засобу відводу тепла від масла у багатьому визначає як масо-габаритні характеристики і вартість цих машин, так і техніко-економічні показники при їх експлуатації.

Увага до альтернативних водяній системі охолодження масла зумовлена необхідністю вирішення екологічних та енергетичних проблем, значним збільшенням вартості води.

Використання вприскувачів теплообмінників з безпосереднім контактом серед для охолодження паромасляних потоків в холодильних установках (міжступеньового охолодження у двоступеньових установках, охолодження масла у ГМК) дозволяє у значній мірі інтенсифікувати теплообмін, знизити габарити, металоміскість та вартість теплообмінного апарату.

Знання закономірностей тепло та масообмінних процесів під час випарного охолодження паромасляних сумішей у вприскувачних контактних охолоджувачах та умов виникнення при цьому ефекту теплової компресії дає можливість визначити характеристики цих апаратів та область їх використання в холодильних установках.

Метою роботи є підвищення ефективності вприскувачних контактних охолоджувачів потоків паромасляних сумішей для ам'ячних холодильних установок та забезпечення роботи установок з ГМК в умовах з недостатньою або при повній відсутності охолоджуючої води.

Для цього необхідно було вирішити завдання:

1) розробити модель багатоцільового охолоджувача паромасляних потоків для ам'ячних холодильних установок з поршневими та гвинтовими компресорами.

2) провести експериментальні дослідження охолоджувача масла для ам'ячного бустерного гвинтового компресора.

3) встановити адекватність існуючих експериментальних даних по роботі вприскувачних охолоджувачів для ам'ячних холодильних установок даним, здобутим у результаті розрахунків за допомогою запропонованої математичної моделі.

4) провести порівняльний техніко-економічний аналіз систем охолодження масла водою і вприснутим у нагнітальний трубопровід компресора аміаком.

5) розробити рекомендації що до застосування вприскуючих охолоджувачів для аміачних холодильних установок.

Наукова новизна роботи визначається тим, що в ній розроблена методика визначення характеристик необхідних при проектуванні вприскуючих контактних охолоджувачів аміачних парових потоків з різним змістом масла, і охолоджувачів масла до ГМК.

Наукові положення, які захищаються у роботі:

1. Вприскуючі контактні охолоджувачі, в яких використовується термогазодинамічний ефект, доцільно застосовувати у аміачних холодильних установках для охолодження потоків паромасляних сумішей.

2. Розроблена одномірна стаціонарна математична модель багатотілових охолоджувачів паромасляних потоків дозволяє з прийнятою для практичних розрахунків точністю встановити їх конструктивні та експлуатаційні характеристики.

Основні наукові результати які виносяться на захист.

1. Нова математична модель багатотілових охолоджувачів паромасляних потоків для аміачних холодильних установок та результати моделювання процесів у них.

2. Результати експериментальних досліджень вприскуючого охолоджувача масла до бустерного ГМК аміачної двухступеньової установи.

3. Рекомендації до проектування та вживання вприскуючих охолоджувачів для аміачних холодильних установок.

Практична цінність роботи визначається тим, що підвищена ефективність процесів охолодження масла та знижена металомісткість холодильної установки;

- забезпечена робота ГМК в умовах нестачі чи відсутності охолоджуючої води, наприклад, у складі холодильних установок з повітряними або евапоративними конденсаторами;

- розроблені обґрунтовані рекомендації до проектування цих апаратів для цілей:

1. міжступеньового охолодження потоків, в двухступеневих холодильних установках;

2. охолодження паромасляних потоків після холодильних ГМК.

Апробація роботи. Головні положення та результати роботи доповідались та обговорювались на Всесоюзній науково-технічній кон-

ференції "Розробка компресорних машин та установок забезпечуючих інтенсивний розвиток галузей паливно-енергетичного комплексу" (м. Суми, 1989), Всесоюзній науково-практичній конференції "Шляхи, інтенсифікації виробництва з використанням штучного холоду в галузях АПК, торгівлі та на транспорті" (м. Одеса, 1989 р.), Всесоюзній науково-технічній конференції "Холод - народному господарству" (м. Санкт Петербург, 1991 р.), Засіданнях комісії ВЗ, СЗ, ВЗ Міжнародного Інституту холоду (м. Дрезден, НДР, 1990), XVIII Міжнародному конгресі по холоду (м. Монреаль, Канада, 1991), науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ОІНТЕ (1990-1992).

Публікації. Головний зміст дисертації опубліковано у восьми друкованих роботах.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, висновків, та додатків. В роботі 112 сторінок основного тексту, 32 рисунка, 4 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульована мета дослідження, викладені наукова новизна та практичне значення роботи.

В першому розділі розглянуто процеси у вприскуючих контактних охолоджувачах - групи теплообмінних апаратів широко використовуваних у різних галузях техніки. Апарати які досліджувались у роботах Шапіро, Вадлей, Гавріла, Ерофєєва, Шаманова були названі аеротермопресорами тому, що при відповідній організації у них процесів випарного контактного охолодження з'являється ефект теплової компресії і апарати можуть мати нульовий чи навіть негативний гідродинамічний опір. Експериментальне дослідження цих апаратів для охолодження пару перед паровими турбінами виконані Форостовим і Ютасвим.

Вперше можливість виникнення ефекта теплової компресії була показана Вулісом, як один з висновків із запропонованого ним закону обороту впливів.

Проведений аналіз показав, що термогазодинамічний ефект може бути реалізований при випарному охолодженні потоків у аміачних холодильних установках.

Роботи Живіци В. І. та Богача О. М. присвячені дослідженням

виприскувач охолоджувачів-термопресорів для цілей міжступеньового охолодження пару у аміачних холодильних установках. Рекомендації до проєктування цих апаратів, запропоновані ними, були недостатньо обґрунтовані. Відсутність у явному вигляді заліку процесів гідродинаміки та тепло-масообміну між випаровувачими крайніми і охолоджуваним потоком; трактовка потоку охолоджуваного аміачного пару як потоку ідеального газу у запропонованій моделі апарату не дозволяють простежити динаміку процесів у ньому, обґрунтувати потрібні геометричні характеристики охолоджувача.

Дослідження систем охолодження масла у ГМК холодильним агентом присвячені роботи Широкова, Косенкова, Ліндборга, Моніки, Сжимашека, Роміна. Системи різняться місцем і засобом подачі холодильного агента у ГМК (зовнішній маслоохолоджувач, камера стиснення, вихлопний трубопровід, маслосепаратор). Серед систем без зовнішнього охолоджувача найбільш теоретично і практично досліджені системи з подачею холодильного агента у камеру стиснення (так як така система найлегше реалізується), хоча проведення Ліндборгом та Сжимашеком техніко-економічний аналіз показав, що системи охолодження масла холодильним агентом виприскуємим у нагнітальний трубопровід ГМК повинні мати найкращі показники серед розглянутих систем. В літературі, однак, відсутні як методи їх проєктування, так і рекомендації по використанню.

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ У ВИПРИСКУЮЧИХ ОХОЛОДЖУВАЧАХ ДЛЯ АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

Принципова схема виприскувача охолоджувача - термопресора, контрольного об'єму у його каналі і розподіл параметрів вздовж каналу апарату наведені на мал. 1. Апарат складатиметься з сопла - 1 у якому потік підвищує свою швидкість і отримує запас кінетичної енергії; системи виприску (сопла) - 2, з допомогою якої у потік надходить рідина аміак, секції випаровування - 3, де більша частина рідини випаровується, а потік інтенсивно охолоджується та дифузора - 4 у якому зменшується швидкість потоку.

Записавши для контрольного об'єму рівняння збереження енергії

$$G d h = d(G h_v) + d(G h_l) + d(G h_m) + d(G v^2/2) + d(G u^2/2) + d(G w^2/2) \quad (1)$$

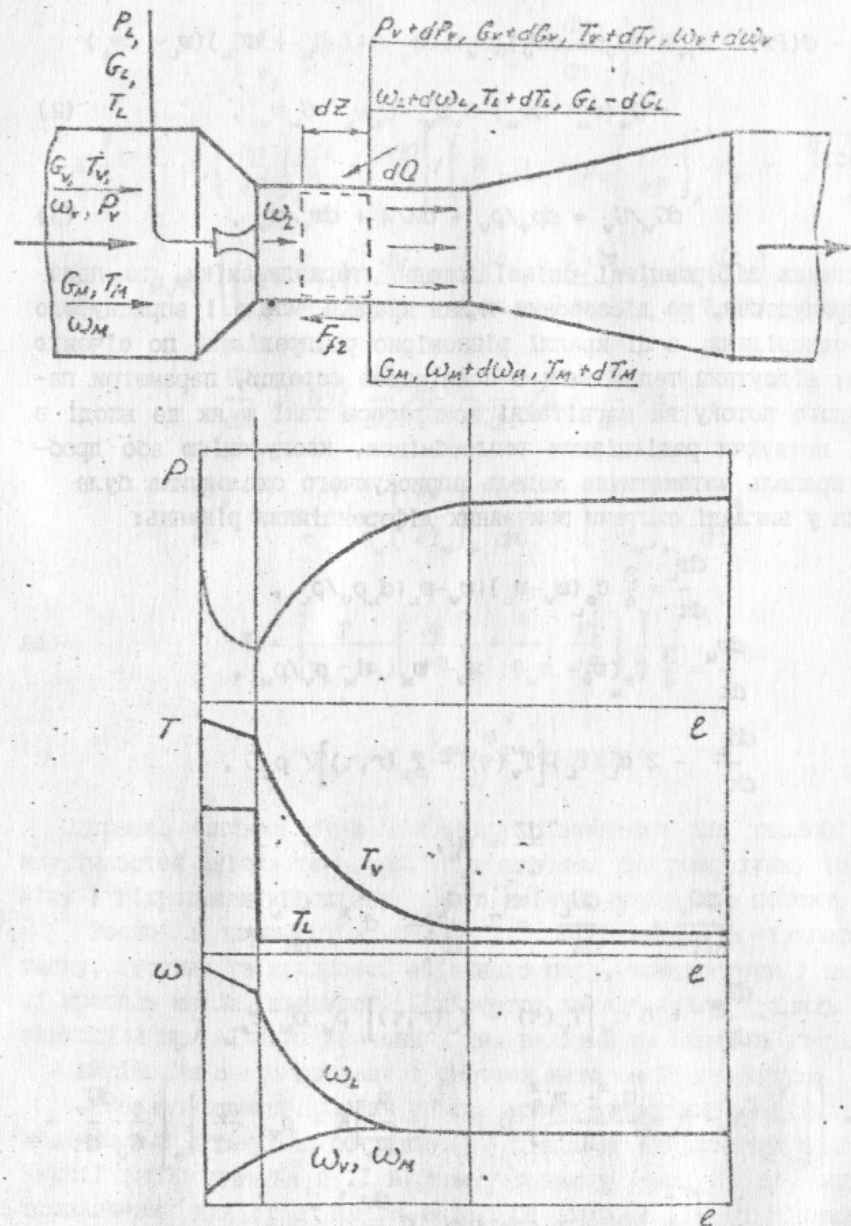


Рис. 1 Принципова схема виприскувача охолоджувача - термопресора, контрольний об'єм у його каналі та розподіл робочих параметрів вздовж нього.

кількості руху

$$P dA - d(PA) - F_{ir} = (G_v + dG_v)(w_v + dw_v) + (G_L + dG_L)(w_L - dw_L) + G_m(w_m + dw_m) - G_v w_v - G_L w_L - G_m w_m, \quad (2)$$

сплошності

$$dG_v/G_v = d\rho_v/\rho_v + dA/A + dw_v/w_v, \quad (3)$$

використавши диференціальні співвідношення термодинаміки, та прийнявши припущення, що дисперсний склад крапель масла і вприснутого змішу однорідний, а ці краплі рівномірно розподілені по січченню апарата; відсутний теплообмін з зовнішньою середою, параметри паромасляного потоку на нагнітанні компресора такі ж як на вході в апарат, нехтуючи радіаційним теплообміном, коагуляцією або дробленням крапель математична модель вприскувачного охолоджувача була записана у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь:

$$\frac{dw_L}{d\tau} = \frac{3}{4} c_p (w_v - w_L) |w_v - w_L| d_L \rho_v / \rho_L,$$

$$\frac{dw_m}{d\tau} = \frac{3}{4} c_p (w_v - w_m) |w_v - w_m| d_m \rho_v / \rho_m,$$

$$\frac{dT_L}{d\tau} = 2 \alpha_L (T_L) [T_v(\tau) - T_L(r, \tau)] / \rho_L L,$$

$$\frac{dz}{d\tau} = w_L,$$

$$\frac{dG_v}{d\tau} = - \frac{dG_L}{d\tau} = 3 \frac{G_{L,n}}{d_{L,n}^3} d_L^2 \frac{dw_L}{d\tau},$$

$$\frac{dT_m}{d\tau} = 3 \alpha_m [T_v(\tau) - T_m(r, \tau)] \rho_m d_m c_{p_m},$$

$$\frac{dw_v}{d\tau} = \left\{ \left[\frac{1}{c_p} \left[h_v - h_L + \frac{w_v^2 - w_L^2}{2} \right] - \rho_v w_v^2 \left[1 + \frac{w_L}{w_v} \right] K + \rho_v \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \right] \frac{1}{G_v} \frac{dG_v}{d\tau} + \right.$$

$$\left. \left[\frac{1}{c_p} \left[h_L + w_L \right] - \rho_v w_v K \frac{dw_L}{d\tau} \right] \frac{G_L}{G_v} + \right.$$

$$\left[\frac{1}{c_p} \left[h_m + w_m \right] - \rho_v w_v K \frac{dw_m}{d\tau} \right] \frac{G_m}{G_v} -$$

$$- K \frac{F_{ir}}{d\tau A} - \rho_v \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \frac{dA}{A} - \frac{dG}{c_p} \left\{ K \rho_v w_v + \rho_v \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p w_v + \frac{w_v}{c_p} \right\},$$

$$\frac{dP}{d\tau} = -\rho_v w_v^2 \left\{ \left(1 + \frac{w_L}{w_v} \right) \frac{dG_v}{G_v d\tau} + \frac{dw_v}{w_v d\tau} + \frac{G_L dw_L}{G_v w_v d\tau} + \frac{G_m dw_m}{G_v w_v d\tau} \right\} - \frac{F_{ir}}{A d\tau},$$

$$\frac{d\rho_v}{d\tau} = \rho_v \left\{ \frac{dG_v}{d\tau} / G_v - \frac{dA}{d\tau} / A - \frac{dw_v}{d\tau} / w_v \right\},$$

$$\frac{dT_v}{d\tau} = \frac{T_v}{c_p - c_v} \left(\frac{\partial \rho_v}{\partial T_v} \right)_p \frac{dP_v}{d\tau} + \left(\frac{\partial \rho_v}{\partial T_v} \right)_p \frac{d\rho_v}{d\tau}.$$

де

$$K = \left[\frac{T}{c_p - c_v} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p + \frac{1}{c_p} \left(\frac{\partial h}{\partial P} \right)_T \right]$$

$$F_{ir} = \zeta_{cm} \frac{\rho_{cm} w_{cm}}{2} \pi D dz,$$

Одержана система була доповнена рівняннями для теплофізичних властивостей аміака та масла, залежностями для розрахунку теплообміну і гідродинаміки охолоджуемого аміачно-масляного потоку.

Розподіл параметрів потоку у каналі апарату: температури, тиску, густини та швидкості аміачного пару, температури і швидкості крапель масла, швидкості і діаметру випаровуваних крапель аміака знаходили при відомих значеннях цих величин на вході в апарат шляхом вирішення запропонованої системи методом Рунге-Кутти.

Результати моделювання за допомогою запропонованої математичної моделі дозволили обґрунтувати діапазон швидкостей (рис. 2) у секції випаровування і її відносну довжину (рис. 3) для апаратів, призначених для охолодження аміачних потоків між ступеннями стиснення двухступеньових аміачних холодильних установок.

ліни (яка спостерігалась у оглядовому склі, встановленому на маслосепараторі). Це призводило до зниження рівня масла у маслосепараторі, а пізніше, і до зриву роботи маслососа. Було відмічено, що при таких умовах роботи витрати масла на винос з компресора зростають.

Отримати підвищення тиску в апараті, як результат дії термогазодинамічного ефекту в ході експериментальних досліджень не вдавалось.

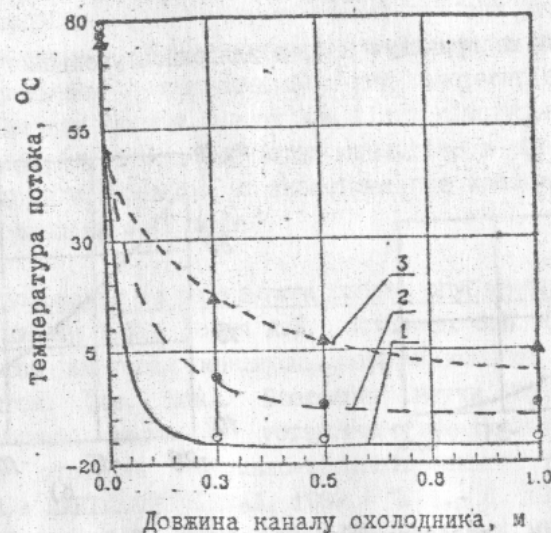
Порівняння результатів теоретичних розрахунків і даних, які були отримані в результаті експериментальних досліджень показують, що запропонована математична модель задовільно описує процеси охолодження паромасляних потоків у прийнятому для аміачних холодильних установок діапазоні температур випаровування та конденсації (рис. 4).

В четвертому розділі подані рекомендації до проєктування випускних охолоджувачів різних призначень для аміачних холодильних установок. Діаметр секції випару випускних охолоджувачів повинен вибиратися із умови забезпечення швидкості паромасляних сумішей у ній із діапазона від 300 до 400 м/с (для цілей міжступеньового охолодження) і від 50 до 100 м/с (для цілей охолодження паромасляних сумішей після ГМК). Довжину секції випаровування необхідно приймати із умови повного випару випускаемого аміаку, але не менш ніж 10-ти її діаметрів. Для подачі та розпилу рідкого аміаку необхідно використовувати сопла Лавалю з кутом розширення до 7° , які працюють на різниці тиску конденсації і тиску в секції випару охолоджувача.

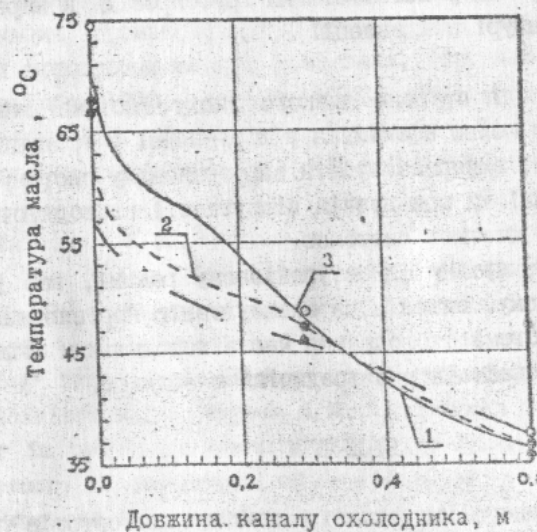
Проточна частина випускного охолоджувача для цілей міжступеньового охолодження повинна включати конфузори з кутом зуження 45° , циліндричну секцію випару і дифузори з кутом розкриття $10 - 12^\circ$. Проточна частина охолоджувача масла після ГМК може не включати конфузори та дифузори.

Як регулятор витрат рідкого аміаку, випускаемого у апарат необхідно використовувати терморегулюючі гвентилі (для міжступеньового охолодження) и випускні гвентилі для апаратів для охолодження масла у ГМК.

Проведений порівняльний техніко-економічний аналіз систем охолодження масла водою і випускним в нагнітальний трубопровід компресора аміаком показав, що для бустерного ГМК відносно знижен-



а)



б)

Рис. 4 Розподіл температур потоку вздовж каналу термодвигуна (а) і температури масла вздовж каналу охолодження масла бустерного ГМК (б), отримані розрахунковим і експериментальним шляхом для робочих температур кипіння 1, $\circ$ - -50°C , 2, $\bullet$ - -40°C , 3, $\blacktriangle$ - -30°C .

xv 1053

ІНСТИТУТ холода
ОНАХТ
бібліотека

ня холодовидатності не привисує 9 %, а для одноступеньового ГМК - 20 % (рис. 5).

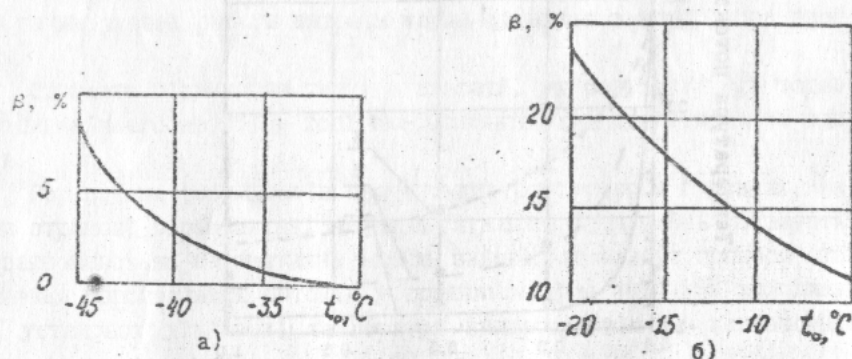


Рис. 5 Зниження холодовидатності (β) бустерного ГМК (а) і одноступеньового ГМК (б) при охолодженні масла аміаком, вприскуємим у нагнітальний трубопровід компресора при температурі конденсації 30°C.

Для ГМК у складі ступеню низького тиску система охолодження холодильним агентом менш ефективна у порівнянні з традиційною водяною. Тому доцільно використовувати запроповану систему при нестачі, поганому стані чи при повній відсутності охолоджуючої води, або у комбінації зі штатною системою.

Для ГМК який працює у одноступеньовому режимі, або у складі ступеню високого тиску, витрати на експлуатацію порівнюємих систем стають схожими і система охолодження масла холодильним агентом може бути конкурентноспроможною з традиційною водяною.

ВИСНОВКИ

1. У разі випарного контактного охолодження потоків паромасляних сумішей після аміачних холодильних компресорів доцільно використовувати термогазодинамічний ефект.
2. Випарне контактне охолодження паромасляних потоків у вприскуємих теплообмінниках дозволяє знизити габарити охолоджувачів у порівнянні з традиційними і експлуатувати ГМК при нестачі, або при повній відсутності охолоджуючої води.
3. Запропонована математична модель багатопільового вприскую-

чого охолоджувача потоків паромасляних сумішей дозволяє задовільно описувати процеси підчас контактного випарного охолодження потоків після поршневих і гвинтових аміачних компресорів.

4. Запропонований апарат для цілей міжступеньового охолодження має найкращі показники серед аналогів, а охолодники масла для ГМК конкурентноспроможні з аналогами при нестачі або повній відсутності охолоджуючої води.

Основні положення та результати роботи опубліковано в роботах:

1. Живица В.И., Богач А.Н., Штельмах О.Н. Охлаждение масла в холодильном винтовом маслезаполненном компрессоре впрыскиваемым хладагентом. Тез. докл. Всесоюзн. научн.-техн. конф. "Создание компрессорных машин и установок обеспечивающих интенсивное развитие отраслей топливно-энергетического комплекса", Сумы, 1989. - М.: ЦНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1989. - Ч. 1. - С. 124.

2. Живица В.И., Богач А.Н., Штельмах О.Н. Исследование работы винтового компрессорного агрегата с охлаждением масла хладагентом Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции. "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговле и на транспорте" Одесса, сентябрь 1989. - Одесса: ОТИХП, 1989. - с. 43.

3. Живица В.И., Богач А.Н., Штельмах О.Н. Проблемы охлаждения масла в винтовых компрессорах //Холодильная техника, -1990. -№1. -с.29-31.

4. Zhivitsa V.I., Bogach A.N., Shtelmakh O.N. Oil cooling processes by using injection of liquid ammonia in screw compressor. Proceedengs of meeting of commission B2,C2,D1, D2/B3, "Progress in the science and technology of refrigeration in food engineering" Dresden, 24-28 Sept. 1990. - Paris, 1990. - P. 89-91.

5. Zhivitsa V.I., Bogach A.N., Shtelmakh O.N. Desuperheating of vapour in two-stage ammonia refri geration plant by using the thermopressor. Proceedengs of meeting of commission B2,C2,D1, D2/B3, "Progress in the science and technology of refrigeration in food engineering". Dresden, 24-28 Sept. 1990. - Paris, 1990. -P.147-151.

6. Живица В.И., Онищенко В.П., Штельмах О.Н. Математическое моделирование впрыскиваемых охладителей для аммиачных холодильных установок. Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции "Холод - народному хозяйству", Ленинград /Л.:ЛТИХП,

-1991. - С. 133.

7. Jivitsa V.I., Bogach A.N., Shtelmakh O.N. Application of the vapour cooler in ammonia refrigeration plant. Proceedings XVIII International Congress of Refrigeration, Montreal, 10-17 Aug. 1991. - Montreal, 1991.-vol.III, P. 1099-1102.

8. Живица В.И., Богач А.Н., Штельмах О.Н. Холодильная установка. Авторское свидетельство СССР № 1815535 от 11 октября 1992 г.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

A - площа, m^2 ; c_p - питома ізобарна теплоємність, $kJ/kg\ K$; c_v - питома ізохорна теплоємність, $kJ/kg\ K$; c_D - коефіцієнт опору краплі; D - діаметр каналу, m ; d - діаметр краплі, m ; F_{fr} - сила тертя о стінки каналу, N ; G - масова витрата, kg/s ; h - ентальпія, kJ/kg ; Q - тепло, підведене через стінки апарата, $Dж$; L - тепло фазового переходу, kJ/kg ; P - тиск, Pa ; T - температура, K ; w - швидкість, m/s ; Z - координата, m ; α - коефіцієнт теплопровідності, $Вт/м^2\ K$; $W = 1 - (d/d_{in})^3$ - ступень випару крапель аміаку; $\pi = P/P_{in}$ - відносне підвищення тиску, число π ; ρ - густина, kg/m^3 ; τ - час, s ; ζ - коефіцієнт опору; Z - координата, m .

ПІДСТРОЧНІ ІНДЕКСИ

in - умови на вході в охолодник; r - рідкий стан; m - масло;
 v - паровий стан; sm - суміш.



Підписано по друку 16.03.1994 р. Обсяг I друк. арк.

Формат 60x84 1/16. Зам. 48. Тираж 100.

Друкерня УДАЗ ім. О.С.Попова. Одеса, Старопортофранківська, 61