

170 тореф
ср 33

у

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

ФЕДОРОВ ОЛЕКСАНДР ГРИГОРОВИЧ

УДК 536.248.2: 532.529.5

АЛЬТЕРНАТИВНІ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ З
ВИКОРИСТАННЯМ ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ

дс/у

Спеціальність

05.05.14 – «Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціонування»

Автореферат

дисертації на здобуття вченого ступеня

кандидата технічних наук

Дисертація є рукопис

Робота виконана в Одеській державній академії холоду Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор, проектор з наукової роботи Одеської державної академії холоду МОН України Лагутін Анатолій Юхимович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, Кирилов Володимир Харитонович, завідувач кафедри інформаційних технологій Одеського національного морського університету МОН України;

доктор технічних наук, професор, Ткаченко Станіслав Йосипович, завідувач кафедри промислової теплоенергетики Вінницького політехнічного університету МОН України;

Захист дисертації відбудеться «16» березня 2009 року о 14⁰⁰ годині у ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.41.087.01 у Одеській державній академії холоду за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна.

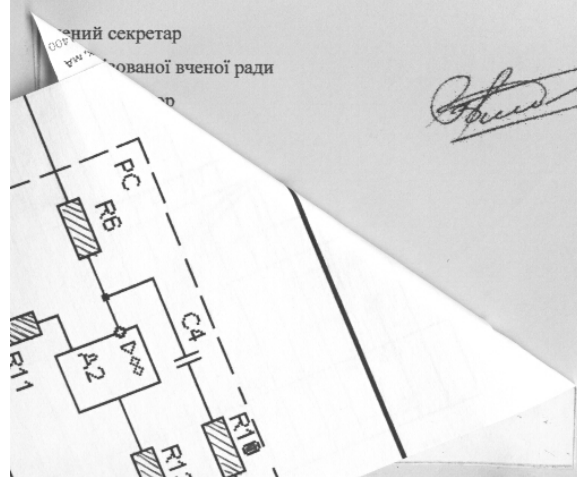
З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ОДАХ за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна.

Автореферат розісланий «6» лютого 2009 року

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Мілованов В.І.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Взаємозв'язані проблеми енергетики і екології, що посилюються, висувають нові вимоги до холодильних систем і систем комфортного і технологічного кондиціонування повітря, в першу чергу, зниження енерговитрат і антропогенної дії на місце існування. До перспективного і довгострокового рішення в цьому напрямі відноситься створення альтернативних систем на основі методів випарного охолодження середовищ. Практичне використання випарних методів вимагає вирішення принципових питань: розширення кліматичної області використання самих методів, підвищення компактності і зниження енергоспоживання. Найбільш перспективне включення випарних охолоджувачів до складу випарно-парокомпресійних систем (двоступінчасті охолоджувачі з використанням випарного охолоджувача в першому рівні і парокомпресійного в другому), що дозволяє зняти кліматичні обмеження використання випарних методів, усунути необхідність підживлення свіжою водою і істотно поліпшити енергетичні та екологічні показники альтернативних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до законодавчих актів: Постанови Верховної Ради України №75/94-ВР від 1.07.94р. що затвердила "Закон України про енергозбереження", Постанови Кабінету Міністрів України №148 від 5.02.97 р. "Про комплексну державну програму енергозбереження України, Постанови Кабінету Міністрів України №583 від 14.04.99 р. "Про Міжвідомчу комісію із забезпечення виконання Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату", Галузевої науково-технічної програми сталого розвитку побутової техніки в Україні на 2006-2011 роки (наказ Мінпромполітики України від 03.03.2006р. № 85).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення холодильних і кондиціонуючих систем на основі використання у них методів випарного охолодження середовищ. Для її досягнення необхідні: розробка схемних рішень і вдосконалення апаратів випарного охолодження, для використання як в автономному вигляді, так і у складі випарно-парокомпресійних систем; створення уніфікованої тепломасообмінної апаратури (випарного охолоджувача прямого і непрямого типів), що забезпечує мінімізацію енерговитрат на рух теплоносіїв; моделювання робочих процесів з урахуванням особливостей плівкових течій в ТМА; проведення експериментального дослідження випарних охолоджувачів і комбінованих випарно-парокомпресійних систем і одержання залежностей і рекомендацій, що забезпечують їх розрахунок і конструювання; розробка схемних рішень на основі спільної роботи випарного і парокомпресійного охолоджувачів, що забезпечують раціональне поєднання природних і штучних методів охолодження; зниження витрати води на підживлення випарного контуру НВО; екологічне обґрунтування нових рішень.

XV 1279
ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ
БІБЛІОТЕКА

Об'єктом дослідження є альтернативні системи охолодження і кондиціонування повітря. **Предметом** дослідження є процеси в альтернативних системах. **Методи дослідження:** теоретичне вивчення, експериментальне дослідження на натурних зразках тепломасообмінних апаратів.

Наукова новизна роботи визначається наступними результатами:

- Виконано моделювання процесів спільного тепломасопереносу при випарному охолодженні з урахуванням термічних опорів фаз, особливостей течії і стійкості рідинної плівки.

- Теоретично і експериментально встановлений вплив регулярної шорсткості поверхні РШ на інтенсифікацію процесів, стосовно особливостей плівкових течій по поверхнях із полімерних матеріалів (тип РШ «западина»); знайдені оптимальні значення параметра шорсткості $k = p/e = 10-30$; оптимальне співвідношення потоків в НВО складає $l = G_o / G_v = 0,6$, а діапазон оптимальних значень $d_{з,опт} = 20-25$ мм.

- Показано, що об'єднання НВО і ХМ в єдину систему дозволяє знизити витрату води на підживлення у НВО; при відносній вологості понад 35-45% втрати на випар можуть бути компенсовані повністю.

- Результати зіставлення випарно-парокомпресійного кондиціонера (у першому рівні НВО і у другий даховий кондиціонер СААЕ/САЕН - 31) з парокомпресійним кондиціонером (СААЕ/САЕН - 51), показали, що комбінована схема дозволяє істотно понизити встановлену потужність компресора (на 30-35 %) і забезпечує зниження температури конденсації.

- Виконаний екологічний аналіз альтернативних рішень з використанням методології і бази даних «Повний життєвий цикл» (міжнародні стандарти ISO (14040, 14041, 14042 і 14043, база даних програми «SimaPro-6»); показано, що АСКП на основі НВО/ХМ призводить до меншого виснаження природних ресурсів (у тому числі енергоресурсів), чим традиційна СКП, вона вносить менший вклад до глобальної зміни клімату; загальна екологічна дія для альтернативної системи складає всього 65% від цієї ж дії для традиційної системи.

Достовірність наукових положень і результатів підтверджуються результатами експериментально-розрахункових досліджень і добрим якісним і кількісним узгодженням отриманих результатів з існуючими даними.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці практичних рекомендацій за розрахунком і конструюванням альтернативних ВКВ. Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в улюбому процесі на кафедрі технічної термодинаміки ОДАХ в курсі лекцій і практичних занять з нетрадиційної енергетики у 2006 - 2008 роках.

Особистий внесок здобувача. Особисто здобувачем розроблені принципи побудови альтернативних систем, схемні рішення альтернативних систем і апаратів для них, створено експериме-

нтальне устаткування; проведений цикл експериментально-розрахункових досліджень; виконаний аналіз і узагальнення отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації проводилася на 4-ій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», м. Одеса, 21-23 вересня 2005 г.; II міжнародній науково-практичній конференції «Харчові технології», Одеса, 2006 г.; II Всеукраїнському науково-технічному семінарі: «Удосконалення конструкції та підвищення теплоенергетичної ефективності малих холодильних машин», м. Донецьк, 2006 р.; VI науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», м. Одеса, 2007р..

Публікації. Основні наукові і прикладні результати автора представлені в 3 статтях у наукових журналах і збірниках наукових праць, з них: 2 друковані роботи в науково-технічних журналах, отримано один патент України на створену розробку і 1 повний текст доповіді на міжнародних і науково-практичних конференціях,

Об'єм і структура дисертації. Дисертація викладена на 237 сторінках машинописного тексту, включаючи 159 сторінок основного тексту, 68 рисунків, 10 таблиць і складається зі вступу, чотирьох основних розділів, списку літератури з 147 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі (першому розділі) відбита актуальність проблеми, стан досліджень в світі у даній області, сформульовані цілі і завдання дослідження, наукова новизна, основні результати роботи і визначена її практична цінність.

Другий розділ присвячений розробці схемних рішень охолоджувачів і тепломасообмінних апаратів для них. Випарне охолодження ефективне в умовах сухого і жаркого клімату (вологість зовнішнього повітря $x_f < 12-14$ г/кг). Перспективне включення випарних охолоджувачів до складу випарно - парокомпресійних систем (ПВО/ХМ і НВО/ХМ), що дозволяє зняти кліматичні обмеження застосовності випарних методів і істотно поліпшити енергетичні і екологічні показники альтернативних систем в цілому (мал. 1-5). Як перший рівень випарно-парокомпресійного охолоджувача використовується випарний охолоджувач прямого (ПВО), або непрямого типу НВО. Принцип дії НВО полягає в тому, що повний повітряний потік, що надходить до охолоджувача (рис. 2А, 3Б), розподіляється на два потоки, основний і допоміжний, перший з яких охолоджується безконтактно, тобто при незмінному вологовмісті, а другий знаходиться у безпосередньому контакті з водяною плівкою і забезпечує її випарне охолодження, а вона відводить тепло від основного повітряного потоку.

На підставі багатолітнього досвіду, накопиченого в ОДАХ вибраний, як універсальне рішення для випарних охолоджувачів ПВО і НВО, плівковий тип апарату, що забезпечує роздільний рух потоків газу і рідини при малому аеродинамічному опорі, і поперечноточна схема контакту

потоків газу і рідини, як найбільш прийнятна у разі потреби спільної компоновки чисельних апаратів в єдиному блоці. Основною ідеєю вдосконалення випарних охолоджувачів було вживання полімерних матеріалів (ПМ) в конструкції їх насадок. Проведений аналіз показав, що перспективним є полікарбонат (ПК), що випускається у вигляді багатоканальних плит. ПК стійкий до багатьох хімічних речовин, включаючи мінеральні кислоти високої концентрації, багатьох органічних кислотах, нейтральних і кислих розчинах солей. Це питання важливе, оскільки в подібних відкритих системах можуть накопичуватися шкідливі речовини і формуватися розчини слабких кислот. Стільникові панелі з ПК відрізняються і високими механічними характеристиками. На основі багатоканальних і багатопорових плит з ПК розроблені принципи конструювання випарних охолоджувачів як прямого (ПВО), так і непрямого (НВО) типів. Зовнішня поверхня полікарбонатної багатоканальної плити має регулярну шорсткість РШ у вигляді «западин», що характеризується завишки (e) і кроком (p) РШ. РШ розташована перпендикулярно перебігу рідинної плівки і сприяє поліпшенню розподілу водяної плівки і інтенсифікації процесів тепломасообміну.

Допоміжний повітряний потік, залишаючи НВО, є досить холодним і зволеним ($\phi = 90-95\%$) і тому непридатним для подачі в приміщення, що кондиціонується. Створення комбінованих випарно-парокомпресійних систем на основі ПВО, або НВО (перший рівень) і ХМ (другий рівень), дозволяє «включити» випарний охолоджувач на високому температурному рівні, де він досить ефективний, і використовувати відкидний холодний і зволений допоміжний повітряний потік (у НВО), для обдування конденсатора ХМ, а повернення конденсату з випарника ХМ у контур випарного охолодження може забезпечити повністю замкнений цикл по споживаній воді. У класифікаційній таблиці (рис. 1) і на рис. 2 представлені варіанти випарних охолоджувачів на основі ПВО і НВО, а на рис. 3-5 представлені основні варіанти розроблених прямооточних і рециркуляційних схем на основі ПВО/ХМ і НВО/ХМ, а також в складніших варіантах охолоджувачів. Основні проблеми розвитку випарно-парокомпресійних систем (НВО/ХМ) полягають в розробці схемних рішень, що забезпечують раціональне поєднання природних і штучних методів охолодження; зниженні витрати води на підживлення випарного контуру НВО; зниженні енерговитрат і поліпшення екологічних характеристик.

Третій розділ присвячений теоретичному і експериментальному вивченню процесів тепломасообміну у випарних охолоджувачах прямого (ПВО) і непрямого (НВО) типів, а також вивченню випарно-парокомпресійних охолоджувачів (НВО/ХМ).

Теоретичне і експериментальне вивчення плівкових течій у випарних охолоджувачах. Тепломасообмін між газом і рідиною при плівковому гравітаційному перебігу рідини і роздільному русі потоків забезпечує високу інтенсивність процесів перенесення при малих витратах енергії. У шарі рідини, що прилягає до шорсткої поверхні, утворюються в западинах регулярної шорсткості (РШ) зони вихроутворення, які зносяться вниз по потоку. Ці зони характеризуються підвище-

ною інтенсивністю перенесення в рідкій фазі, внаслідок турбулізації пристінного пограничного шару. Збільшення товщини шару рідини з пристінним збуренням призводить до утворення на поверхні рідини, крім хвиль, що збігають вниз по потоку, також стоячих хвиль, що повторюють деяким чином форму поверхні з регулярною шорсткістю. Практичний інтерес являють особливості хвилеутворення; оптимальні параметри шорсткості, включаючи форму ребра РШ; область двофазних потоків, де існує гідродинамічна взаємодія фаз. Для розрахунку плівкових апаратів необхідне знання хвилевих параметрів течії, оскільки вони входять в розрахункові формули визначення коефіцієнтів масообміну. Були розглянуті особливості хвилевого плівкового перебігу тонких шарів в'язкої рідини в «мокрих» каналах НВО. Теоретичний опис плівкового перебігу рідини по поверхнях з РШ при обліку взаємодії з газовим потоком є актуальним для створення НВО. Насадки НВО, що розглядаються в роботі, складаються з розташованих на однаковій відстані один від одного плоских листів з нанесеною впоперек перебігу РШ у вигляді впорядкованих западин заданої конфігурації (мал. 3Б). Хвилевий режим визначається стоячими хвилями, а хвилі, що біжать, будуть лише незначними брижами, що поширюються по поверхні стоячих хвиль. Для РШ з параметрами $e = 0,1$ мм, $p = 10$ мм, набуті значення локальної товщини плівки рідини без газового потоку ($\tau = 0$). Вплив газового потоку на товщину шару позначається лише при швидкостях газу $V_r \geq 8$ м/с. Газовий потік стабілізує плівкову течію, поверхневі обурення згладжуються, а середня товщина плівки декілька зменшується. Розглянута стійкість роздільної двофазної течії в плоскому каналі тепломасообмінних апаратів з регулярною шорсткістю поверхні. У плівкових ТМА для оптимального протікання змінних процесів необхідно забезпечити режим активної гідродинамічної взаємодії фаз.

При цьому навантаження по рідині і газу мають бути обмежені відносно небезпеки виникнення сильного краплеунесення і «захливання» апарату. Запропонована математична модель визначення стійкості двофазної течії у вертикальному каналі, по поверхні якого тече плівка рідини за наявності потоку газу і встановлені умови стаціонарного режиму тепломасообміну; результат узагальнений на випадок каналів, поверхня яких має РШ. Для вертикальних каналів з РШ поверхні, глибина западин якої порівнянна з $\delta_{ж}$, при течії утворюються на поверхні плівки стоячі хвилі великої амплітуди. При сильній гідродинамічній взаємодії фаз амплітуди хвиль мають тенденцію до зростання з часом, що наводить до зменшення критичного значення w_r^* . Експериментальне вивчення плівкових течій по поверхні полімерних листів з РШ типу «западина» було проведено в ОДАХ спільно з інститутом проблем хімічної фізики ІПХФ РАН (Росія) методом електропровідності. Стосовно типу РШ типу «западина», характерного для полімерних багатоканальних структур, таке дослідження проведене вперше. Показано, що перехід від ламінарної до турбулентної області течії ($Re_{ж}^*$)

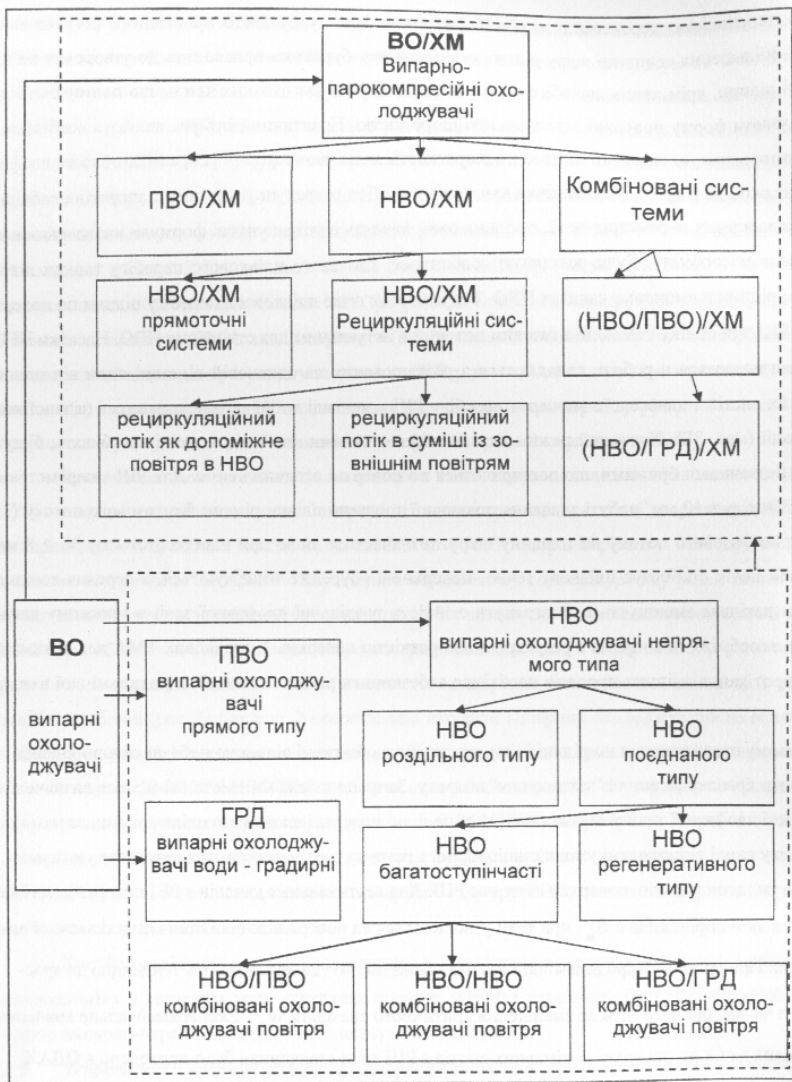


Рис. 1. Класифікаційна таблиця випарних і випарно-парокомпресійних охолоджувачів.

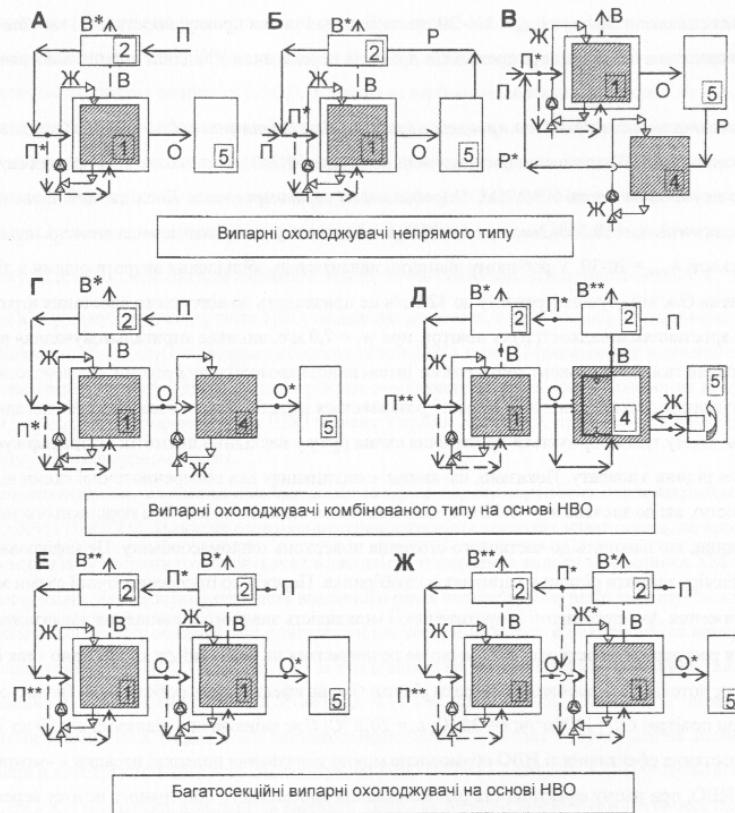


Рис. 2. Приклади використання НВО у складі альтернативних систем (патент України № 73696). А. Непрямий випарний охолоджувач НВО; Б і В – схеми охолоджувачів на основі НВО з рециркуляцією повітря з приміщення; Г і Д – схеми охолоджувачів комбінованого типу; Е і Ж – схеми багатосекційних випарних охолоджувачів.

Позначення: 1 – НВО; 2 – теплообмінник; 4 – ПВО; 4а – двоконтурна градирня мокро-сухого типу; 5 – приміщення; П – зовнішнє повітря (повний повітряний потік); О, В – основний і допоміжний повітряні потоки; В* – допоміжний потік після теплообмінника; Р – рециркуляційний повітряний потік; Ж – вода.

залежить від наявності РШ поверхні і визначається величиною параметра шорсткості $k = r/\epsilon$; дво-вимірна шорсткість прискорює перехід, знижуючи порогові значення $Re_{ж}^*$. Особливий інтерес представляє діапазон значень $k_{opt} = 11 - 30$, де оптимальні умови прояву шорсткості і забезпечується максимальна інтенсивність протікання процесів перенесення у водяній плівці і повітряному потоці.

Експериментальне дослідження процесів гідродинаміки і тепломасообміну НВО. Стендове устаткування (рис. 3В) дозволяло досліджувати розроблені НВО з насадкою з ПМ і різних варіантів охолоджувачів на основі НВО/ХМ. *Гідродинамічні характеристики.* Дослідження проведене в діапазоні значень $d_s = 18,5/20,3$ мм при $k = 27,5$, який лежить у ряді оптимальних значень параметра шорсткості $k_{opt} = 10-30$. У робочому діапазоні навантажень збільшення витрати рідини в діапазоні значень $G_{ж}$ від «сухого» режиму до 420 кг/ч не призводить до відчутного зростання втрати тиску. Із зростанням швидкості руху повітря, при $w_r = 7,0$ м/с, виникає «пригальмовування» рідинної плівки газовим потоком, тобто режим інтенсивної взаємодії газу і рідини, що призводить до гальмування поверхневих шарів плівки і розвивається надалі у режим «захливання» насадки НВО, при якому трансформується протиточна схема руху у висхідний прямиотік і інтенсифікується винесення рідини з апарату. Показано, що явище «захливання» для поперечної схеми відсутнє повністю, аж до значень $w_r > 8-12$ м/с, змінившись на великих w_r явищем подовжнього знесення рідини, що наводить до часткового оголення поверхонь тепломасообміну. Це зафіксовано за даними виміру витрати рідини у карманах водозбірника. Перехід до поперечної схеми забезпечує зниження Δp в порівнянні із протиточною і можливість значного підвищення навантажень. Введення регулярної шорсткості практично не позначається на величині Δp як для одно- так і для двофазних потоків. Вивчали вплив витрати рідини $G_{ж}$ на ефективність роботи НВО (початкові параметри повітря: $G_n = 1300$ м³/ч; $t = 38$ °С; $t_m = 20,2$ °С; $G_{ж}$ змінювали в діапазоні від 50 до 350 кг/ч). Зростання ефективності НВО обумовлене мірою змочування поверхні насадки в «мокрих» каналах НВО, при цьому ефективність охолодження допоміжного повітряного потоку перевищує ефективність охолодження основного, що свідчить про недостатню поверхню теплопередачі між каналами НВО. З урахуванням отриманого результату рекомендовано як робочий діапазон значення $G_{ж} = 300$ кг/ч. *Тепломасоперенос в системі; політропічний процес охолодження повітря в НВО.* На рис. 4А і В показано протікання процесів в НВО на діаграмі вологого повітря, а на рис. 3Г і Д наведені експериментальні результати у вигляді ефективності охолодження основного і допоміжного повітряних потоків. Температура рециркулюючої води залишалася незмінною, встановлюючись на значенні, що перевищує на декілька градусів температуру мокрого термометра на вході повітряного потоку в НВО (умова сталого режиму роботи НВО). На діаграмі вологого повітря (рис. 3Г) видно, що процес охолодження основного потоку проходить при незмінному вологовмісті, а допоміжний повітряний потік охолоджується і зволожується, виносячи з апарату

все тепло в прихованій формі. Із зростанням температури ефективність процесу по обох потоках зростає. Максимальне зростання інтенсивності отримане для листа з РШ поверхні, причому наголюється сприятливий розподіл рідини по всій поверхні листа в модулі. Оптимальне значення співвідношення потоків в НВО складає $G_o / G_b = 0,5$, при цьому ефективність охолодження складає в середньому величину 0,5-0,7. У дослідах варіювали до п'яти послідовно зіставлених рівнів для кожної з двох схем по рис. 2 (шляхом експерименту, що послідовно проводиться, з імітацією умов на вході кожного подальшого модуля на підставі дослідних даних, отриманих для попереднього). Перехід до багатоступінчастого охолодження означає зменшення співвідношення $l = G_o / G_b$, а також супутнє зростання енерговитрат і масогабаритних показників охолоджувача в цілому. Для обох схем суттєве зниження температури основного повітряного потоку t_o відбувається в першому і другому рівнях НВО, подальше зниження, із зростанням числа рівнів, незначне, що дозволяє обмежити оптимальну кількість рівнів НВО двома. Максимальне значення теплосергетичної ефективності відповідає двом рівням охолодження. Доцільність включення до складу каскаду додаткового випарного рівня ПВО (патент України № 73 696), причому це вигідно робити на вищому температурному рівні.

Експериментальне вивчення комбінованих випарно-парокомпресійних охолоджувачів на основі ПВО/ХМ і НВО/ХМ. Вивчали оптимальне співвідношення теплових навантажень на випарну і парокомпресійну частини охолоджувача і можливість повернення вологи з випарника ХМ в «мокру» частину НВО. Холодопродуктивність випарного рівня охолоджувача різко зменшується із зростанням вологовмісту зовнішнього повітря і видно кордон можливого використання випарного охолодження у ВКВ ($x_r^1 < 13$ г/кг); ця ж тенденція зберігається і для комбінованих схем охолодження на основі ПВО/ХМ і НВО/ХМ (мал. 4А), але, навіть при $x_r^1 \sim 20 - 25$ г/кг, працездатність системи зберігається. Видне деяке зниження ефективності у зв'язку з переходом на полімерні матеріали в конструкції випарного охолоджувача НВО (лінії 1 і 2 для НВО/ХМ). Результати для схеми ПВО/ХМ показують доцільність варіанту з ПВО як перший рівень охолодження продуктового потоку повітря (варіант 2). Обдування конденсатора ГМ холодним допоміжним потоком призводить до зниження температури і тиску конденсації. Експеримент показав, що при відносній вологості вище 35-45%, втрати на випарування можуть бути компенсовані повністю.

Четвертий розділ присвячений інженерним і екологічним аспектам практичного використання випарно-парокомпресійних охолоджувачів, що розробляються. Розрахунки виконувалися для порівнюваних варіантів охолоджувачів (на основі ГМ і НВО/ХМ), при однакових холодопродуктивності і параметрах довкілля. Для комбінованого варіанту, разом з холодопродуктивністю рис. 5 надані результати для параметрів зовнішнього повітря: $t_r = 40$ °С і $x_r = 22$ г/кг, вибраних для довести важких, з точки зору завдання кондиціонування повітря, кліматичних умов.

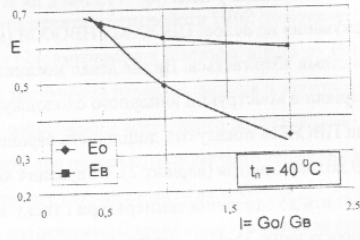
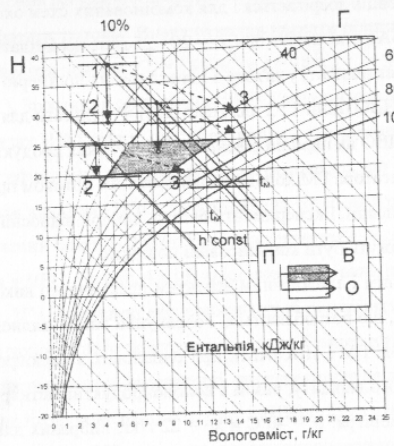
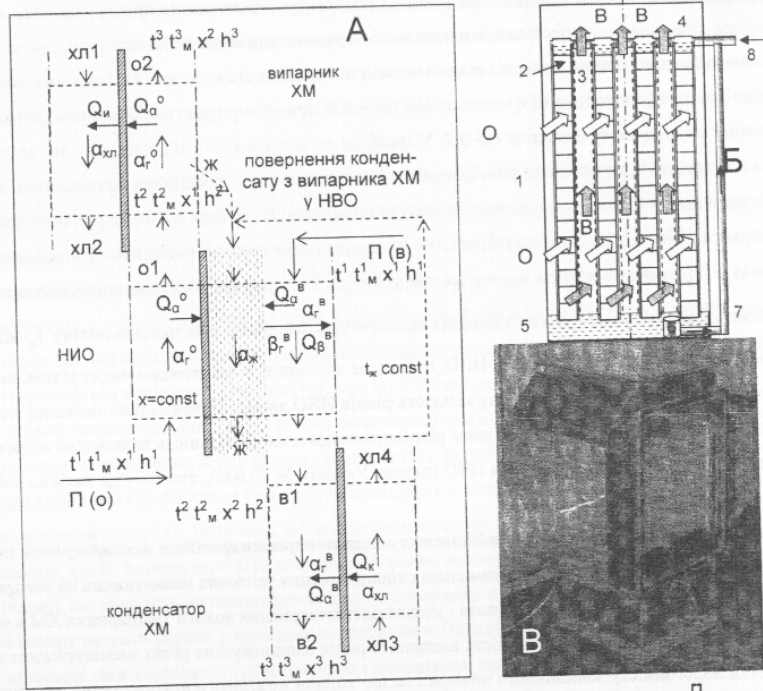


Рис. 3. А – До розрахунку процесів теплома-
сообміну в комбінованому охолоджувачі в
складі НВО/ХМ; Б – Принципова схема НВО
з полімерною насадкою; В – головна частина
стенду з модулем НВО; Г – хід процесу в
НВО на Н-Х діаграмі вологого повітря; Д –
Експериментальні дані випробувань охолод-
жувача НВО.

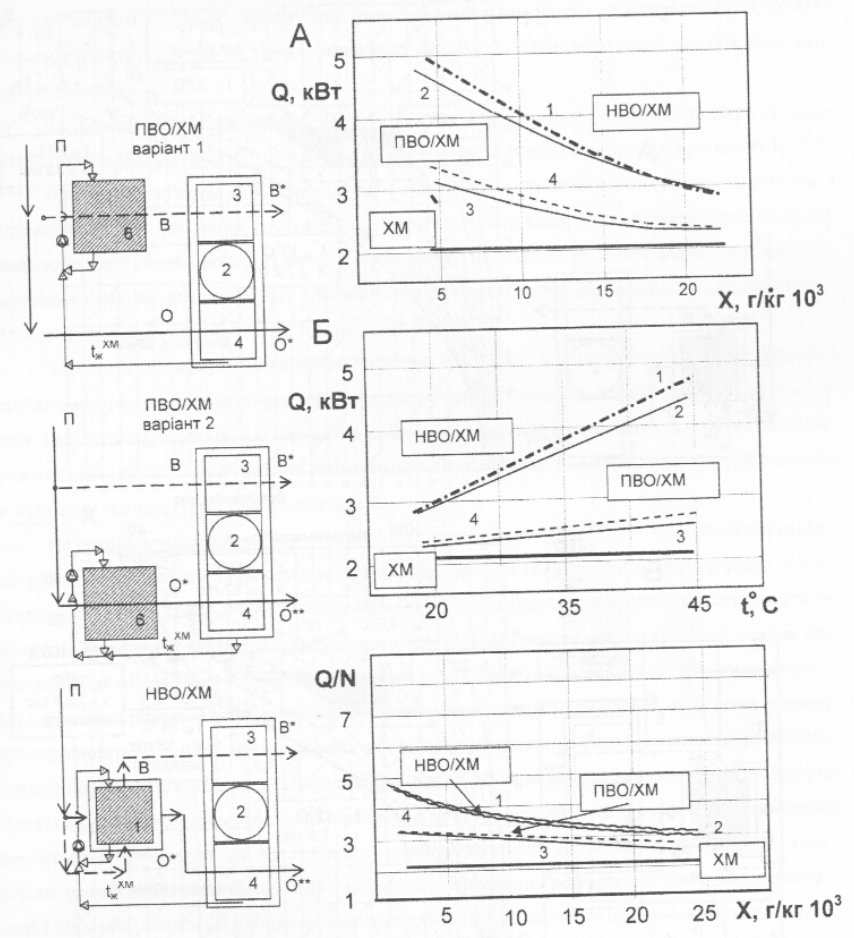


Рис. 4. Залежність холодопродуктивності комбінованих систем ПВО/ХМ, НВО/ХМ
від вологовмісту (А) і температури зовнішнього повітря (Б); залежність питомої холодо-
продуктивності (відносно енерговитрат) Q/N від вологовмісту повітря (В) (за даними
ОДАХ на модулях НВО з алюмінієвої фольги – лінія 1[1-3] і модулях НВО з полі-
мерного матеріалу ПМ, дані автора, суцільна лінія 2; 3 і 4 модулі ПВО у складі сис-
теми ПВО/ХМ, варіанти 1 і 2, відповідно).
Позначення: 1 – НВО, 2 – ХМ; 3 – конденсатор; 4 – випарник; 5 – приміщення; 6 –
ПВО.

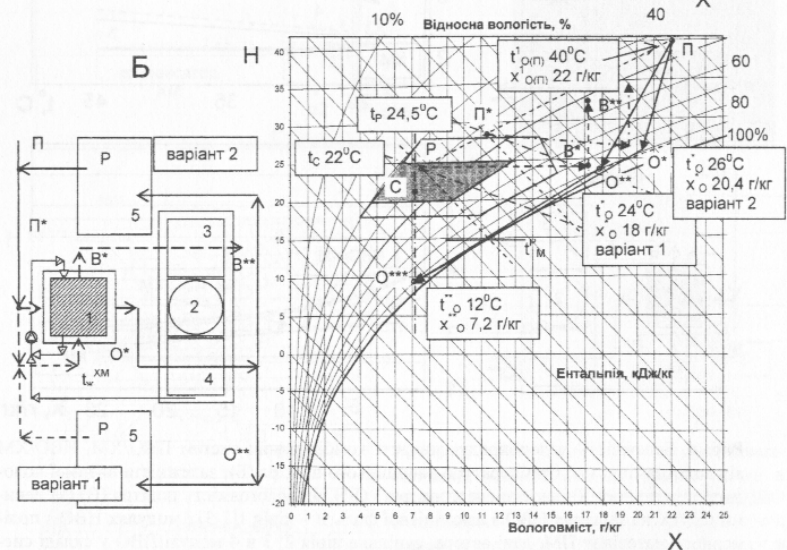
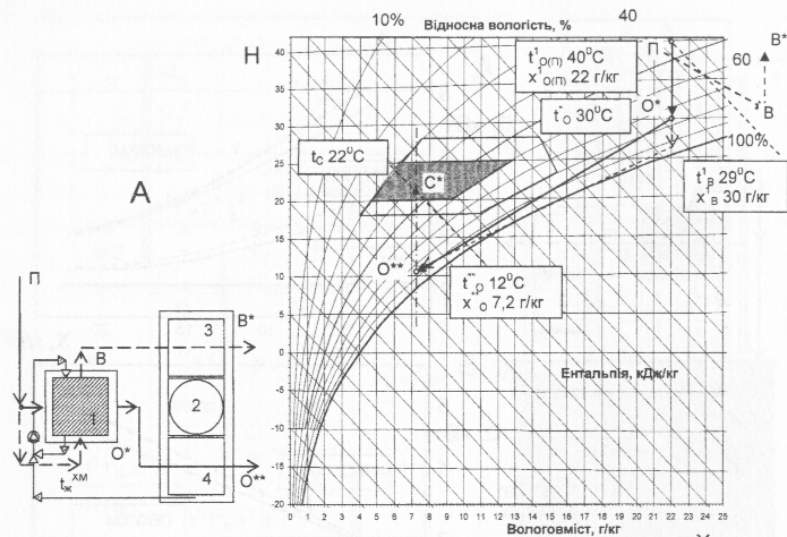


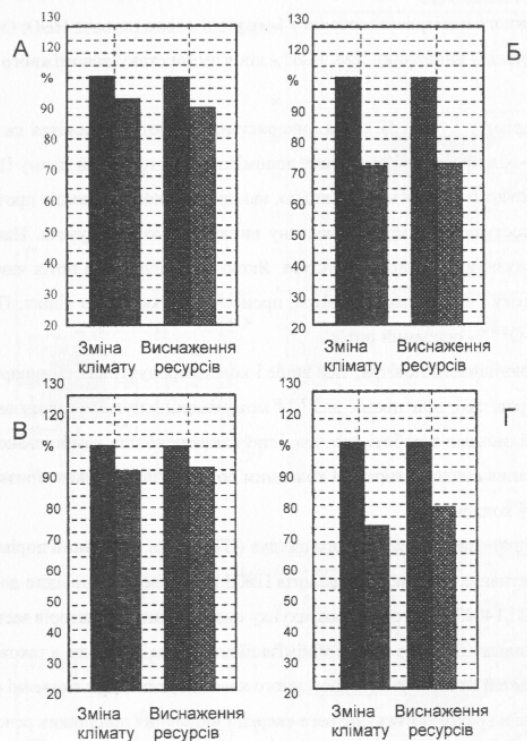
Рис. 5. Процеси на Н-Х діаграмі вологого повітря в комбінованій випарно-парокомпресійній системі у прямооточному (А) і рециркуляційному варіантах АСКП. Позначення: 1 – НВО, 2 – ХМ; 3 – конденсатор; 4 – випарник; 5 – приміщення.

Розглянутий прямооточний і два рециркуляційні варіанти схем. Показані процеси: П-О* і П-В зміна станів основного і допоміжного повітряних потоків у I-му рівні охолоджувача НВО; О*-О** охолодження повітря у II-му рівні, у випарнику ХМ. В-В* - лінія зміни стану допоміжного потоку в конденсаторі.

Для рециркуляційного варіанту 1 (рис. 5Б), при використанні зворотного повітря як допоміжний потік у НВО: Р-В*-В** - хід процесів зміни стану допоміжного потоку; при цьому П-О**-О*** - лінія охолодження основного потоку в НВО; видно, що процес охолодження протікає з виділенням вологи, яка може поступати в «мокру» частину випарного охолоджувача. Навантаження на другий рівень охолодження істотно знижується. Якщо як допоміжний потік використовується суміш зворотного потоку і зовнішнього повітря, процеси протікають по лініях: П*-В*-В** - допоміжний потік; ; П-О*-О*** - основний потік.

Чим вище температура зовнішнього повітря, тим вище і холодопродуктивність випарного і комбінованого охолоджувачів (рис. 5Б), при цьому для ГМ можуть виникнути несприятливі режими експлуатації, пов'язані з відмовами в роботі, що повністю виключено для комбінованої системи на основі НВО/ХМ. Обдування конденсатора ГМ холодним допоміжним потоком призводить до зниження температури і тиску конденсації.

На основі методології оцінки «повного життєвого циклу» (ПЖЦ) був виконаний порівняльний аналіз розроблених альтернативних систем. Методологія ПЖЦ розроблена відповідно до стандартів ISO (14040, 14041, 14042 і 14043). Методику розрахунку екологічних індикаторів застосовують для порівняння альтернативних систем з метою мінімізації впливу на довкілля, а також для виявлення потенційних можливостей зниження антропогенного навантаження, при вивченні різних варіантних рішень. При аналізі враховуються: витрата енергії і виділення шкідливих речовин при виробництві матеріалів для порівнюваних об'єктів, споживання енергії і інших витратних матеріалів (наприклад, холодоагенту) при експлуатації, а так само додаткові витрати енергії при утилізації об'єктів і супутні цьому викиди шкідливих речовин (рис. 6Д). Були вибрані такі узагальнені еколого-енергетичні критерії: вплив ПЖЦ порівнюваних систем на глобальну зміну клімату (відповідає повній емісії парникових газів); виснаження природних ресурсів при створенні, експлуатації і утилізації систем (відповідає повному споживанню органічного палива і мінеральних ресурсів за ПЖЦ); шкода, що наноситься довкіллю, тобто відповідні даній шкоді ач-індикатори (окремо враховується шкода людському здоров'ю, екосистемі і виснаження природних ресурсів). Розрахунок всіх вибраних критеріїв заснований на методології ECO-INDICATOR 99. Вплив на клімат виражається в спеціальних одиницях DALY (Disability adjusted life years), тобто в цьому індикаторі враховується втрата працездатності, викликана хворобами від кожного виду можливого шкідливого впливу. Відповідно до методики оцінки повного еквіваленту глобального потепління, вплив на зміну клімату прийнято виражати через кг CO₂.



Б

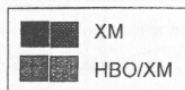


Рис. 6. Порівняння екологічної дії («повного життєвого циклу») традиційною (XM) і альтернативною (на основі НІО/ХМ) систем.

А – Стадія виробництва; Б – Стадія експлуатації; В – Стадія утилізації і рециркуляції матеріалів і енергії; Г – Повний життєвий цикл порівнюваних систем XM і HBO/ХМ.
Д – Спрощена блок-схема визначення системних кордонів для методології LCA «Повний життєвий цикл» («ECO-INDICATOR 95»), стосовно завдання ГМ і НІО/ХМ.

Д



Враховувалися всі викиди CO₂ при виробництві енергії і матеріалів, а так само при експлуатації устаткування і його утилізації. Крім того, враховувалися викиди всіх інших парникових газів на всіх стадіях ПЖЦ. Внесок парникових газів в зміну клімату також обчислюється в кг CO₂ (перераховується за допомогою спеціальної величини GWP парникового газу, кг/кг CO₂). Відзначимо, що 1 кг CO₂ відповідає 2.1 · 10⁻⁷ DALY. Внесок у виснаження ресурсів виражається в мДж (показує додаткові витрати енергії, необхідні в майбутньому для видобування руди і палива нижчої якості). Ця величина прямо пропорційна кількості спожитих енергоресурсів на створення, експлуатацію і утилізацію даного об'єкту. Три категорії збитку - вплив на здоров'я людини, якість екосистеми і виснаження ресурсів, опінуювалися в еко-одиницях. Шкала, в якій порівнюється відносна дія на довкілля, вибрана так, щоб 1 Pt (еко-одиниця) представляла одну тисячну частину щорічного навантаження на довкілля, що виникає від одного середньстатистичного жителя Європи (розраховується відношенням загального навантаження на довкілля, пов'язаного з повними викидами якої-небудь шкідливої речовини в Європі, до загальної кількості жителів Європи і множенням на 1000).

Відзначимо три категорії збитку. При оцінці впливу на здоров'я людини (тобто на число і тривалість хвороб і на тривалість життя) визначається вплив системи на: зміна клімату; руйнування озонового шару; викиди канцерогенів; радіоактивне випромінювання; шкідливі викиди в атмосферне повітря. При оцінці впливу на якість екосистеми (тобто на біорізноманітність) визначаються: викиди екоотоксинів; внесок в утворення кислотних дощів; евтрофікація водоймищ; руйнування ґрунту. При оцінці впливу на виснаження природних ресурсів визначається виснаження мінеральних і паливних ресурсів. Розроблена обширна база даних для визначення якості і кількості шкідливих дій і викидів при виробництві певних матеріалів, необхідна для виконання розрахункової програми ПЖЦ. Після обліку вагових коефіцієнтів і підсумовування всіх шкідливих дій виходить екоіндикатор, що має розмірність Pt (еко-одиниця), який можна використовувати для порівняння альтернативних об'єктів. Найбільш суперечливим моментом є визначення ваги кожної категорії, оскільки вони мають різну розмірність (вплив на зміну клімату - кг CO₂, на руйнування озонового шару - кг R11, вплив на утворення кислотних дощів - кг SO₂). У роботі цей етап аналізу виконувався з використанням бази даних програми "SIMAPRO-6". При виконанні аналізу, використовувалися середні дані для країн Євросоюзу.

Був розглянутий конкретний приклад альтернативного охолоджувача на основі HBO/ХМ, де в першому рівні використовується HBO, а в другий - даховий кондиціонер французького виробництва CAAE/CAEN-31; для порівняння був взятий кондиціонер CAAE/CAEN-51 (холодопродуктивність у порівнюваних варіантах однакова). На рис. 6 надані результати аналізу. Видно, що по всіх трьох категоріях екологічної дії, традиційна парокompресійна СКП поступається альтернативній на всіх стадіях життя. Найбільша вплив на довкілля виробляється під час експлуатації систе-

ми і пов'язане з енергоспоживанням системи. Загальна екологічна дія в цей період для альтернативної системи складає до 65% від цієї ж дії для традиційної.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Практичне використання випарних методів охолодження вимагає вирішення декількох принципових питань: розширення кліматичної області використання самих методів, підвищення компактності і зниження енергоспоживання систем. Найбільш перспективне включення випарних охолоджувачів до складу випарно-парокомпресійних охолоджувачів на основі раціонального поєднання природних і штучних методів охолодження середовищ.

2. Особливий інтерес представляють випарні охолоджувачі непрямого типу, в яких охолодження повітря досягається без прямого контакту з водою; розроблені випарні охолоджувачі на основі апаратів плівкового типу з багатоканальною структурою насадки і роздільним рухом потоків газу і рідини, а також регулярній шорсткості поверхні для інтенсифікації процесів тепломасообміну.

3. Розглянуті умови роботи випарних охолоджувачів прямого і непрямого типів, комбінованих і багатоступінчастих випарних охолоджувачів; показано, що число рівнів в каскаді охолоджувачів НВО/НВО не повинне перевищувати два і що оптимальною є схема охолоджувача у складі НВО/ППО.

4. Створення випарно-парокомпресійних систем на основі НВО (перший рівень) і ГМ (другий рівень), дозволяє «включити» випарний охолоджувач на високому температурному рівні, де він досить ефективний, і використовувати допоміжний повітряний потік для обдування конденсатора ГМ; це дозволяє понизити витрату води на підживлення замість тієї, що випарувалася в НВО; при відносній вологості вище 35-45%, втрати на випарювання можуть бути компенсовані повністю.

5. Результати зіставлення випарно-парокомпресійного кондиціонера (у першому рівні НВО і в другому даховий кондиціонер СААЕ/САЕН - 31) з кондиціонером СААЕ/САЕН - 51, показали, що комбінована схема дозволяє понизити встановлену потужність компресора з 16.8 до 11.3 кВт; забезпечує зниження температури конденсації від 45°C до 35°C і зниження витрати енергії на стискування на 14%; з'являється можливість повного повернення води у випарний контур.

6. Виконаний загальний екологічний аналіз альтернативних рішень в області холодильних і кондиціонуючих систем з використанням методології і бази даних «Повний життєвий цикл» (міжнародні стандарти ISO (ISO 14040, 14041, 14042 і 14043, база даних програми «SimaPro-6»); альтернативна система на основі НВО/ХМ призводить до меншого виснаження природних ресурсів, чим традиційна ВКВ; вона вносить менший вклад до глобальної зміни клімату;

загальна екологічна дія для альтернативної системи складає 64.5% від цієї ж дії для традиційної системи!

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Филиппов С.Н., Горин А.Н., Дорошенко А.В., Федоров А.Г. Экспериментальный стенд для изучения охладителей испарительно-парокомпрессионного типа // Холодильная техника и технология. – 2006. -№1. - С. 5–9. *Особистий внесок: виконання розрахунків.*
2. Дорошенко О.В., Федоров О.Г., Горін О.М., Філіпцов С.М. Випарний охолоджувач непрямого типу. Патент України на винахід № 74525. Зареєстрований 15.12.05. Опублікований 15.12.05. Бюлетень №12.
3. Дорошенко А., Федоров А., Георгалина Е.. Разработка испарительных охладителей непрямого типа, Холодильная техника и технология, №1, 2007, С. 5 – 9.

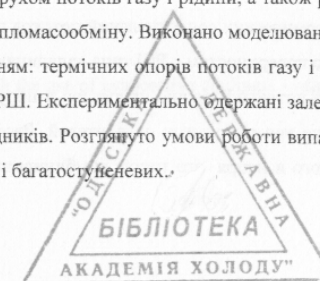
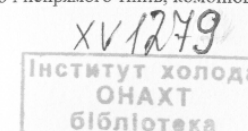
Конференції: 4-й міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», м. Одеса, 21-23 вересня 2005 р.; II міжнародній науково-практичній конференції «Харчові технології», Одеса, 2006 р.; II Всеукраїнському науково-технічному семінарі: «Удосконалення конструкції та підвищення теплоенергетичної ефективності малих холодильних машин», м. Донецьк; 2006 р.; VI науково-технічній конференції: «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», м. Одеса, 19-21 вересня 2007 р.

АНОТАЦІЯ

Федоров Олександр Григорович «Альтернативні системи кондиціювання повітря з використанням випарного охолодження». - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 – «Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціювання», присвячена розвитку наукових і інженерних основ створення альтернативних систем кондиціювання повітря з використанням методів випарного охолодження. Одеська державна академія холоду. – Одеса, 2009.

Особливий інтерес являють випарні охолодники непрямого типу НВО, у яких охолодження повітря досягається без прямого контакту з водою. Розроблено НВО на основі апаратів плівкового типу з багатоканальною структурою насадки і роздільним рухом потоків газу і рідини, а також регулярною шорсткістю поверхні, як метод інтенсифікації тепломасообміну. Виконано моделювання процесів сумісного тепломасопереносу у НВО з урахуванням: термічних опорів потоків газу і рідини, особливостей течії рідинної плівки по поверхнях із РШ. Експериментально одержані залежності, що забезпечують розрахунок і проектування охолодників. Розглянуто умови роботи випарних охолодників прямого і непрямого типів, комбінованих і багатоступінчастих.



Створення випарно-парокомпресійних систем дозволяє «включити» випарний охолодник на високому температурному рівні, де він достатньо ефективний, і використати допоміжний повітряний потік для обдування конденсатора ХМ, а також знизити витрати води на підживлення замість випаруваної у НВО. Показано, що при відносній вологості 35–45%, витрати на випарювання можуть бути компенсовані повністю.

Виконано загальний екологічний аналіз альтернативних рішень з використанням методології і бази даних «Повний життєвий цикл» Альтернативна система АСКП (НВО/ХМ) призводить до меншого виснаження природних ресурсів, ніж традиційна і вносить менший внесок у глобальну зміну клімату. Показано, що найбільший вплив на довкілля призводиться під час експлуатації системи; внесок періоду виробництва складає близько 20% від внеску для альтернативної системи складає всього 64.5% від цього ж впливу для традиційної системи.

Ключові слова: альтернативна система, охолодження, кондиціонування повітря, гідродинаміка, тепломасообмін, випарний охолодник, насадка регулярної структури, полімерні матеріали, повний життєвий цикл, екологічний вплив.

АННОТАЦИЯ

Федоров Александр Григорьевич «Альтернативные системы кондиционирования воздуха с использованием испарительного охлаждения». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – «Холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования». Одесская государственная академия холода, - Одесса, 2009.

Диссертация посвящена развитию научных и инженерных основ создания альтернативных систем с использованием методов испарительного охлаждения. Особый интерес представляют испарительные охладители непрямого типа НИО, в которых охлаждение воздуха достигается без прямого контакта с водой. Разработаны НИО на основе аппаратов пленочного типа с многоканальной структурой насадки из полимерных материалов и раздельным движением потоков газа и жидкости, а также регулярной шероховатости поверхности (РШ) и капиллярно-пористым покрытием (КПП).

Выполнено моделирование процессов совместного тепломассообмена в НИО с учетом термических сопротивлений потоков газа и жидкости и особенностей течения жидкостной пленки по поверхностям с РШ типа «вадина». Экспериментально установлены: влияние РШ поверхности на интенсификацию процессов и получены зависимости, обеспечивающие расчет и проектирование испарительных охладителей. Рассмотрены условия работы испарительных охладителей прямого и непрямого типов, комбинированных и многоступенчатых; показано, что число ступеней в

каскаде охладителей НИО/НИО не должно превышать двух, а оптимальной является схема охладителя в составе НИО/ПИО.

Рассмотрено интегрирование естественных и искусственных методов охлаждения в испарительно-парокомпрессионных системах. Создание испарительно-парокомпрессионных систем позволяет «включить» испарительный охладитель на высоком температурном уровне, где он достаточно эффективен, и использовать вспомогательный воздушный поток для обдува конденсатора ХМ. При относительной влажности наружного воздуха свыше 35–45%, потери на испарение в НИО могут быть компенсированы полностью. Разработанная комбинированная система в составе НИО/ХМ полностью обеспечивает получение комфортных параметров воздуха без климатических ограничений и снижает энергозатраты. Она позволяет рационально интегрировать испарительные методы охлаждения в состав парокомпрессионных систем, существенно снижая основной недостаток этих методов, заключающийся в необходимости подпитки испарительного контура свежей водой. В сравнении с традиционными парокомпрессионными системами, АСКВ на основе НИО/ХМ обеспечивает значительное снижение энергозатрат (30–60%).

Выполнен экологический анализ альтернативных решений с использованием методологии «Полный жизненный цикл» (Life Cycle Assessment, международные стандарты ISO (ISO 14040, 14041, 14042 и 14043, «eco-indicator 99», база данных программы «SimaPro-6»). АСКВ приводит к меньшему истощению природных ресурсов, чем традиционная и вносит меньший вклад в глобальное изменение климата. Показано, что наибольшее воздействие на окружающую среду производится во время эксплуатации системы; вклад периода производства составляет около 20% от вклада за весь жизненный цикл, а вклад периода утилизации незначителен; общее экологическое воздействие для альтернативной системы составляет всего 64.5% от этого же воздействия для традиционной системы. Выбор альтернативных решений по двум критериям (влияние на истощение природных ресурсов и вклад в глобальное потепление) способствует реализации закона Украины об энергосбережении и Киотского протокола, направленного на снижение эмиссии парниковых газов.

Ключевые слова: альтернативная система, охлаждение, кондиционирование воздуха, гидродинамика, тепломасообмен, испарительный охладитель, насадка регулярной структуры, полимерные материалы, полный жизненный цикл, экологическое влияние.

ABSTRACT

Fedorov O.G. «Alternative system air conditioning with the use of evaporative cooling». - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of Technical Science by specialty 05.05.14 - "Refrigerating, Vacuum, End Compressor Techniques, Conditioning Systems", "The Odessa State Academy of Refrigeration, - Odessa, 2009.

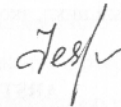
The dissertation is devoted to development of scientific and engineering bases of creation of alternative systems of cooling and air conditioning with use evaporative cooling. Special interest represent evaporative coolers of indirect type IEC in which cooling of air is reached without direct contact to water. Are developed IEC on the basis of devices of film type with multichannel structure of a nozzle and separate movement of streams of gas and a liquid, and also a regular roughness of a surface (RS), as a method of an intensification heat-mass-transfer.

Modeling processes joint heat-mass-transfer in IEC with the account is executed: thermal resistance of streams of gas and a liquid, features of current of a liquid film on surfaces with RS, character of distribution of the dry and moistened sites of a surface of a nozzle. The dependences providing calculation and designing of coolers are experimentally received. Operating conditions evaporative coolers of the direct and indirect types combined and multistage are considered.

Creation evaporative-refrigeration systems (IEC/RM) allows "to include" evaporative cooler at a high temperature level where it is effective enough, and to use an auxiliary air stream for condenser RM, and also to lower the charge of water on additional charging in IEC. It is shown, that at relative humidity of 35-45 %, losses on evaporation can be compensated completely.

The general ecological analysis of alternative systems with use of methodology and a database «Life Cycle Assessment». Alternative system AACS (IEC/RM) is executed results in a smaller exhaustion of natural resources, than traditional and makes the smaller contribution to global change of a climate. It is shown, that the greatest influence on an environment is made during operation of system; the contribution of the period of manufacture makes about 20 % from the contribution for all life cycle, and the contribution of the period of recycling is insignificant; the general ecological influence for alternative system makes only 64.5 % from the same influence for traditional system.

Key words: alternative system, cooling, an air conditioning, hydrodynamics, heat-mass-transfer, evaporative cooler, a nozzle of regular structure, the polymeric materials, ecological influence.



м. Одеса. Видавничий центр ОДАХ

Підписано до друку 2.02.2009. Обсяг 1.25 д. аркушів

Тираж 100 прим. Замовлення № 83/2009