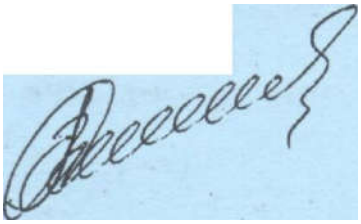
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



ОЛЬШЕВСЬКА ОЛЬГА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 621.175:536.75

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ТА РОЗРАХУНКУ ЕФЕКТИВНИХ МІКРОКАНАЛЬНИХ ПОВІТРЯНИХ КОНДЕНСАТОРІВ

Спеціальність 05.05.14 - Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціювання.

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса, 2014

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник — **доктор технічних наук, доцент Морозюк Лариса Іванівна, Одеська національна академія харчових технологій, Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, МОН України, професор кафедри холодильних машин, установок і . кондиціювання повітря**

ОНАХТ Автореф
Розроблення методів
уО18629

Офіційні опоненти: — **доктор технічних наук, професор Радченко Микола Іванович, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, МОН України, завідувач кафедри кондиціювання та рефрижерації.**

в №6 £2. ОНАХТ
с'ЕЛ!ОТР!'ї

доктор технічних наук, професор Лабай Володимир Йосифович, Національний університет "Львівська Політехніка", МОН України, ' професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції.

Захист дисертації відбудеться «22» вересня 2014 р. о 14[м] годині в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д41.088.03 в Одеській національній академії харчових технологій за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Одеської національної академії - вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна.

’опня 2014 р.

Мілованов В.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність геми.

Основним принципом державної політики будь-якої країни світу и галузі техніки створення малоепергоемної структури матеріального виробництва є широке застосування нових технологій. Одним з магістральних напрямків розвитку сучасних інноваційних технологій с розробка мікротехнологій.

Підвищення енергетичної ефективності (економія всіх видів енергетичних ресурсів) і екологічної безпеки (впровадження нових робочих речовин і малоемних систем з ними) є сталою тенденцією в холодильній і теплонасосній техніці. Базуючись на таких підходах, в холодильній техніці з'явились нові типи теплообмінних апаратів, засновані на мініатюризації конструктивних рішень. Мова йде про мікроканальні теплообмінники, що належать до аерокосмічної і автомобільної техніки. Наприкінці 90-х років їх почали використовувати як повітряні конденсатори не тільки малих, але й великих холодильних машин.

Фізичні явища в мікроканалах інтенсивно вивчають у провідних світових наукових" центрах як основу сучасних високотехнологічних інновацій. Існуючі численні дослідження різних видів мікроканалів і оребрення, тепловіддавання, гідродинаміки двофазних потоків і аеродинаміки не наводять інженерних методик розрахунку, а існуючі комп'ютерні програми, які мають методики розрахунків, є інтелектуальною власністю фірм-виробників і у більшості випадків недоступні для функціонального проектування.

На підставі зазначеної інформації особливої актуальності набуває створення інженерних методик теплотехнічних розрахунків мікроканальних конденсаторів з використанням сучасних методів термодинамічного аналізу як інструменту коректної оцінки дійсної енергетичної ефективності як самого апарату, так і машини в цілому, яка укомплектована таким конденсатором.

Отже, тема роботи є актуальною з погляду перспектив впровадження енергозберігаючих технологій в холодильну і теплонасосну техніку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до Закону України №75/94-ВР «Про енергозбереження» від 01.07.1994 р., Постанови Кабінету Міністрів України №148 «Про комплексну державну програму енергозбереження України» від 05.02.1997 р.. Закону Верховної Ради України № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11.07.2001 р. і є складовою частиною досліджень, проведених у рамках виконання науково-дослідної кафедральної тематики «Розробка та впровадження енергоресурсоошадпих холодильних технологій, систем та установок у технологічні виробництва з використанням штучного холоду».

Мета і завдання дослідження: Розроблення методів аналізу та розрахунку теплотехнічних характеристик ефективних мікроканальних конденсаторів для проектування холодильних машин па засадах енергозбереження.

Завдання дослідження:

- розроблення математичної моделі процесів теплообміну і гідродинаміки під час конденсації робочої речовини з використанням положень теорії двофазного потоку в мікроканалах;

- розроблення математичної моделі процесів теплообміну ґі аеродинаміки для потоку повітря л використанням положень теорії руху ra w в малих каналах складної форми;

- впровадження сучасних термодинамічних методів до аналізу циклів холодильних машин з мікрокаиальними конденсаторами;

- впровадження існуючих методів оцінки енергетичної ефективності теплообмінних апаратів для встановлення основних характеристик мікроканального конденсатора відповідно до засад енергозбереження під час його експлуатації.

Об'єкт **дослідження** - мікроканальний повітряний конденсатор холодильної машини.

Предмет дослідження - теплові, гідродинамічні й аеродинамічні процеси в каналах малих розмірів.

Методи **дослідження:** теоретичне вивчення; термодинамічний і техніко- економічний аналізи енергетичної ефективності теплообмінних апаратів; математичне моделювання з використанням рівнянь класичної термодинаміки, теорії теплообміну і руху потоків в мікроканалах та каналах з малими перетинами. Порівняльна оцінка для узагальнення інформації, отриманої під час математичного моделювання і експериментальними дослідженнями роботи і інших авторів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у такому:

- розроблено математичну модель тепловіддавання і гідродинаміки двофазного *потоку в* мікроканалі з використанням кореляційних рівнянь *з* мінімальною кількістю емпіричних коефіцієнтів, що забезпечує розрахунки для широкого кола робочих речовин і температурних режимів роботи конденсатора;

- розроблено математичну модель тепловіддавання і . аеродинаміки повітряного потоку з використанням кореляційних рівнянь з узагальненими параметрами (густина теплового потоку, число Рейнольдса і гідравлічний діаметр каналу), які забезпечують виконання розрахунків для широкого кола геометричних параметрів каналу і температурних режимів роботи конденсатора;

- вперше використано ентропійно-цикловий метод термодинамічного аналізу для вибору робочої речовини, який базується на визначенні внутрішньої необоротної втрати в мікроканальному конденсаторі та ЇЇ частки в загальних втратах в циклі холодильної машини, що забезпечує вирішення завдань енергозбереження на етапі проектування холодильних машин з мікроканальним конденсатором;

- вперше використано ентропійний метод термодинамічного аналізу, який базується на встановлені мінімуму виробництва ентропії в апараті, що розглядається, на засадах впровадження енергозберігаючих технологій в процес проектування мікроканального конденсатора;

- проведено числове моделювання основних характеристик (густини теплового потоку і числа Рейнольдса) мікроканального конденсатора, яке базується на визначені двох критеріїв; мінімуму зведених річних економічних витрат і мінімуму виробництва ентропії, що забезпечує достовірність отриманих результатів і як наслідок вирішення завдань енергозбереження під час проектування холодильних машин з мікроканальним конденсатором.

Обгрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендації визначаються: коректною постановкою 'фвдання і його вирішенням; перевіркою на адекватність математичних моделей шляхом порівняння параметрів і характеристик

іеилооомінного апарату. отриманих розрахунковими методами га експериментальними даними роботи і інших авторів.

Практичне значении отриманих результатів полягає у такому:

- розроблено методику визначення внутрішніх та зовнішніх необоротностей у мікроканальних конденсаторах шляхом побудови ентропійно-циклової моделі холодильної машини для попередньої оцінки впливу цих необоротностей на ефективність циклу;
- розроблено методику розрахунку мікроканальних конденсаторів на основі метода мінімізації виробництва ентропії, що дозволяє на стадії проектування отримати апарат з високою енергетичною ефективністю, не вдаючись до використання вартісних показників;
- розроблено інженерну методику теплового і конструктивною розрахунків мікроканального конденсатора і рекомендовано для використання у наукових роботах аспірантів, магістерських роботах і дипломних проектах студентів спеціальності 7.05060403, 8.05060403 «Холодильні машини і установки» і в процесі виробничого проектування;
- розроблено теоретичну базу для створення нових експериментальних стендів і лабораторних робіт і рекомендовано для реалізації проекту модернізації навчально-наукових лабораторій кафедри холодильних машин, установок і кондиціювання повітря;
- розроблено і рекомендовано комп'ютерну програму для виконання варіантних розрахунків мікроканальних конденсаторів для функціонального проектування.

Особистий внесок здобувана підтверджується науковими публікаціями, в яких (відображені основні ідеї і положення теоретичних розробок і експериментальних результатів. Особисто автором проведено аналіз стану проблеми за результатами огляду літературних джерел; підготовлено і проведено натурні випробування мікроканального конденсатора в складі авторефрижератора, виконано обробку результатів експерименту і порівняльний аналіз експериментальних і розрахункових результатів; виконано варіантні розрахунки процесів тепловіддавання, гідро- та аеродинаміки в мікроканальному конденсаторі і на їх основі створено алгоритм розрахунку теплотехнічних характеристик; виконано варіантні розрахунки необоротних втрат в мікроканальному конденсаторі з використанням ентропійно-циклової моделі холодильної машини.

Апробація результатів дисертації.

Дисертація обговорювалася на засіданнях кафедри холодильних машин, установок і кондиціювання повітря ОНАХТ. За темою дисертації виконано доповіді на; і-й і 3-й міжнародних науково-технічних конференціях «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (м. Миколаїв, Україна, 2010, 2012 рр.), на 1 -й, 2-й і 3-й международных конференциях с элементами научной школы «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур», (м. Москва, Росія, 2010. 2011, 2013 рр.), у збірниках тез студентських наукових праць «Техніка та технологія харчових виробництв» , випуски 6 і 8/2 (м. Донецьк, Україна. 201 1, 2013 рр). на студентській науково-технічній конференції «Actual problems in professional sphere», (м Одеса. Україна. 2012 р.). па всеукраїнських науково-технічних конференціях молодих вчених та студентів «Стан, досягнення і перспективи

холодильної техніки І технології», (м. Одеса. Україна, 2011. 2012 рр). на международной конференции «Инновации в холодильной технике», (м. Москва, Росія. 2012 р.), на 8-й міжнародній науково-технічній конференції «Сталий розвиток і штучний холод», (м. Одеса, Україна, 2012 р.), на 9-й міжнародній науково- технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» (м. Одеса, Україна. 2013 р.), на 6-й международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (м. Санкт-Петербург, Росія, 2013 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації загалом опубліковано 20 наукових праць, з яких 5 статей (І одноосібно) - опубліковано у спеціалізованих наукових журналах, затверджених ДАК МОН України, 1 стаття - у спеціалізованому міжнародному науковому журналі, 4 повних тексти доповідей - на міжнародних конференціях.

Об’єм і **структура** дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Роботу викладено на 165 стор., вона містить 88 рисунків, 15 таблиць, список використаних джерел зі 158 найменувань на 1 7 стор.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

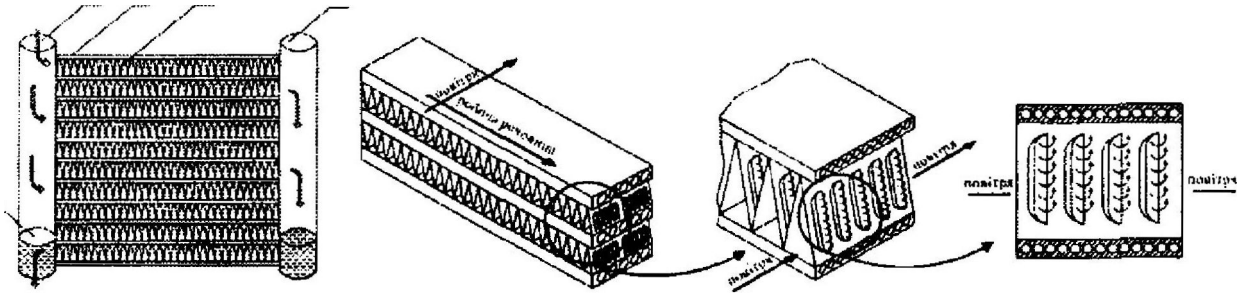
V вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, обговорено наукові та технічні проблеми, розв'язанню яких присвячено роботу. Сформульовано мету та основні завдання роботи, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано результати, які винесено на захист, їх наукову новизну, практичне значення, зазначено особистий внесок здобувана та апробацію результатів досліджень.

Розділ 1 присвячено аналізу стану проблеми. Мікроканальні теплообмінні апарати - не тільки масовий тип теплообмінників, але й один з найбільш різноманітних за своєю структурою і функціональним призначенням холодильних пристроїв, зокрема, це повітряні конденсатори та повітроохолоджувачі.

На підставі літературних джерел, встановлено факт існування численних досліджень різними науково-дослідними групами у галузі мікроканальних технологій. В роботах розглядається вплив геометричної форми і якості поверхні каналів для забезпечення інтенсивного теплопередавання сукупно з гідро- і аеродинамікою робочої речовини і повітря в каналах малих складних форм, пропонується велика кількість кореляційних рівнянь для розрахунків апаратів. Особливу увагу приділено руху в мікроканалах різних робочих речовин у вигляді двофазного потоку під час конденсації та кипінні. Математичні моделі процесів надано як систему аналітичних рівнянь апроксимованих залежностей, які відображають специфіку конкретної моделі теплообмінної поверхні, отриманої з експериментів. Цс значно звужує область застосування математичної моделі, обмежуючи інженерам розрахунки лише для тих моделей, які пройшли дослідження. Відомим недоліком емпіричного підходу є те, то моделі мікрокапалів швидко змінюються, а отримані раніше рівняння на нові не розповсюджуються, тому для коректного проектування є необхідним пошук і систематизація відповідних математичних залежностей.

У розділі 2 виконано аналіз процесів в мікроканальних конленса горах. Викладені у класичних виданнях класифікаційні ознаки компактних теплообмінників повністю описують мікроканальні повітряні конденсатори.

Схема руху потоків і конструкція теплообмінної поверхні двоходового мікроканального конденсатора наведена на рис. І. Однорідність матеріалу пластини і ребер забезпечує корозійну стійкість конструкції, збільшує жорсткість і зменшує термічний опір у місцях контакту пластин і ребер.



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 1. Двоходовий мікроканальний конденсатор: а) загальна схема:
1 , 4 - колектори, 2 - пластина з мікроканалами, 3 - ребра з жалюзі, 5 - перетинка;
б) схема руху потоків; в) елемент теплопередавальної поверхні;
г) схема ребра з жалюзі

Надалі у роботі аналіз процесів та розрахунки мікроканальних конденса'^орів здійснюються на прикладі двоходової моделі, що передбачає у першому ході зняття перегріву і конденсацію пари, у другому ході - переохолодження рідини (рис. $1_{х}$д). Тепло конденсації за тепловим розрахунком циклу є сумою складових:

^0)

поверхні:

$$F'' \cdot (Г + к_{/IУ} \; \mathbf{p,r} \blacksquare \mathbf{в,,,,,ж} + \mathbf{к'} \blacksquare \mathbf{F} \cdot \quad = \mathbf{ч} \blacksquare \mathbf{F} \cdot + _{Ж} \quad {}^{+} F \quad (2)$$

C **с/„**

Загальне рівняння теплопередавання, віднесене до внутрішньої теплообмінної

Теплопередавання розраховується окремо по секціях з використанням відповідних кореляційних рівнянь. Для розрахунку коефіцієнта тепловіддавання в секціях зняття перегріву і переохолодження використано рівняння для руху однофазних потоків в каналах малих розмірів:

- пари $\mathrm{Nu}' = 0.021 \cdot \mathrm{Re}'^{0,8} \cdot \mathrm{Pr}'^{\circ\,43} \cdot \epsilon_{,}$ **[3]**
- рідини $\mathrm{Nu}' = 3.66 + 0.19(\mathrm{Pe} \cdot d_K/l_{,,})^{0,8}\Big/\Gamma 1 + 0.117(\mathrm{Pe} \blacksquare dji_n)^{\circ,467}$ (4)

Для розрахунку тепловіддавання в мікроканалах у секції конденсації в роботі розглянуло 12 рівнянь різних авторів для різних геометричних форм і розмірів каналів, різних масових швидкостей руху двофазного потоку, різних робочих речовин. Результати апробування рівнянь для R134a, наведено на рис. 2. Співвідношення розрахунків і експериментів свідчить про достовірність результатів розрахунків. На підставі аналізу, для подальшої розробки інженерної методики розрахунку мікроканального конденсатора автором виділено рівняння Soliman, яке можливо застосовувати для великого інтервалу вихідних параметрів і більшості робочих речовин.

$$\alpha = 0.00345 \cdot A'/\lambda \cdot [((wp)_a \cdot d,)/\mu_w \quad " \blacksquare \quad \blacksquare / \cdot)/(/\cdot Д/)]^{iO.3}_{.3} \quad (5)$$

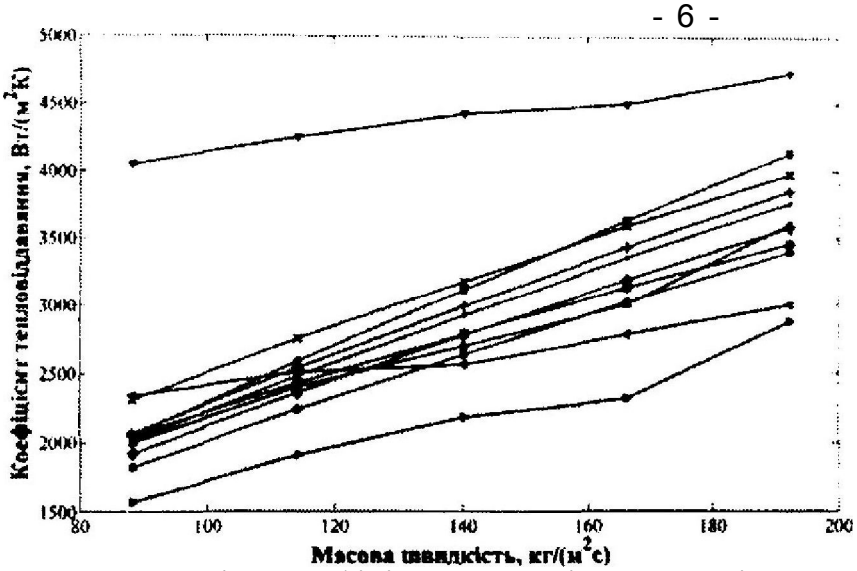


Рис. 2. Залежність коефіцієнта тепловіддавання від масової швидкості робочої

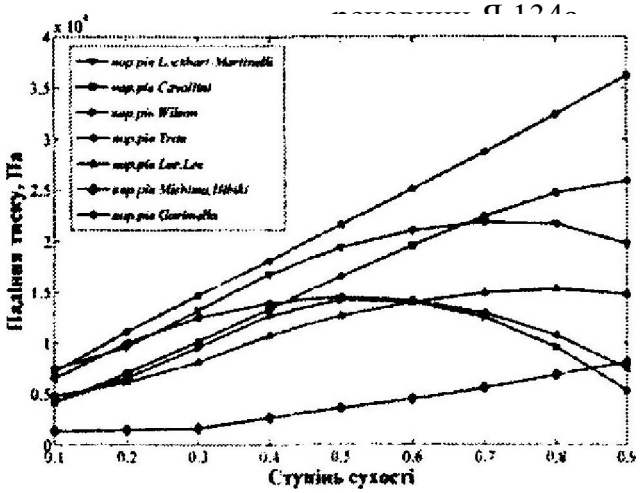


Рис. 3. Залежність падіння тиску від ступеня сухості для розрахунку за різними кореляційними рівняннями

Аналогічні розрахунки надані у роботі для робочих речовин Я22, Е1290, 11404а, 1141 Оа, Я507а, Я717.

Поряд з тепловіддаванням у мікроканалі проаналізовано особливості гідродинаміки двофазного потоку, отримано результати розрахунків падіння тиску за різними кореляційними рівняннями (рис. 3). Для створення інженерної методики розрахунку для визначення падіння тиску рекомендоване рівняння С'ауаіііт:

$$\frac{Ap}{I}\left|\begin{matrix}{}^{r}Ap' \\ <?)\end{matrix}\right|\begin{matrix}{}^{'}r \\ 0\ V\end{matrix}\ \begin{matrix}\text{ТЯ} \\ 1*\end{matrix}\ +\frac{1\text{-}262 * H_{cm\cdot} - I_{cm>}}{П'є^{0.1458}} \quad (6)$$

Аналогічно проаналізовано процеси

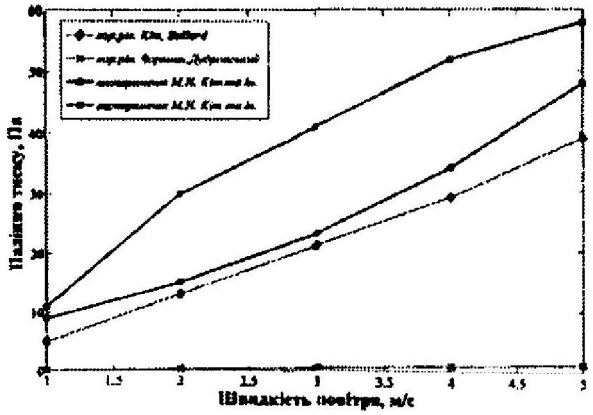


Рис. 5 Залежність падіння тиску від швидкості повітря

тепловіддавання та аеродинаміки повітря, яке рухається в короткому каналі складної форми з гострою кромкою на вході.

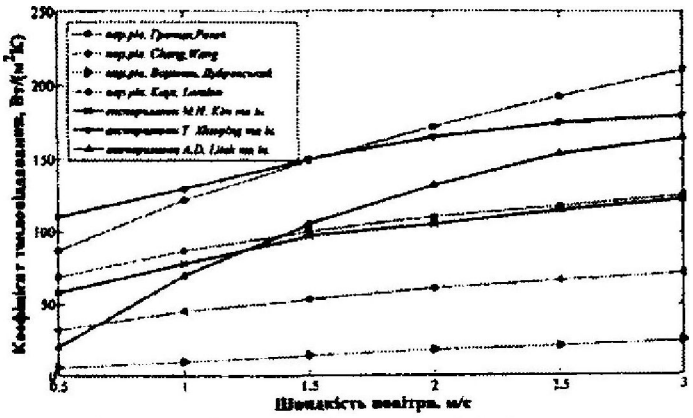


Рис. 4. Залежність коефіцієнту тепловіддавання від швидкості повітря

На рис. 4 і 5 наведено результати розрахунків за кореляційними рівняннями різних авторів, доведено адекватність експериментальним даним і рекомендовано до подальшого використання рівняння для визначення:

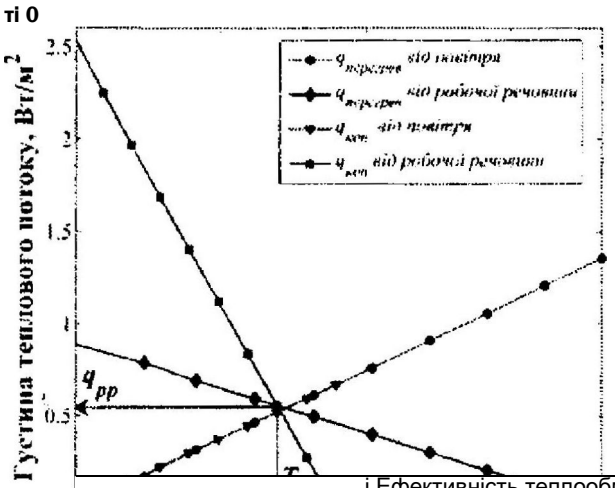
$$Nu- \frac{(}{362 \blacksquare} \quad \kappa \blacksquare Kj \quad + 0.0277- \quad \frac{f\,2\,S\text{-}P''\,'C}{P\,e} \quad Pe' \quad 1.5\ 3^{0.16}\,b \qquad 0)$$

• коефіцієнта тепловіддавання:
аеродинаміки рівняння M.H. Kim і C.W.Bullard:

$$Ьр = (/_w \bullet (wp)] \blacksquare Ь_п\text{^}I(2р_в и_ж). \qquad [8]$$

Розрахунок теплопередавання по секціях мікроканального конденсатора виявив, що густина теплового потоку *ц* і температура стінки $T_{ст}$ в секції зняття перегріву дорівнює тим же характеристикам у секції конденсації $ц''\sim ц_{пж}$, $к''\text{-}0'' = к_{пж}\ в_{пж}$, тому для інженерних розрахунків немає необхідності їх розділяти (рис, 6.).

У розділі 3 розроблено методи аналізу і розрахунку ефективності роботи мікроканального конденсатора. Аналіз оцінює мікроканальний конденсатор у складі холодильної машини з погляду економічної, теплової та термодинамічної ефективності за критеріями, зазначеними на рис. 7. За техніко-економічним аналізом здійснюється вибір



j Ефективність теплообмінного апарату J

! 1 1 -■ " - j

1 Економічна! 1 Теплова! 1 ^Термодинамічна'

Техніко-економічний »палі і Теплотехнічний j L розрахунок ЕіітропіГшо-ішкловпнІ ; Аналіз виробницт ва аналіз ! ентропії

Рис. секції зняття перегріву та конденсації мікроканального конденсатора для машини, яка проектується. Критерій М.В. Кирличсва є підсумковою характеристикою

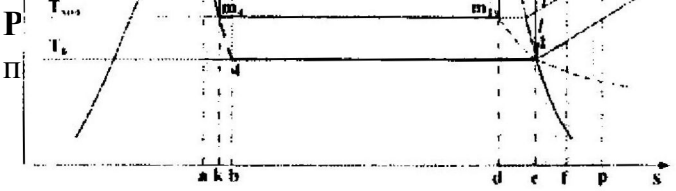
Зведені річні цім рипі Критерій М.Н.Кирмичека 1 Іеіюорогні втрати к НИКЛІ МПІШИІІІ ■ Мінімум виробництва; ентропії II елемент і !

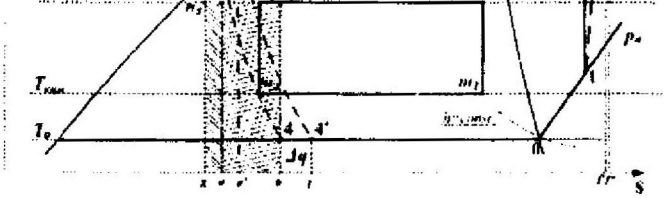
теплотехнічних розрахунків. На підставі ентропійно-циклового метода проводять вибір робочої речовини для холодильної машини, до складу якої входить мікроканальний конденсатор. Раціональні характеристики мікроканального конденсатора окремо від машини оцінює мінімум виробництва ентропії потоками робочої речовини і повітря.

Рис. 7. Структура оцінки ефективності конденсатора

Р

п





Процес конденсації в мікроканальному конденсаторі розглянуто як термодинамічний процес четвертої групи - процес внутрішньо і зовнішньо необоротний. Зовнішня необоротність визначається передаванням тепла від робочої речовини до повітря при наявності різниці температур, внутрішня - пов'язана з втратою тиску потоком робочої речовини, яка рухається в мікроканалі. Необоротності оцінено емпіричним методом, який базується на співвідношенні Г юї-Стодоли:

$$/7_I=Г_{с\cdot/,}\text{-}Д5_I. \quad (9)$$

За допомогою діаграми стану *Т-з* відтворено ентропійно-циклову модель одноступеневої парокомпресорної холодильної машини. Послідовність аналізу демонструє порівняння двох циклів - дійсного і відповідного циклу Карно, через поетапну заміну зростання необоротностей шляхом нарощування площі прямокутника еквівалентно рів. 9. (рис. 8.).

На рис. 9. у спрощеній формі відтворено розрахунок внугрішньої необоротності в мікроканальному конденсаторі шляхом замінювання її додатковою зовнішньою складовою за умови сталого корисного ефекту в дійсному циклі і циклі Карно *(ni./*2*3a-пл./2'3'a)*. Таким чином, ентропійно-цикловий метод оцінює додаткову роботу у циклі, пов'язану з особливостями теплофізичних властивостей робочої речовини, яка рухається і конденсується в мікроканалі.

Для визначення дійсних величин необоротностей і шляхів їх мінімізації застосовано метод мінімізації виробництва ентропії - сучасний в термодинамічному аналізі іноваційних рішень у галузі теплообмінних апаратів. Поєднання теплопередавання, гідравліки (аеродинаміки) з класичною термодинамікою (першим і другим законом) визначає раціональний режим роботи теплообмінного

апаразу.

Розрахункову принципову схему м ікро канального конденсатора подано на рис. 10. Перехресний рух потоків забезпечено нагнітачами - компресором і вентилятором. На будь-якій частині теплообмінного апарату зафіксовані температури 7\„у). T_{uIn} T_{ua}. Кінцеву різницю температур умовно поділено як *(Т.* - $T_{ст}$)і *(T_{cn1}* - T_{X01}). У такому вигляді виробництво ентропії здійснює кожний

потік окремо, а кількісна оцінка виробництва ентропії потоком віднесена до температури стінки.

Загальне термодинамічне співвідношення - рівняння Гіббса для рекуперативного теплообмінника мас вигляд:

Т(Ь ~сІИ- Уіір {) 0)

де *сІИ* - тепло, що передасться в ізобарному процесі, vф- робота проти сил тертя. Звідси *СІБ*

~сіИ/Т - термічна складова виробництва ентропії,

сіз^{м} = сф/Г - механічна складова виробництва ентропії. Застосування методу мінімізації виробництва ентропії до мікроканального конденсатора розглянуто на прикладі аналізу руху холодного потоку (повітря).

Згідно другого закону термодинаміки, рівнянь тепловіддавання між стінкою і потоком повітря після низки математичних перетворень відносна термічна складова

виробництва ентропії визначена як:

V, = = д £?/ (д/= ■ ***тх,и*** ■ ***а,*** гт) = <?/ (г„,' ««:/(Ке)] (II)

Відносна механічна складова виробництва ентропії згідно другого закону та законів аеродинаміки становить:

-*м* Ат? ___ _____ ^{в}/(Ке) __ ^У(Яе) $^{в\ ил}$ [12]
*^{хш} *З$_{ст}$* *4/.•</• $T_{гіп}$*

Враховуючи властивості речовини, режим руху і застосовуючи окремі константи маємо загальне рівняння:

=*К$_{а}$* + *1
жС,-$_{9}$.Я«^{я}+С$_{г<г}$-^{1}-Яе* (13)

Отже, термодинамічна досконалість процесу руху повітря залежить від *густини* теплового потоку *ц* і критерію Ие. Аналіз співвідношення *$I_{X(П}$* і *7“$_{>я}$* довів одночасний і рівнозначний вплив тепловіддавання і аеродинаміки на загальну необоротність у процесі. Застосовуючи ентропійний метод, що грунтується на встановленні мінімуму виробництва ентропії в досліджуваному апараті, впроваджуються енергоощадні технології у процес проектування.

У розділі 4 наведено розв'язування окремих задач по відношенню до мікроканального конденсатора. Задачі розв’язані на прикладах конкретних моделей м і крока 11 ал ь ного коплен сатора.

Задача /. Тепловий та конструктивний розрахунок мікроканального конденсатора.

Вихідні дані: *И134а.* £>*-1.0, кВт, /„.-40. °*С. і,г-0. °С, Аі$_{ш}$*- 20, град, °С

діаметр мікроканалу =0.7, мм. кількість ребер $n_к$ = 18. пп. висота ребра $И_р$ ~ 9. мм. крок ребер $и$ = 1.5. мм.

Розрахунок виконується за класичною схемою графоаналітичним метолом з використанням рів. (5-8). Аналіз результатів розрахунку встановив: величину густини теплового потоку *Ярасч* = 1015, *Вт/м*^{2} , внутрішню теплопередавальну поверхню *Р'кн*^{На} ~ 0-989, аг, температуру стінки $T_{ст}$ =38.33. °С, живий переріз апарата за ходом повітря ^*ж.с.* - 0-2 1 1, Л/^{2} , потужність вентилятора $И_н$ - 26.44, Вт.

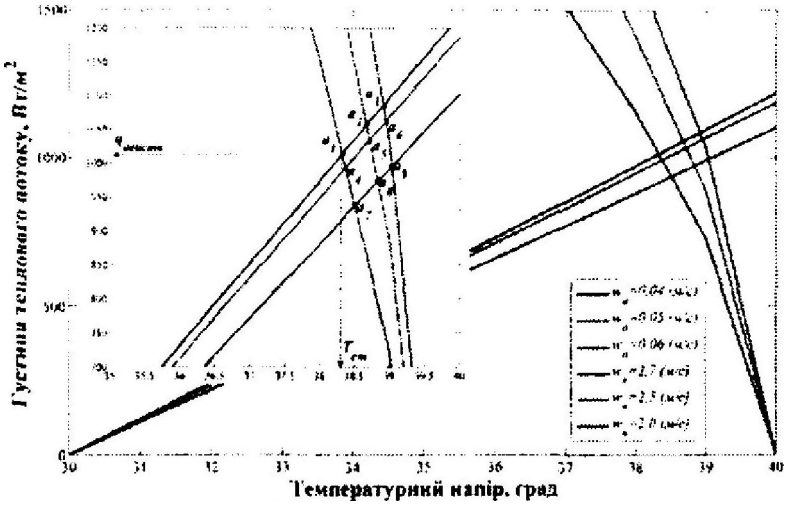


Рис. 11. Залежність густини теплового потоку від температурного напору в апараті

Коефіцієнт енергетичної

- за рівнянням М.В. Кирпичева:

$$£_T rc = QjN_{\text{een}} \text{ - } 37.8; \quad (14)$$

- за рівнянням Le Goff для *q^opt:*

$$'ТГС, \ opi\ J \quad \text{Ten,} \quad \text{Vi} \quad 1 = 37.0 \quad (15)$$

Таким чином, конденсатор працює в режимі оптимальної густини теплового потоку.

Задача 2. Експериментальне дослідження мікроканального конденсатора.

Натурні дослідження здійснено на транспортній холодильній установці, з мікроканальним конденсатором фірми Carrier модель VIENTO 200 134A CHILLED серійний номер PB811724.

Рис. 12. Зовнішній вигляд конденсатора (фото автора)

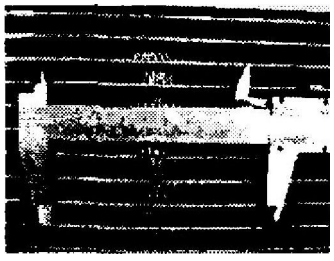


Рис. І3. Оребрена поверхня конденсатора (фото автора)

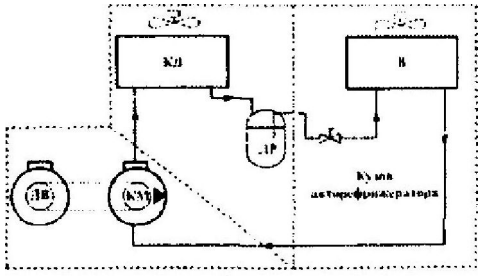


Рис. 14. Принципова схема холодильної установки

Під час випробувань визначено основні характеристики мікроканального конденсатора: теплопрохідпість *к! '.* температурний папір 0_m *-1*$_K$ загальне теплове навантаження на апарат $O_{i:}$ (рис. 15, промінь *А).* Величина *кі'* с тангенс кута *а* , утвореного віссю абспне і променем *ip</*$_ч$ = $O_к$ ■ *Po/(),.., p*$_{()}$ - На підставі

ефективності конденсатора:

отриманих результаїів досліджені, було проведено розрахунки характеристик $O_к, 0_m, к!'$; їа рів. (5-8) (рис. 15. промінь *В)* за даними компресора Ітавсоїсі С206У.

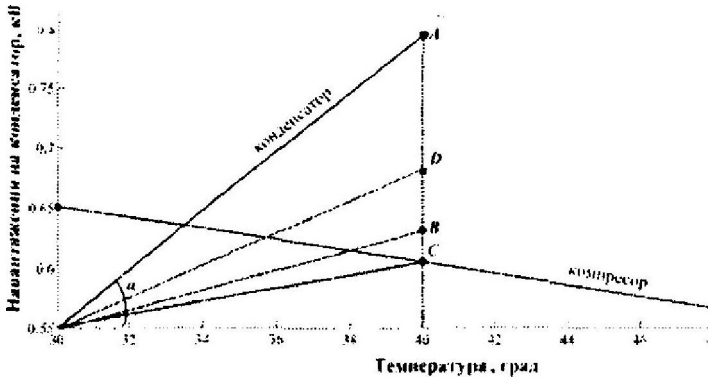


Рис. 15. Співставлення характеристики № конденсатора

який входить до складу холодильної машини

: а=ь,■-і•<д-•$C'OP_{TH}/COP_{хм}$

(рис. 15, промінь *С):* та у відповідності до даних фірми-виробника (мікроканальний І конденсатор VI ЕКЮ 200) (рис. 15, промінь £>).

Температурний напір 9_m 1 та температура конденсації i_K залишаються сталими.

Абсолютне значення і розрахунок відхилень

Таблиця.1.

	Дані, *кВт*			
	A	*B*	*C*	*D*
Q_k	0.795	0.628	0.605	0.680

Таблиця. *2.*

	Похибка розрахунків відносно даних фірми-виробника, %		
	ВЮ	*СЮ*	*АЮ*
д	7.6	11	14.40

наведено в таблицях 1 і 2.

Отже, встановлено адекватність розрахункових характеристик даним фірми- виробника і результатам експерименту та достовірність математичної моделі елемента, що розглядається.

Задача 3. Оцінка термодинамічної досконалості циклу холодильної машини з мікроканальним конденсатором з різними робочими речовинами.

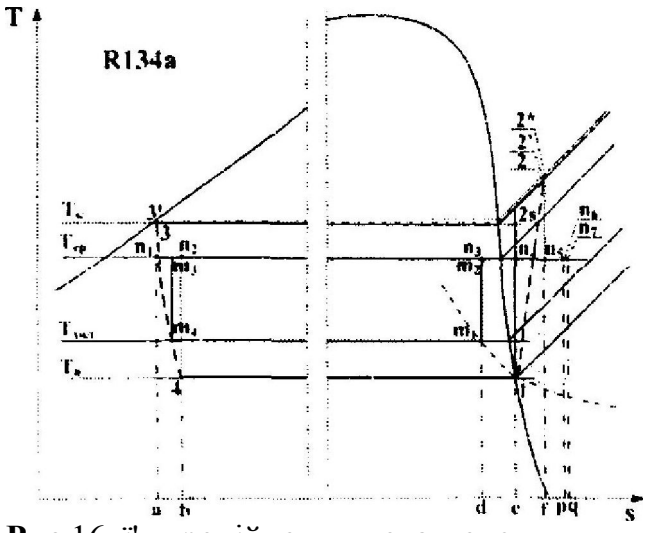
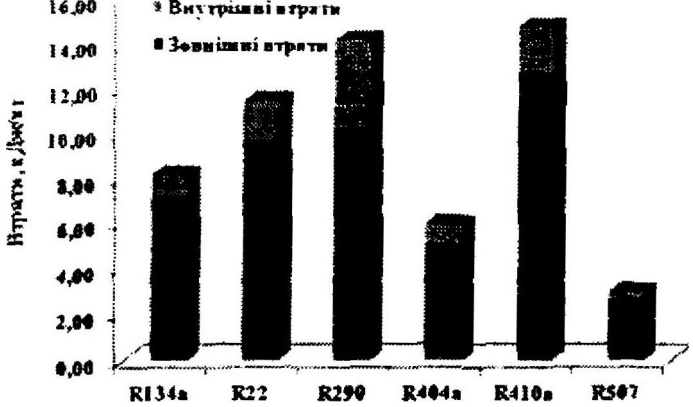


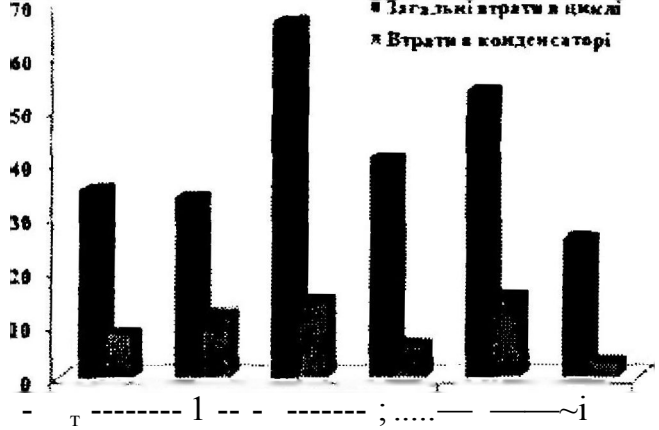
Рис.16. ї'.нтропійпо-циклова модель дійсного термодинамічної о циклу

Термодинамічний аналіз здійснюється на підставі матеріалів *розділу 3.* Розглянуто цикли паро компресорної холодильної машини з робочими речовинами Я 134а, Я22, К290, Я404а, К410а, К507, яка працює: в температуріюму режимі: температура кипіння /о=-8/'С\ температури конденсації /*=40,"С\ має однакову холодопродуктивність і гдипу ко н стру кці ю м і к ро ка 11 ал ьп о го конденсатора.



Гоі*« рпжипи

Рис.17. Необоротні втрати у конденсаторі



- т -------- 1 -- - ------- ; .....— ——~i

Ю«» К22 К2« «404» ЮІОі К5#7

Го4очл рпниі

Рис.18. Необоротні втрати загальні у циклі і в конденсаторі

Оцінено внутрішні і зовнішні необоротні втрати в конденсаторі і виявлено частку у загальних втратах циклу. У заданому режимі найбільшу досконаліст має робоча речовина Я507.

конденсатора.

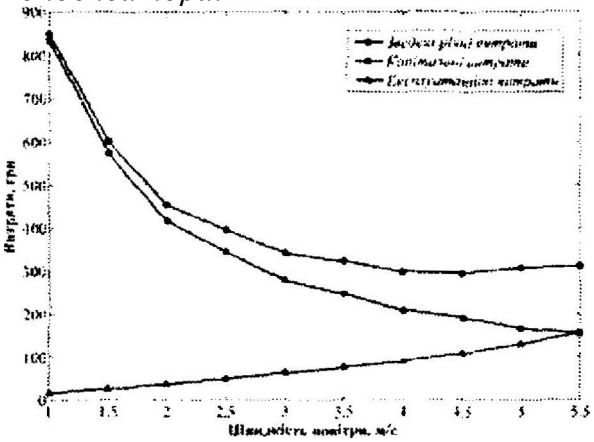


Рис. 19. Залежність витрат від швидкості повітря.

Задача 4. 7ехні ко-економічний розрахунок мікроканального повітряного

Розв'язування здійснено за матеріалами *розділу 3.* В *задачі 4* використані вихідні дані і метод розрахунку теплопередавання і аеродинаміки конденсатора *задачі І.* Обчислена частина зведених річних економічних витрат холодильної машини, які відносяться до конденсатора. У якості обмежень прийнято інтервали змін незалежних параметрів:

- швидкість повітря: = 1.0-5.5,(м/с).
- підігрів повітря в конденсаторі: Д/$_{я}$ = 1.1-2.0,(^{Й}С).

Залежність капітальних, експлуатаційних та частини зведених річних витрат від швидкості повітря наведено на рис. 19.

За результатами розрахунків мінімальні витрати відповідають швидкості повітря в інтервалі від 3.75 до 5.0 м/с. Таким умовам відповідає критерій М.В, Кирличева ($^{Е}ТГС$ = 17...48), менші значення відповідають більшим швидкостям повітря і меншому ступеню підігріву повітря.

Задача 5. Визначення раціональних характеристик конденсатора методом мінімізації виробництва ентропії.

Критерієм оцінювання є загальне виробництво ентропії холодним потоком (повітрям). Термодинамічний аналіз здійснюється на підставі матеріалів *розділу 3.* Незалежними змінними виступають дві головні характеристики конденсатора: густина теплового потоку *і/* та швидкість руху потоку повітря *м>* (критерій Ке).

Визначення *ц* ш Ке-еошт здійснюється графоаналітичним методом за принципом класичних методик розрахунків повітряних конденсаторів (рис. 20).

Ро{рахункові дані виробництва ентропії холодним потоком наведені у графічній формі на риє. 21. Мінімум л.,, сіюстерігається та умови рівності і'",, ш .у" складових виробництва ентропії. У той самий час густина теплового потоку становить т/ = 167-221, (Вт м) за сталої швидкості повітря в апараті УГ-2.0, (м/с).

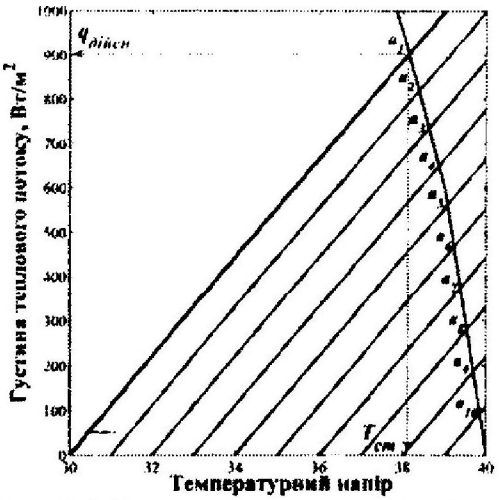


Рис.20. Залежність $q_{дійсн}$ від θ за умови w=*const.*

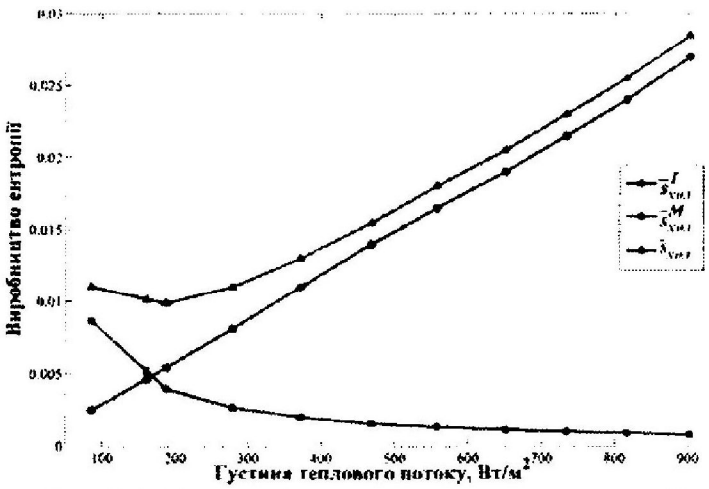


Рис.21. Залежність виробництва ентропії $\bar{S}_{хол}$, $\bar{S}^{T}_{хол}$, $\bar{S}^{M}_{хол}$ від $q_{дійсн}$.

Визначення швидкості руху повітря *w* проведено за *q = const.* Ілюстрації до розрахунків та результати розрахунків J_{mi} подано на рис. 22 - 23 за умов стабільних характеристик холодильної машини. За сталої розрахункової густини теплового потоку *q* і температури стінки $T_{ст}$ характеристика потоку за змінної швидкості руху
повітря *w=var є* пучок прямих з різним кутом нахилу, які перетинаються в одній точці. При цьому змінюються температурний напір *B* і теплове навантаження в апараті Q_K. Мінімум виробництва ентропії спостерігається у діапазоні
співвідношення термічної і механічної складових =2.9...3.9.

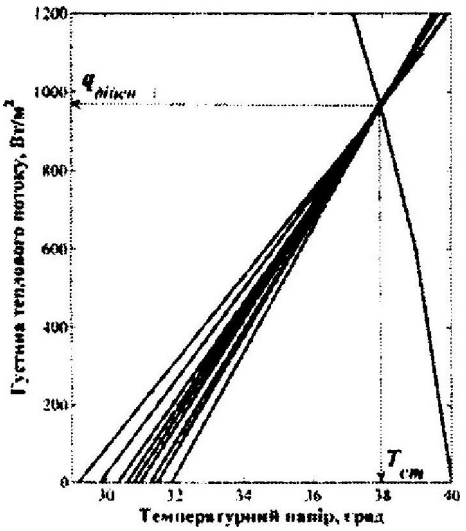


Рис.22. Залежність від *в* за умови </„„„„ - *var.*

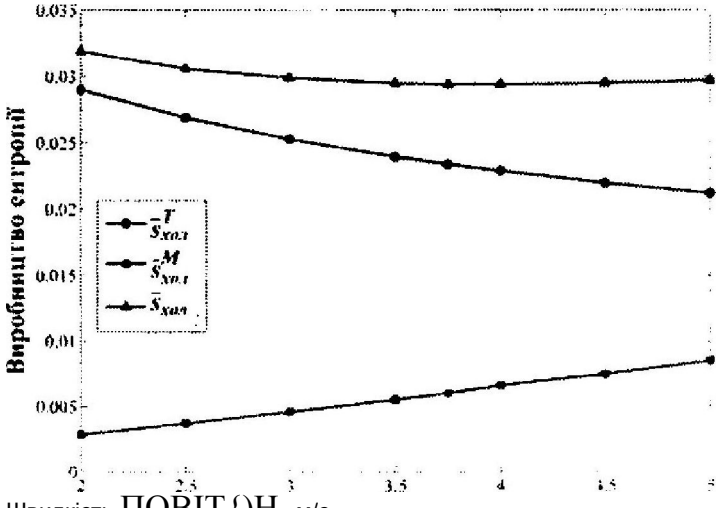


Рис.23. Залежність виробництва ентропії **s** ,u., **s'** . від U-.

ОІ ри мані в задачі результати підтверджено інформацією з відомих технічних джерел, у коментарях до яких підкреслено, іно розрахунки раціональних значень характеристик теплообмінних апаратів за термодинамічними методами є простіші і зручніші під час проектування.

Задача 6. Створення коми ’ютерної програми до теплотехнічних розрахунків мікрокапальних конденсаторів.

Програму RaMiKoN v.L створено для проведення варіантних розрахунків під час проектування. Програму розроблено на основі об’єктно-орієнтованого програмування. Конденсатор розглянуто як певну структуру з набору об'єктів (геометрія теплообмінної поверхні, робоча речовина (холодоагент), теплоносій (повітря)), зі своїми параметрами (конструктивними розмірами, теплофізичними властивостями) і зв'язками між ними (теплове навантаження, граничні умови процесів). Мовою програмування було обрано Object Pascal, середовищем програмування було обрано пакет Borland Delphi 7. Блок-схему подано на рис. 24.

Рис.24. Блок-схема програми RaMiKoN v.l.

Результати перевірки програми адекватні наявним даним різних і пфор маці п 11 их д жерс;і.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Математичнії модель процесів тепловіддавання і гідродинаміки двофазного потоку в мікроканалі, яка розроблена з використанням кореляційних рівнянь з мінімальною кількістю емпіричних коефіцієнтів, забезпечує достовірність результатів розрахунків як для НГС- та НСТС-типів, так і для природних робочих речовин, їх масових швидкостей і температурних режимів роботи конденсатора.

2. Розроблена математична модель процесів повітряного потоку, яка базується на кореляційних рівняннях, що містять узагальнені параметри густини теплового потоку ^, числа Рейнольдса Ке і гідравлічного діаметру сУ , забезпечує формування конструкції конденсатора з одночасним урахуванням тепловіддавання і аеродинаміки.

3. Запропоновано додатковий принцип вибору робочої речовини з урахуванням конструкції теплообмінних апаратів, які комплектуватимуть холодильну машину. Цей принцип базується на визначені внутрішніх необоротних втрат в_ теплообміннику, зокрема в мікроканальному конденсаторі, шляхом побудови ентропійно-циклової моделі холодильної машини і їх частки у загальних необоротних втратах машини. Перевагу має робоча речовина з мінімальною часткою необоротних втрат в конденсаторі по відношенню до загальних втрат в циклі холодильної машини.

4. Доведено, що застосування ентропійного методу термодинамічного аналізу, який засновано на визначені мінімуму виробництва ентропії, забезпечує аналіз теплообмінного апарату окремо від холодильної машини, а безпосередньо в апараті - одного з потоків незалежно від інших, не застосовуючи складні техніко- економічні розрахунки.

5. Проведено числове моделювання основних характеристик (теплового навантаження і потужності вентилятора) конкретної моделі мікроканального конденсатора, які визначались на основі двох критеріїв: мінімуму зведених економічних витрат і мінімуму виробництва ентропії. Результати розрахунків двома незалежними методами мають розбіжність від 2 до 8%. Ентропійний метод має перевагу у випадку відсутності вартісних показників теплообмінних апаратів.

6. Рекомендовано результати роботи для використання під час випробувань теплообмінних апаратів нового покоління в умовах науково-навчальної лабораторної бази кафедри холодильних машин, установок і кондиціювання повітря.

СПИСОК ОПУБЛЇКОВАНЇХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Морозкж, Л.И. Анализ процесса гидродинамики при конденсации рабочего вещества в микроканальном конденсаторе [Текст]/Л.И. Морозюк. О.В. Ольшевская // Холодильна техніка і технологія. - 2012. - №4(138) - С.22-25. *Особистий внесок здобувана: варіантні розрахунки гідродинаміки потоку к мікроканалі та аналіз отриманих результатів.*

2. Морозюк, Л И. К расчету теплоотдачи в микроканалах двухходового воздушного микроканалыюго конденсатора [Текст]/ О.В. Ольшевская, Л.І.

—...гг)V,,«,, „..... ».«.«.l...;.... : м|і *> і С'і *>1

Особистий внесет здобувач<г формування методики розрахунку пронесу тепловіддавання у *мікрокапалі.*

3. Морозюк, Л. 11. Моделирование процесса теплопередачи к малом микроканальном воздушном конденсаторе [Текст]/ Л.И. Морозюк, О.В. Ольшевская // Шестая международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». - 13-15 ноября. 2013. - Санкт-Петербург. Россия. - С.80-82.

Особистий внесок здооувача: розрахунки характеристик конденсатора за результатами експерименту і порівняння їх з теоретичними розрахунками.

4. Морозюк, Л.И. Определение паросодержания рабочего вещества при расчете микроканальных конденсаторов холодильных машин [Текст]/ Л.И. Морозюк, О.В. Ольшевская // Третя міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 75-річчю створення Миколаївської обл. - 4-6 жовтня, 2012. - Миколаїв, Україна - С.354-356.

Особистий внесок здобувана: доведення необхідності врахування паровмісту потоку для розрахунку гідродинаміки в мікроканальному конденсаторі.

5. Морозюк, Л.И. Программный комплекс для расчета микроканальных воздушных конденсаторов [Текст]/ Л.И. Морозюк, О.В. Ольшевская // Обладнення та технології харчових виробництв. - 2013. - № 31. - С.220-228.

Особистий внесок здобувана: створення алгоритму розрахунку теплотехнічних характеристик мікроканапьного конденсатора.

6. Морозюк, Л.И. Термодинамический анализ теплообменных аппаратов в составе энергопреобразующей системы энтронийно-цикловым методом [Текст]/ Л.И. Морозюк, В.В, Соколовская, О.В. Ольшевская // Вестник Международной академии холода. - 2013. -№ 4. - С. 24-27

Особистий внесок здооувача: варіантні розрахунки необоротних втрат в основних теплообмінних апаратах холодильної машини.

7. Ольшевская. О.В. Тепловые и аэродинамические характеристики микроканального воздушного конденсатора [Текст]/ О.В. Ольшевская// Восьма міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 90-річчю Одеської державної академії холоду «Сталий розвиток и штучний холод». - 8-10 жовтня, 20)2. - Одеса, Україна. - С. 146-151.

8. Ольшевская, О.В. Технико-экономический анализ эффективности воздушного микроканального конденсатора [Текст]/ О.В. Ольшевская// Третья международная конференция с элементами научной школы для молодежи «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур». Сборник научных трудов.- 10-12 декабря, 2013. - Москва, Россия. - С. 148-151.

9. Ольшевская. О.В. Характеристики воздушного потока в микроканальном конденсаторе [Текст]/ О.В. Ольшевская// Холодильна техніка і технологія. - 2014. - №1(147) С.4-8.

10. Ольшевська,О.В. Аналіз умов теплопередачі у двоходовому повітряному мікроканальному конденсаторі [Текст] О.В. Ольшевська, Л.І. Морозюк/ Обладнення та технології харчових виробництв. -2012. № 2 9 . С.I4X-155.

Особые /ний внесок здооувача: варіантні розрахунки процесу теплопередавання і аналіз отриманих результатів.

т

Онуб.тіковані праці апробаційного характеру:

1. Ольшевская, О.В. Выбор рабочих веществ для холодильных машин с микрокаиальными теплообменными аппаратами [Текст]/ 0.13. Ольшевская// Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології».- 18-19 квітня, 2011. - Одеса, Україна. - С.50-51.
2. Ольшевская. О.В. Исследование движения воздуха в воздушном микроканальном конденсаторе [Текст]/ О.В. Ольшевская// Вторая международная конференция с элементами научной школы для молодежи «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур». Сборник научных трудов - 14-16 декабря, 2011. - Москва, Россия. - С. 102-103.
3. Морозюк, Л.И. Об оптимизации теплообменных аппаратов различными методами [Текст]/ Л.И. Морозюк, В.В. Соколовская, О.В. Ольшевская // Международная конференция «Инновации в холодильной технике». - 18 апреля, 2012. - Москва, Россия. - С. 57-58.
4. " Ольшевская. О.В. Расчет гидродинамики в микроканальном воздушном конденсаторе в програмне RaMiKoN v.l [Текст]/ О.В. Ольшевская// Дев'ята міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». 10-12, вересня 2013. - Одеса, Україна. - С. 154-155.
5. Ольшевская, О.В. Гидрогазодинамический расчет потока рабочего вещества в микроканальном воздушном конденсаторе [Текст]/ О.В. Ольшевская// «Техніка та технологія харчових виробництв», Збірник тез студентських наукових праць. - 2011. - Донецьк, Україна. - №6. - С.89-90.
6. Ольшевская, О.В. Натурні випробовування мікроканального повітряною конденсатора [Текст]/ О.В. Ольшевская. Н. Колісніченко // «Техніка та технологія харчових виробництв», Збірник тез студентських наукових праць. -2013. - Донецьк. Україна. - №8/2. - С. 119-120.
7. Olshevskaya, O. Analysis of microchannel condensers [Text]/ O. Olshevskaya// Студентська науково-технічна конференція «Actual problems in professional sphere». - 12 квітня, 2012. - Одеса, Україна. - С. 15-18.
8. Ольшевская, О.В, Исследование гидродинамики рабочего вещества в микроканальном конденсаторе [Текст]/ О.В. Ольшевская, С.К. Осадчий // Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології».- 24-25 квітня, 2012. - Одеса, Україна. - С.58.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Соколовская, В.В. Применение метода минимизации производства энтропии при проектировании кожухотрубного конденсатора [Текст]/ В.В. Соколовская. О.В. Ольшевская// Перша міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 90-річчю Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарови «Інновації в суднобудуванні ти оксанотсхніці», Матеріали.- 15-17 вересня, 2010. - Миколаїв. Україна, - С.232.
2. Ольшевская, О.В. Термодинамическое исследование водяного кожухотрубного конденсатора [Тексі]/ О.В. Ольшевская// Первая международная конференция с -»лементами научной школы для молодежи «Инновационные

разработки к области іехники и физики низких ісмнсрлтур». Сборник научных труден,- 8-10 декабря. 2010. - Москва, Россия. - С. 188-190.

УМОВНІ П О З Н А Ч Е Н Н Я

ЫТр) - масова швидкість, (кг/(м'с)) [рів.(5)]: *р/і* - падіння тиску [рів.(6)]; р/і; -постійна величина [рів.(6)]; $E_{саи}$, $H_{саг)г}$ $P_{спиі}$ ІУе - комплекс величин, постійна величина [рів.(б)]; *пі* - масова витрата, (кг/с), [рів.(7)], $Ь_п$ - ширина пластини з мікроканалами. (м), [рів.(7)], $/_т$- коефіцієнт тертя, [рів.(8)], $и_ж$ - крок жалюзі, (м), [рів.(8)], С|, С\ - константи, [рів.(ІЗ)], //^, масштабні коефіцієнти, [стор. 10].

АННОТАЦИЯ

Ольшевская О.В. Разработка методов анализа и расчета эффективных микроканальных воздушных конденсаторов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 - «Холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования». - Одесская национальная академия пищевых технологий, МОН Украины, Одесса, 2014.

Диссертация посвящена решению важной научно-технической проблемы - повышению энергетической эффективности и экологической безопасности холодильных машин и тепловых насосов путем внедрения новых типов теплообменных аппаратов, основанных на миниатюризации конструктивных решений. Речь идет о микроканальных теплообменных аппаратах, в частности, микроканальных воздушных конденсаторах.

Анализ литературных источников показал, что физические явления в микроканалах интенсивно изучают в ведущих мировых научных центрах как основу современных высокотехнологических инноваций. Существующие многочисленные исследования процессов теплоотдачи и гидродинамики в микроканалах не приводят инженерных методик расчетов теплотехнических характеристик теплообменников и, в частности, воздушных конденсаторов, и методов оценки их энергетической эффективности. Актуальность приобрела разработка методик расчетов и анализ эффективности микроканальных теплообменных аппаратов с использованием современных методов термодинамического анализа.

Разработана методика расчета теплотехнических характеристик микроканальных конденсаторов на основе математических моделей теплоотдачи, гидро- и аэродинамики двухфазного потока рабочею вещества в микроканале и воздушного потока в коротком канале сложной формы. Из многообразия корреляционных уравнений для расчетов использованы те, которые содержат минимальное количество эмпирических коэффициентов, и обобщенные параметры (плотность теплового потока, число Ие) и тем самым обеспечивают расчет для широкого круга рабочих веществ, геометрических размеров каналов и температурных режимов работы конденсатора.

Получили развитие методы оценки эффективности работы гсилообмепмых аппаратов. Впервые использован энтропийно-цикловой метод термодинамического анализа для определения внутренних необратимых потерь в м н крокам ал ьиом конденсаторе, их доли в общих потерях в цикле машины и предложен принцип выбора рабочих веществ, который обеспечивает решение задач энергосбережения па этапе проектирования холодильных машин с микрокапальпым конденсатором.

Энергетическая эффективность мнкроканального конденсатора оценена двумя способами: технико-экономическим анализом доли приведенных годовых затрат я термодинамическим, основанным па установлении минимума производства энтропии в аппарате. Проведено численное моделирование мнкроканального конденсатора с определением основных характеристик (плотности теплового потока и числа Рейнольса) по двум критериям: минимуме приведенных зкномических затрат и минимуме производства энтропии, что обеспечивает решение задач энергосбережения в процессе проектирования холодильных машин с микроканальным конденсатором.

Выполненная сравнительная оценка результатов анализа двумя методами доказала, что метод минимизации производства энтропии - единственный метод термодинамического анализа, который позволяет на стадии проектирования одновременно учитывать внешние и внутренние необратимые потери в теплообменном аппарате или в одном из его потоков в отрыве от всей машины, не применяя сложные технико-экономические расчеты.

Проведенные натурные испытания мнкроканального конденсатора в составе авторефрижераторной холодильной установки установили достоверность предложенной математической модели. Разработаны теоретические основы для испытаний теплообменных аппаратов нового поколения.

Применение рассмотренных методов анализа оценки эффективности теплообменных аппаратов обеспечивает реализацию энергосберегающих технологий в процессе проектирования.

Ключевые слова: микроканальный конденсатор, теплоотдача, гидродинамика, аэродинамика, энергетическая эффективность, необратимые потери, энтропийно-цикловой метод, минимизация производства энтропии, технико-экономический анализ.

АНОТАЦІЯ

Ольшевська О.В. Розроблення методів аналізу та розрахунку ефективних мікроканальних повітряних конденсаторів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 - «Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціювання». - Одеська національна академія харчових технологій, МОН України, Одеса, 2014.

Дисертацію присвячено вирішенню важливої науково-технічної проблеми - підвищенню енергетичної ефективності і екологічної безпеки холодильних машин і теплових насосів шляхом впровадження нових типів теплообмінних апаратів, засіюваних на мініатюризації конструктивних рішень. Мова йде про мікроканальні теплообмінні апарати, зокрема, мікроканальні повітряні конденсатори.

Розроблено методику розрахунку теплотехнічних характеристик мікроканальних конденсаторів на основі математичних моделей тепловіддавання, гідро- і аеродинаміки двофазного потоку робочої речовини в мікроканалі та повітряного потоку в короткому каналі складної форми.

Отримали розвиток методи оцінки ефективності роботи теплообмінних апаратів. Ентропійпо-цикловий метод термодинамічного аналізу дозволив встановити зовнішні і внутрішні необоротні втрати в циклі холодильної машини, пов'язані з процесом конденсації в мікроканалі. та визначив принцип вибору робочої речовини для машини, яка укомплектована мікрокапальпим конденсатором.

Розроблено теоретичні основи для випробовування теплообмінних апаратів нового покоління. Застосування розглянених методів аналізу оцінки ефективності теплообмінних апаратів забезпечує реалізацію енергозберігаючих технологій в процесі проектування.

Ключові слова: мікроканальний конденсатор. тепловіддавання, гідродинаміка, аеродинаміка, енергетична ефективність, необоротні втрати, ентропійно-цикловий метод, мінімізація виробництва ентропії, техніко-економічний аналіз.

ABSTRACT

Olshevska O.V. Development of methods for the analysis and calculation of effective microchannel air-cooled condensers. - Manuscript.

Dissertation for the degree of the candidate of engineering sciences, specialty 05.10.14 - «Refrigerating, vacuum and compressor technique, air conditioning systems». - Odessa national academy of food technologies, MES of Ukraine, Odessa, 2014.

The dissertation is devoted in solving a relevant scientific and technical problem. This problem is increasing the energy efficiency and ecological reliability of the refrigeration machines and heat pumps through introduction of new design types of the heat exchangers. New design types are based on miniaturization of equipment. MicroChannel heat exchangers and, particularly, microchannel air-cooled condensers are discussed in the dissertation.

In the dissertation was developed the methodology for calculations of thermotechnical characteristics of the microchannel condensers based on mathematical models of heat transfer, fluid- and aerodynamics (a) of two-phase flow of a working fluid within a microchannel, and (b) of an air flow in a short channel of complex configuration.

Methods for the evaluation of the effectiveness of the heat exchangers were expanded in the dissertation as well.

An entropy-cycle method of the thermodynamic analysts let us to determine (a) internal and external irreversibiities within thermodynamic cycle (condensation process within microchannes) of refrigeration machine, and (b) principle of selection of working fluids for the refrigeration machines with microchannel condensers.

The comparison analysis for estimation of the energetic effectiveness using techno-economic analysis and method of the minimization of entropy generation was conducted. It was proven that the method of the minimization of entropy generation is a unique one, and let us on the design level to determine internal and external irreversibilities either within entire heat exchanger or within selected flow. Note that the complex techno- economic analysis should not be involved.

In the dissertation, the theoretical principles for experimental investigation of a new generation of the heat exchangers were developed. The application of the analyzed methods for evaluation of effectiveness of the heat exchangers let us to apply the energy saving technology for the design process.

Key words: microchannel condenser, heat transfer, hydrodynamics, aerodynamics, energy efficiency, entropy-cycle method, irreversibility, entropy generation minimization, techno-economic analysis.