

Автореферат
МГО

g-холод.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МОРОЗЮК ЛАРИСА ІВАНІВНА

УДК 536.7:621.574

**РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА ОТРИМАННЯ ТЕПЛА ТА ХОЛОДУ В
УСТАНОВКАХ З БАГАТОКОМПОНЕНТНИМИ ТА
БАГАТОФАЗНИМИ РОБОЧИМИ РЕЧОВИНАМИ**

03.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса – 2013

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Нікульшин Руслан Костянтинович
Одеська національна академія харчових технологій
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського,
професор кафедри холодильних машин і установок

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Драганов Борис Харлампієвич
Національний аграрний університет,
кафедра теплоенергетики,
професор кафедри

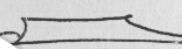
доктор технічних наук, професор
Дубковський В'ячеслав Олександрович,
Одеський національний політехнічний університет,
кафедра атомних електричних станцій,
завідувач кафедри

доктор технічних наук, доцент
Гакал Павло Григорович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,
кафедра аерокосмічної теплотехніки,
завідувач кафедри

Захист відбудеться "17" вересня 2013 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.052.04 в Одеському національному політехнічному університеті за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, ауд. _____

Дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеського національного університету за адресою: 65044, м. Одеса, проспект Шевченка, 1.

_____ 2013 р.


Баласанян Г.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

xv 851
ІНСТИТУТ ХОЛОДУ
ОНАХТ
Бібліотека

Актуальність теми. Галузь техніки перетворення та отримання тепла і холоду є значною частиною енергетичного сектора будь-якої країни. Залежно від кліматичних умов країни і рівня розвитку промисловості від 7 до 20% спожитої електроенергії припадає на ці статті. У всьому світі енергетичний сектор в цілому, а також його складові частини, перебувають на новому етапі розвитку, що спричинено міжнародними, регіональними і національними актами, які декларують суворіші вимоги до сьогодення: економне витрачання енергетичних ресурсів та екологічну чистоту виробництва усіх видів продукції.

Для теплопомпової і холодильної техніки ці вимоги обумовили заборону на експлуатацію широковідомих і найуживаніших робочих речовин. Як найскладніша характеризується нинішня ситуація щодо систем малої і середньої продуктивності, що пов'язано з великою кількістю щорічно масово вироблених та введених в експлуатацію одиниць цього обладнання. Особливостями малих і середніх теплопомпових та холодильних систем (порівняно з промисловими системами) є, з одного боку, відносно високе питоме споживання електроенергії водночас з підвищенням екологічним ризиком виникнення небезпечних ситуацій, з іншого боку, – реальні, великі потенційні можливості впровадження енергозберігаючих та екологічних технологій. Таким чином, перспективний напрям розвитку теплопомпової і холодильної техніки полягає у розробці та реалізації науково-технічних рішень, здатних забезпечити енергоефективні та екологічно чисті технології для процесів перетворення та отримання тепла і холоду за мінімальних витрат, що необхідно під час створення техніки нового типу.

Впровадження сучасних робочих речовин, вдосконалення тепловикористальних установок з розширеною здатністю утилізації будь-якого виду тепла (як теплових викидів, так і поновлюваних джерел енергії) одночасно зі створенням нових схемно-циклових рішень є тими напрямками науково-технічних рішень, які сприяють створенню енергетично ефективних і екологічно безпечних типів теплопомпових і холодильних систем.

Численні наукові дослідження і практичні розроблення розв'язують проблеми енергозбереження на підставі параметричної оптимізації відомих схемно-циклових рішень. Такий підхід дає змогу ефективно використовувати вже розроблені й добре перевірені різноманітні методи математичного моделювання та оптимізації. Здобуті результати обмежуються вибором оптимальних параметрів функціонування теплопомпових або холодильних систем під час прямого перебирання завчасно вибраних схемно-циклових рішень і робочих речовин. Такий підхід не може бути ґрунтом (критерієм) для перспективного проектування, оснований на розв'язанні енергетичних та екологічних завдань. Що стосується синтезу схемно-циклових рішень із заздалегідь невідомою робочою речовиною, то таке завдання не ставилося взагалі, оскільки й досі немає загальної теорії, на підставі якої можна було б удосконалювати методи структурного аналізу, синтезу установок для перетворення і отримання тепла і/або холоду різного призначення. Йдеться про

інтегрування у процес проектування сучасних методів термодинамічного аналізу та математичного моделювання для проведення структурного аналізу й синтезу схемно-циклових рішень у сукупності із сучасними напрямками у виборі реальних і створенні нових (сумішей) робочих речовин, з подальшим проведенням теплотехнічних розрахунків, що має на меті здійснення синтезу схемно-циклового рішення з одночасним оптимальним вибором робочої речовини. Такий комплексний підхід дає змогу створити енергетично та екологічно ефективні системи перетворення і отримання тепла і холоду.

У створенні такої теорії і полягає актуальність цієї роботи.

Науково-технічна суперечність полягає в тому, що методи розрахунку установок для перетворення і отримання тепла і холоду з однокомпонентними робочими речовинами розроблені для завчасно заданої структури, тоді як експерименти, проведені з багатокомпонентними речовинами в заданій структурі, показують, що зміна робочої речовини потребує зміни структури установки.

Наукова проблема полягає у відсутності термодинамічно обґрунтованого вибору робочої речовини під час синтезу структури установки і у відсутності методу функціонального проектування елементів абсорбційно-дифузійних установок, що унеможливило б розв'язання завдань енергозбереження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертацію виконано відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 1716 від 24.12.01 р. «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та в агропромисловому комплексі», Постанови Кабінету Міністрів України від 3.04.2006 р. № 412 «Про забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів»; згідно із завданням наукової держбюджетної тематики ОДАХ (НДР № МК 03/10 «Розробка та удосконалення сучасних методів термодинамічного аналізу для оптимізації енергоперетворювальних систем»); у співстворстві з Університетом Копенгагена (Данія) до п. 1.2 «Lagrange-Formalism and Thermodynamics of Irreversible Processes», ініційованому Європейським Союзом Carnet (Carnot Network) (ICOP-DISS-2168-96); відповідно до держбюджетної тематики Київського НВПО «Веста» ВНДІЕМ (НДР № 185/22-1-89 «Разработка и изготовление перспективных моделей холодильников и научно-исследовательских стендов для изучения процессов гидродинамики и теплообмена в АДХ» (Д.Р.№У60953); НДР № 0-402-90 «Проведение исследований с целью разработки перспективных агрегатов АДХ» (Д.Р.№У67441).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розвиток термодинамічної теорії і методів дослідження процесів перетворення і отримання тепла і холоду в установках з багатокомпонентними і багатофазними робочими речовинами для енергозбереження шляхом формування комплексу «структура - робоча речовина».

Для її досягнення необхідно розв'язати такі завдання:

- створити метод формування схемно-циклових рішень установок для перетворення і отримання тепла і холоду з багатокомпонентними та

багатофазними речовинами, оснований на сучасних методах прикладної термодинаміки;

- розробити метод системного аналізу для здійснення синтезу структури установок для перетворення і отримання тепла і холоду з багатокомпонентними і багатофазними робочими речовинами;

- розробити метод узгодження величин корисних ефектів у процесі синтезу структури компресорних теплових pomp з кількома температурними рівнями підведення і відведення тепла;

- розробити метод синтезу схемно-циклових рішень абсорбційно-дифузійних установок на підставі теоретико-графового методу з використанням ациклічних графів;

- розробити математичні моделі процесів тепломасообміну в елементах абсорбційно-дифузійних установок;

- розробити метод функціонального проектування елементів абсорбційно-дифузійних установок.

Об'єктом дослідження стали установки для перетворення і отримання тепла і холоду з багатокомпонентними і багатофазними робочими речовинами.

Предметом дослідження є теплові та гідрогазодинамічні процеси з багатокомпонентними і багатофазними робочими речовинами.

Методи дослідження. Термодинамічний аналіз компресорних установок для перетворення та отримання тепла і холоду та абсорбційно-дифузійних установок дав змогу визначити ступінь термодинамічної досконалості схемно-циклових рішень; теоретико-графовий метод «пошуку на дереві рішень» допоміг синтезувати схемні рішення з огляду на енергетичну ефективність та з одночасним отриманням необхідних температур в охолоджуваному об'єкті; на підставі математичного моделювання тепломасообмінних процесів в абсорбційно-дифузійних установках визначено характер розподілу температур по теплообмінній поверхні в багатопотокових теплообмінних апаратах; метод аналогій щодо теплотехнічних розрахунків елементів абсорбційно-дифузійних установок дав змогу врахувати особливості процесів випаровування рідини в парогазове середовище.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в дисертаційній роботі:

- дістав розвитку метод формування схемно-циклових рішень установок для перетворення і отримання тепла і холоду з багатокомпонентними та багатофазними речовинами, оснований на сучасних методах прикладної термодинаміки, що уможливило формування комплексу «структура - робоча речовина» для розв'язання завдань енергозбереження;

- дістав розвитку метод системного аналізу установок для перетворення і отримання тепла і холоду з багатокомпонентними і багатофазними робочими речовинами, який базується на формуванні узагальнених схем установок, що дало змогу здійснити синтез схемних рішень, відповідних до завдань енергозбереження;

- дістав розвитку метод узгодження величин корисних ефектів у процесі синтезу структури компресорних теплових pomp, який ґрунтується на аналізі технологічного процесу із застосуванням цих установок, що допомогло

розв'язати проблему енергозбереження у розглядуваному технологічному процесі;

- уперше розроблено метод синтезу схемно-циклових рішень абсорбційно-дифузійних установок, оснований на використанні ациклічних графів – дерев теоретико-графового методу, що забезпечило температурний ефект в охолоджуваних об'єктах у поєднанні з необхідним складом елементів, відповідним термодинамічним циклом та його параметрами згідно зі стандартом на побутові прилади;

- уперше розроблено математичні моделі процесів тепломасообміну в елементах абсорбційно-дифузійних установок, основані на критеріальних рівняннях тепломасообміну для багатофазних потоків, що дало змогу визначити характер розподілу температур по поверхні теплообміну та зміну парціальних тисків компонентів у трифазних потоках багатопотокових теплообмінників;

- дістав розвитку метод функціонального проектування елементів абсорбційно-дифузійних установок, який базується на методиках теплотехнічних розрахунків, що дало підставу проводити багатоваріантні теплотехнічні та конструктивні розрахунки з кінцевою метою – розв'язання завдання енергозбереження.

Практична значимість одержаних результатів дисертаційної роботи:

- використання «методу циклів» уможливило створення працездатних схем КУ і АДУ на багатокомпонентних робочих речовинах з характеристиками, що відповідають засадам енергозбереження;

- метод системного аналізу АДУ дав змогу сформуванню дійсних схемних рішень установок, що відповідають заданим вихідним даним;

- метод узгодження теплових характеристик КУ для багатотемпературних об'єктів визначає вибір параметрів робочої речовини для забезпечення необхідного співвідношення продуктивностей відповідно до технічного завдання щодо проектування;

- метод «пошуку на дереві рішень» дав підстави сформуванню схемно-циклових рішень АДУ з огляду на задані взаємопов'язані температурні і теплові характеристики;

- функціональне проектування стало ґрунтом для визначення теплових та конструктивних характеристик елементів АДУ, а також для висновків про працездатність установки в цілому;

- результати дисертаційних досліджень слугують підґрунтям робіт з надання технічної допомоги Васильківському заводу холодильників з підвищення якості абсорбційних побутових пристроїв для розроблення перспективних моделей;

- результати роботи стали основою для рекомендацій Університету Копенгагена (Данія) щодо створення системи когенерації «Ректифікаційна колона - теплова помпа»;

- результати роботи слугують базою для навчальних дисциплін «Теоретичні основи холодильної техніки», розділи «Робочі речовини», «Складні схеми

холодильних машин», «Термодинамічний аналіз циклів парокомпресорних холодильних машин».

Особистий внесок здобувача. Роботи [6, 8, 10, 11, 12, 14, 19, 20, 21, 23] виконано одноосібно. У спільних публікаціях автору належать: [1, 27, 33] – розрахунки тепловіддавання і гідродинамічних характеристик теплообмінних апаратів з аналізом процесів за результатами експерименту; [2, 15, 16, 22, 24, 26, 32, 34] – термодинамічний аналіз циклів і практичні аспекти їхньої реалізації; [3, 4, 5, 7, 13, 35] – моделювання термодинамічних процесів і циклів з різними робочими речовинами і термодинамічними властивостями, вибір робочої речовини; [9, 25] – огляд літератури з аналізом світового ринку холодильної та теплопомпової техніки; [16, 17, 18, 27, 28, 32, 33, 34] – керівництво роботою; [17, 18, 19, 28, 30] – розроблення узагальненої теорії і методів функціонального проектування теплових pomp і теплообмінних апаратів абсорбційно-дифузійної установки; [29, 31] – аналіз необоротних втрат у теплообмінних апаратах КУ.

Апробація результатів дисертації. Дисертацію обговорено на засіданнях кафедри холодильних машин і установок ОНАХТ (ОДАХ). За темою дисертації виголошено доповіді на 19-th International Congress of Refrigeration (Netherlands, The Haag, 1994), на Conference Commission IIR/IIF B1, B2, E1, E2 "ECO-96" (Romania, Bucharest, 1996), на Conference International sur les pompes a chaleur a ba-sorption" (Canada, Montreal, 1996), на 5-th International Energy Conference" (Canada, Toronto, 1996), на International Conference IIR/IIF "Cold Climate NVAC'97" (Iceland, Reykjavik, 1997), на 10-th та 11-th International Conferences on Thermal Engineering and thermogrammetry (THERMO) (Hungary, Budapest, 1997, 1999), на International Conference IIR/IIF "Heat Transfer and Safety Issues in "Natural" Refrigerants" (USA, College Parc, 1997), на International Conference Natural working fluids'98 (Norway, Oslo, 1998), на Conference Emerging Trends in Refrigeration and Air-Conditioning" (India, New Delhi, 1998), на Всесоюзной научно-технической конференции "Холод - народному хозяйству" (СССР, Ленинград, 1991), на International Symposium on "New Application of Refrigeration to Fruit and Vegetables Processing" (Turkey, Istanbul, 1994), на 60-ой учебно-методической и научно-технической конференции "Теория и практика вузовской науки" (Одесса, ОГАХ, 1995), на International Symposium "Air - Conditioning in high rise buildings" (Shanghai, China, 1997), на Международной научно-технической конференции "Холод и пищевые производства" (Россия, С.-Петербург, 1996), на International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer (Turkey, Cesme, 1997), на International Conference of IIF/IIR "Refrigeration utilization for transportation in hot climate areas" (Russia, Astrakhan, 1997), на International Conferences IIR/IIF, Commission B2, C2,D1,D2/3, 23-26 (Bulgaria, Sofia, 1998, 1999), на 20-th International Congress of Refrigeration (Australia, Sidney, 1999), на Международной конференции "Холодильная техника. Проблемы и решения" (Россия, Астрахань, 1999), на 14-th-16-th International Congresses of Chemical and Process Engineering (Czech Republic, 2000, 2001 и 2004), на научно-технической конференции "Современные проблемы низкотемпературной техники" (Одесса,

2002), на Международной научно-технической конференции “Україна наукова” (Днепропетровск – Запорожье, 2004), на Humboldt-Kolleg “Energy Challenges of the 21st Century: Science, Technology, Economy, Society” (Ukraine, Odessa, 2007), на 6-ой международной конференции “Современные проблемы холодильной техники и технологии” (Одесса, 2007), на VI международной научно-технической конференции “Современные проблемы холодильной техники и технологии” (Одесса, 2007), на I Міжнародній науково-технічній конференції “Інновації в суднобудуванні і океанотехніці” (Миколаїв, 2010), на Международной конференции с элементами научной школы для молодежи “Инновационные разработки в области техники и физики низких температур” (Россия, Москва, 2010), Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених та студентів “Стан досягнення і перспективи холодильної техніки і технології” (Одесса, 2011), а також на Международной конференции “Инновации в холодильной технике” (Россия, Москва, 2012).

Публікації. За темою дисертації здобувач опублікував 76 наукових праць, а саме: 25 публікацій у фахових виданнях, визнання ВАК України (з них 10 одноосібно); 10 – у фахових журналах Росії та за кордоном; 14 повних текстів доповідей на міжнародних конференціях та 23 тези доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях і конгресах надруковано у збірниках наукових праць; 4 – патенти.

Обсяг і структура дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Роботу викладено на 352 стор., вона містить 129 рисунків, 12 таблиць, список використаних джерел містить 257 найменувань на 25 стор.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність, сформульовано науково-технічні суперечності, проблему, мету і завдання, зазначено наукову новизну і практичну цінність дослідження.

У *розділі 1* обговорено проблему вибору робочої речовини для установок перетворення та отримання тепла і холоду, що працюють за зворотними змішаними й гібридними термодинамічними циклами. Проблема розкрито послідовно, починаючи від пошуку робочої речовини і закінчуючи вибором оптимальної (найкращої) робочої речовини як відповідної до різних критеріїв, сформованих у процесі розвитку холодильної та теплопомпової техніки. Цими критеріями є такі: основні термодинамічні і теплофізичні властивості, що впливають на ступінь термодинамічної досконалості циклу, на конструкцію теплообмінних апаратів; взаємодія з конструкційними матеріалами, взаємодія з мастильними оливами і водою; вплив на організм людей та харчові продукти; економічні (вартість обладнання) та екологічні показники (ODP, GWP, TEWI).

Задовільнення усіх цих вимог привело до зміни номенклатури використовуваних чистих робочих речовин і появи великого класу багатокомпонентних речовин, що складаються з чистих компонентів, дозволених у виробництві та застосуванні, а також натуральних речовин.

Посилаючись на роботи провідних учених, автор аналізує використання сумішей, простежує еволюцію їх якісного та кількісного складу, галузей застосування. Підсумком розгляду стає класифікація установок, що працюють з багатокомпонентними робочими речовинами як комплекс «структура - робоча речовина».

До терміна «багатокомпонентні» автор додає термін «багатофазні», оскільки цей термін вживають під час аналізу циклів, якщо робоча речовина перебуває в різних фазах не тільки у двофазній зоні, але й в однакових фазах на різних рівнях температур і тисків, або багатокомпонентна суміш має в своєму складі газ, неконденсований за робочих тисків і температур, що реалізуються в установці.

Для вибирання суміші залишаються вимоги, пропоновані до робочих речовин загалом, та оцінні критерії їх термодинамічної досконалості. Послідовно, відповідно до теорії Р. Планка, розглянено термодинамічні та теплофізичні властивості сумішей, проаналізовано специфічні необоротні втрати в циклах із сумішами, вказано шляхи їх зниження через ускладнення схем установок і зміни конструкції апаратів.

На підставі аналізу автор вважає перспективним напрямом з використанням сумішей установок для охолодження і нагрівання потоків рідин та газів і багатотемпературні теплофікаційні установки.

З усіх критеріїв як головний розглянено енергетичний – ступінь термодинамічної досконалості суміші $\eta_{ст} = COP_{дист} / COP_{обр.об'єкти}$.

Автор доводить, що використання циклу Карно як універсального оборотного циклу-зразка (рис. 1а, б) впливає на висновки, які часто свідчать не на користь дійсних робочої речовини і установок. У розділі порушено і розв'язано завдання вибору іншого циклу-зразка, найбільш відповідного до використовуваних робочих речовин і процесів у теплових помпах і холодильних установках. Автор пропонує розглядати як оборотний зразок - цикл Лоренца для циклів з неазеотропними сумішами (рис. 1в), у яких процеси підведення і відведення тепла здійснюються за змінних температур. Для циклів з внутрішньою регенерацією тепла запропоновано узагальнений цикл Лоренца («Лоренц з регенерацією») (рис. 1г). Пропоновані цикли призначаються для аналізу прямих циклів (енергетичних установок) і зворотних циклів з компенсувальним процесом у вигляді механічної роботи.



Рис.1. Термодинамічні оборотні цикли-зразки

Установки когенерації, холодильні установки та теплові помпи, що застосовують енергоресурси у вигляді тепла (тепловикористальні) «самі»

здійснюють прямий цикл; робота прямого циклу безпосередньо використовується у зворотному. На підставі цього за оборотний цикл-зразок можна взяти будь-яке поєднання термодинамічних циклів Карно і Лоренца.

Тепловикористальним компресорним установкам з однією робочою речовиною в обох циклах відповідає зразок – складний цикл «Карно-Карно» (рис. 1д), а за наявності внутрішньої регенерації тепла – «Карно з регенерацією - Карно з регенерацією» (рис. 1е). У тих самих установках під час підведення і відведення тепла у прямому циклі в надкритичній зоні, а у зворотному – у двофазній зоні, або в абсорбційно-дифузійній з обмеженою кратністю циркуляції в генераторі і в абсорбері доцільніше застосовувати цикл-зразок «Лоренц-Карно». Цикл «Лоренц з регенерацією - Карно з регенерацією» (рис. 1ж) можна використати замість попереднього за умов внутрішньої регенерації тепла в обох циклах.

Цикл «Лоренц з регенерацією - Лоренц з регенерацією» належить до розгляду процесів в абсорбційно-дифузійних установках (рис. 1з). Під час вибирання цього циклу-зразка можна проводити будь-які термодинамічні дослідження будь-яких типів установок з будь-якими багатокомпонентними і багатофазними робочими речовинами.

Під час введення середньопланіметричних температур у процеси підведення і відведення тепла можна використати еквівалентний цикл «Карно з регенерацією - Карно з регенерацією», у якому всі аналітичні залежності залишаються справедливими. Отже, властивості сумішей є базою для створення комплексу «структура - робоча речовина» і вибору циклу-зразка для встановлення ступеня термодинамічної досконалості установки.

У розділі 2 на окремих прикладах розглянено створення комплексів «структура - робоча речовина» компресорних холодильних установок і теплових pomp з багатокомпонентними і багатофазними робочими речовинами (азеотропними, неазеотропними розчинними, неазеотропними взаємонерозчинними та однокомпонентними багатофазними) з використанням термодинамічного аналізу «методом циклів».

Термодинамічний аналіз структур з азеотропними сумішами повторює етапи «методу циклів» для однокомпонентної робочої речовини, за умови, що концентрація суміші вже визначена.



Рис.2. «Метод циклів» для аналізу КУ на неазеотропній суміші.

До особливостей циклів на неазеотропних сумішах належать такі: фазові переходи за змінних температур; вихід з випарника вологої пари з низьким ступенем сухості за малого інтервалу температур кипіння; можливість

здійснення процесів поділу і змішування компонентів суміші. Ці особливості циклів і є напрямками у виборі структур і робочих речовин і у створенні безлічі схемно-циклових рішень установок.

Як оборотний цикл-зразок прийнято цикл Лоренца (рис.2).

Цикли 1 і 2 враховують вплив необоротностей у процесах підведення-відведення тепла. Цикл 3 вказує на неможливість здобути $T_4 = T_0^{min}$. Цикли 4 і 5 описують перехід до дійсного циклу. Підвищення термодинамічної досконалості забезпечується обов'язковим переохолодженням рідини перед дроселем. Цикл 6 враховує вплив теплоємності вологої пари на процеси підведення і відведення тепла. Структура установки, що працює на неазеотропних сумішах, може залишатися подібною до установки з однокомпонентною робочою речовиною. Енергетична ефективність комплексу «структура - робоча речовина» визначатиметься лише властивостями багатокомпонентної робочої речовини.

Регенерація тепла в установках з неазеотропними сумішами ефективна, особливо під час відведення вологої пари з випарника. Теплоємність вологої пари більша від теплоємності рідини, тому в регенеративному теплообміннику можна переохолодити рідину аж до температури T_0^{max} . Визнано, що втрати в РТО пов'язані з великими відмінностями масових теплоємностей рідини і вологої пари, зменшити які можна використанням лише частини пари, утвореної у випарнику.

Наразі існує велика потреба в установках для перетворення і отримання тепла і холоду на кількох температурних рівнях одночасно, і, зокрема, в установках з отриманням холоду на двох і більше температурних рівнях. Розв'язання проблеми полягає у створенні одноступеневих установок з багатокомпонентними робочими речовинами. У роботі наведено приклад двотемпературного побутового охолоджувального пристрою із заміною R12 на такі суміші R22/R11, (50/50), R22/R124 (15/85), R12/R114, (50/50) – (рис. 3). Найбільшої економії енергії досягнуто під час застосування сумішей з великим температурним глайдом (рис. 4).

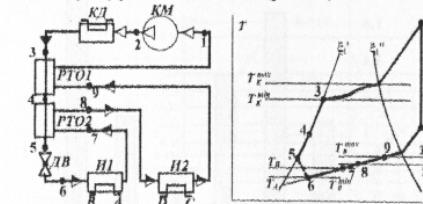


Рис.3. Схема і цикл побутового двотемпературного охолоджувального пристрою

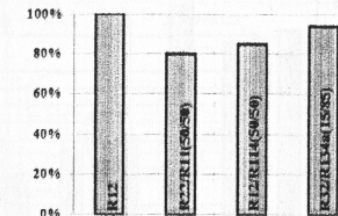


Рис.4. Відносна зміна споживаної потужності

Іншим прикладом є теплофікаційна установка виробництва тепла і холоду на двох температурних рівнях кожного. Особливістю структури є використання гвинтового компресора з дозарядкою.

компонентами за умови ідентичності початкових і кінцевих параметрів. На рис. 12 у діаграмах $p-h$ подано процеси стиснення чистих компонентів з подальшим змішуванням в інтервалі власних парціальних тисків. Робота циклу дорівнюватиме $w_{\text{цикл}} = y \cdot w_{RH} + w_{RL}$, де y – кратність циркуляції компонента RH , віднесена до 1 кг RL . Склад суміші, температурний режим і продуктивності джерел тепла, використані для розрахунку, базуються на реальних умовах технологічних процесів і підтверджені експериментально. Для розрахунку установок із сумішами взаємонерозчинних компонентів не потрібно застосовувати складний математичний апарат розрахунку властивостей суміші.

Таблиця 1

Характеристики циклу	R717	R717	R123	R717/R123
Температура конденсації RH, °C	-	-	85	85
Температура конденсації RL, °C	45	85	-	45
Температура кипіння RH, °C	-	-	10	10
Температура кипіння RL, °C	-15	-15	-	-15
Тиск конденсації RH, МПа	-	-	0,55	0,55
Тиск конденсації RL, МПа	1,8	4,62	-	1,8
Тиск кипіння RH, МПа	-	-	0,05	0,05
Тиск кипіння RL, МПа	0,25	0,25	-	0,25
Тиск нагнітання, МПа	1,8	4,62	0,55	1,8
Тиск всмоктування, МПа	0,25	0,25	0,05	0,25
Парціальний тиск RH $p'_{K,RH}/p'_{0,RH}$, МПа	-	-	-	0,55/0,076
Парціальний тиск RL $p'_{K,RL}/p'_{0,RL}$, МПа	-	-	-	1,25/0,174
Масова концентрація RH/RL, кг/кг	1	1	1	0,797/0,203
Температура всмоктування, °C	-10	-10	60	59
Температура нагнітання, °C	142	250	120	157
Холодопродуктивність, $Q_{0(RL)}$, кВт	20	20		20
Холодопродуктивність, $Q_{0(RH)}$, кВт			11	11
Тепло конденсації, $Q_{K(RL+RH)}$, кВт				20
Тепло конденсації, $Q_{K(RL)}$, кВт	26	32		23
Тепло конденсації, $Q_{K(RH)}$, кВт			14	
Адабтна потужність компресора, кВт	6	12	3	12

Компресорні однокомпонентні багатофазні установки надано на прикладі системи когенерації «ректифікаційна колона - теплова помпа». Складність процесів розділення легких вуглеводнів з близькими нормальними температурами кипіння (наприклад, бензол-толуол) полягає у витраті великої кількості тепла і охолоджувального середовища. Для економії енергетичних ресурсів створено систему «ректифікаційна колона - теплова помпа». Теплова помпа як самостійна установка трансформує тепло, що виділяється у процесі охолодження дистилату, в тепло, що поглинається у процесі нагрівання залишку. Обговорено проблему створення теплової помпи для одночасного

виробництва тепла і холоду на двох рівнях кожного за фіксованих корисних ефектів, тобто побудовано ректифікаційну колону сумішеного типу (рис. 13). Проблему розв'язано «методом циклів». На рис. 14 подано трансформацію циклів Карно (цикл 1) у теоретичний узагальнений цикл з введенням властивостей робочої речовини (цикл 2), із заміною детандера дроселем і стисненням сухої насиченої пари (цикл 3). Циклу 3 відповідає узагальнена принципова схема (рис.15), особливістю якої є застосування одного компресора. Вибір робочої речовини проведено за порівняльних розрахунків циклу з R22, R123, R124, R134a, R142b, RC318 робочими речовинами. Для остаточного розв'язання обрано R123, R124, R142b, головні розрахункові характеристики яких показано на рис. 16–19.

Найбільший ступінь термодинамічної досконалості спостерігаємо в R123, проте його значення q_v найменше. Це означає, що компресор матиме великі габарити, і, своєю чергою, капітальні вклади будуть вищими. Остаточне розв'язання проблеми щодо вибору робочої речовини стане очевидним лише після термoeкономічного аналізу.

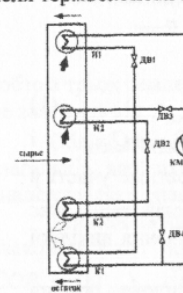


Рис.13. Технологічний процес (ТП).

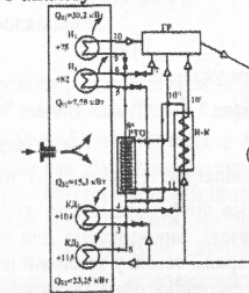


Рис.20. Реальна схема ТП.

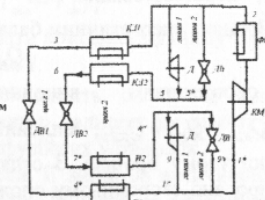


Рис.15. Узагальнена схема.

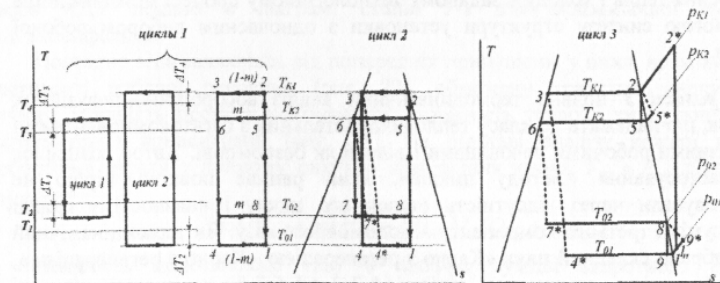


Рис.14. «Метод циклів» для аналізу теплової помпи.

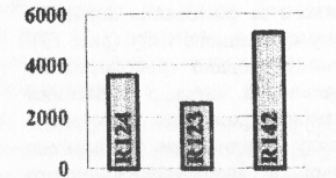


Рис.16. Питома об'ємна холодопродуктивність, q_v , кДж/м³.

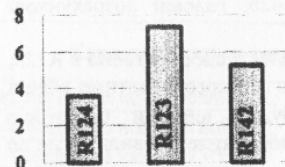


Рис.18. Коефіцієнт перетворення, COP

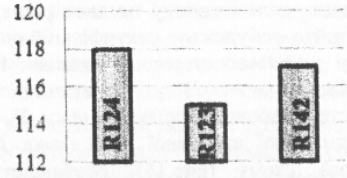


Рис.17. Температура нагнітання, °C.

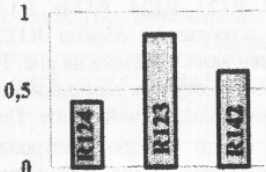


Рис.19. Ступінь термодинамічної досконалості, $\eta_{стк}$

Згідно з енергетичним балансом установки

$$Q_{H1} + Q_{H2} + W_{KM} = Q_{KH1} + Q_{KH2} + Q_{ФК} \quad (1)$$

та обов'язковим виконанням умов: $Q_{H1} + Q_{H2} = Q_{KH1} + Q_{KH2}$ і $Q_{H1} \neq Q_{KH1} \neq Q_{H2} \neq Q_{KH2}$, тепловий еквівалент ($W_{KM} + Q_{ФК}$) не братиме участі в технологічному процесі. З огляду на енергоощадність технологій тепло має бути продано сторонньому споживачеві, використано для нагрівання вихідної сировини або для внутрішньої регенерації тепла у тепловій pompі.

Приклад реальної схеми «ректифікаційна колона-теплова помпа» наведено на рис 20.

Таким чином, реалізація енергозбереження в установках для перетворення тепла і холоду у заданому технологічному процесі можлива лише за допомогою синтезу структури установки з одночасним вибором робочої речовини.

У розділі 3 подано термодинамічний аналіз абсорбційно-дифузійних установок, що належать до класу тепловикористальних з багатокомпонентними багатофазними робочими речовинами і відомі як безпомпові. Автор розширює сферу застосування «методу циклів», який раніше повною мірою не використовували через відсутність еталонного циклу і наявності у складі робочої суміші третього компоненту – допоміжного газу. Як термодинамічний зразок вибрано складний цикл «Карно з регенерацією - Карно з регенерацією», утворений однією замкненою лінією 1-2-3-4-5-6-7-8, за умови рівності (тотожності) робіт прямого і зворотного циклів $F_{пр} = F_{об}$ (рис. 21).

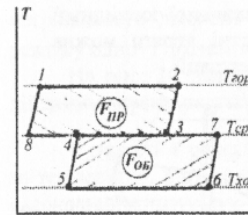


Рис.21.

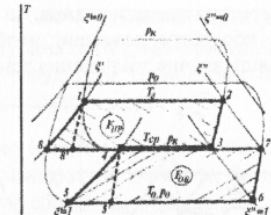


Рис.22.

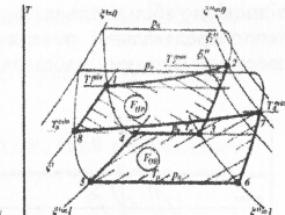


Рис.23.

Умови повної оборотності процесів забезпечено припущеннями: кратність циркуляції розчину нескінченна; розширення робочої речовини ізоентропне; повна ректифікація парів робочої речовини та абсорбенту; ідеальна пара речовин, у якій тепло фазового переходу і змішування не залежить від температури. За цих умов:

$$COP_A = COP_{пр} \cdot COP_{об} = 1, \quad (2)$$

$$T_{гор} = (T_{сп} \cdot T_{хол}) / (2 \cdot T_{хол} - T_{сп}), \quad (3)$$

тобто з трьох температурних рівнів два можна вибрати довільно, причому COP не залежить від $T_{хол}$, він завжди постійний і дорівнює 1.

Облік всіх необоротностей у циклі АДУ досить складний, тому «загальні» необоротності для будь-яких циклів автор залишає як відомі та аналізує тільки специфічні процеси абсорбційно-дифузійних установок.

Теплота змішування дуже впливає на процеси, її зміна за величиною і знаком залежно від тиску, температури і концентрації впливає на COP циклу, $COP = f(T_{хол})$. Наприклад, для водоаміачного розчину за $T_{гор} = 180^\circ C$ і $T_0 = -45^\circ C$ $COP = 0.7$.

Вплив властивостей робочих речовин на термодинамічну досконалість циклів АДУ подано в діаграмі станів T-s для водоаміачної суміші Л.М. Розенфельда.

Поетапно відмовляючись від попередніх припущень, у циклі враховують: властивості робочої речовини (рис. 22), обмежену кратність циркуляції розчину, наявність процесу ректифікації, залежність теплоти змішування від температури і концентрації (рис. 23). На підставі аналізу кожної нової необоротної втрати у прямому циклі за збереження умови $F_{пр} = F_{об}$ дістаємо результат:

$$COP_{дефакто} = (Q_{хол} - \Delta Q_{хол}) / (Q_{гор} + \Delta Q_{гор}), \quad (4)$$

Наявність допоміжного газу в робочій суміші зворотного циклу призводить до додаткових необоротних втрат, спричинених відсутністю умов рівноваги в двох елементах – в абсорбері та випарнику. Процес абсорбції супроводжується зростанням парціального тиску робочої речовини над розчином і малим температурним глайдом абсорбції. У процесі випаровування

зростає парціальний тиск робочої речовини в парогазовій суміші, а також відповідно збільшується температура випаровування. За розвиненої зовнішньої теплопередавальної поверхні абсорбера зовнішні необоротні втрати можна звести до мінімуму, забезпечивши значне збільшення зони дегазації.

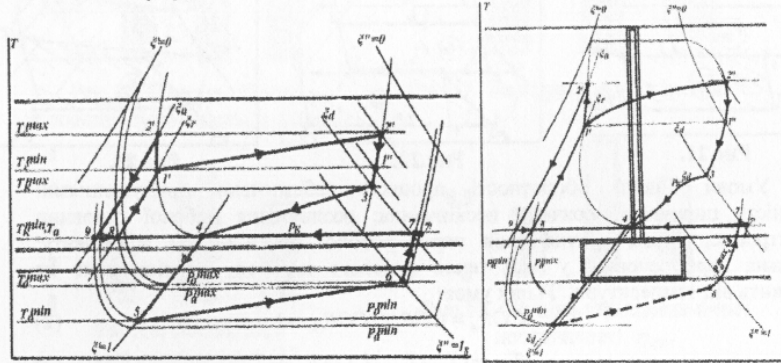


Рис. 24. Еталонний цикл АДУ

Рис. 25. Дійсний цикл АДУ

З огляду на розглянені особливості процесів в АДУ, цикл, зображений на рис. 24, можна наближено вважати еталонним для АДУ. Процеси у випарнику і абсорбері для робочої речовини зображено за його парціальних тисків. В еталонному циклі виконано умову: $c_{в,з} = f(T)$ – лінійна функція. Перехід до дійсного циклу визначено теплою змішування та її впливом на теплоємність вологої пари. Насправді, теплоємність вологої пари суміші $c_{в,з}$ – змінна величина, що є складною функцією: $c_{в,з} = f(T, p, \xi, x, q)$, та ізобари в зоні вологої пари мають вигляд складних нееквідистантних кривих (рис. 25). У зв'язку з цим зрозуміло, що зовнішні необоротні втрати у процесах підведення і відведення тепла будуть суттєвими і значною мірою вплинуть на COP АДУ.

Для виконання умов оборотності процесів передавання тепла зовнішнім джерелам їхня температура має змінюватися саме так, як і температура робочої суміші. Тоді термодинамічна ефективність установки з нагрівальним джерелом змінної температури (із газом, що згоряє, або іншим паливом) вища ніж з джерелом постійної температури (електронагрівачем).

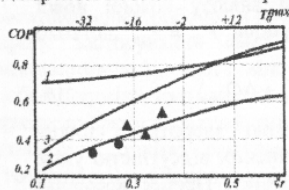


Рис. 26. COP АДУ для двотемпературного об'єкта: 1-цикл оборотний без ректифікації; 2 – цикл оборотний з відведенням теплоти ректифікації; 3 – цикл оборотний з регенерацією теплоти ректифікації; ▲ – фірма «SIBIR», ● – ВЗХ «Кристалл».

На рис. 25 зображено два цикли: термодинамічний зразок (відповідний цикл «Карно-Карно») і дійсний цикл для водоаміачного розчину. Умови

суміщення циклів: $T_{К}^{min} = 50^{\circ}C$, $T_{сп} = 32^{\circ}C$, $T_{КММ}^{max} = 0^{\circ}C$, температура нагрівального джерела $T_{г} = 300^{\circ}C$. Дійсний цикл відповідний до робочого режиму одно- і двотемпературних побутових пристроїв.

На рис. 26 наведено результати термодинамічного аналізу порівняно з дійсними характеристиками побутових пристроїв.

У розділі 4 розглянено процеси прямого циклу АДУ, який здійснюється за температур, вищих від температури довкілля, його структура дістала назву високотемпературного блока або генератора.

Процеси у блоці подібні до тих, які відбуваються у звичайних абсорбційних установках. Автор моделює і досліджує їх методами, розробленими для великих установок. Корективи в конструкцію вносить термонасос, який суттєво впливає на всі процеси в генераторі, формує самостійну теорію розрахунку, проектування та оптимізації. Повне випарювання розчину і підняття рідини можуть відбуватися безпосередньо в термонасосі. Ці процеси можна й відокремити: часткове випарювання, що піднімає рідину, здійснюється у термонасосі, часткове випарювання – у випарному елементі.

Як приклад наведено дві схеми і відповідні цикли з випарним елементом – термонасосом (рис. 27) та їх окремим обігріванням (рис. 28).

У роботі послідовно розглянено різні схеми генераторів від найпростішої до генератора з окремим обігріванням випарного елемента і термонасосу і трипотоквим теплообмінником-дефлегматором.

Для аналізу всіх цих схем генераторів автор розробив систематизацію, здатну охопити головні конструкції. Загальний вигляд систем генераторів репрезентовано на рис. 29, а побудову описано у таблиці 2.

Поєднання буквених символів означає послідовність проходження розчину через ці елементи. Для систематизації різних комбінацій теплообмінників кожній букві-символу присвоюють індекси згідно з таблицею 2.

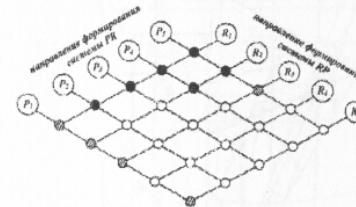


Рис.29. Загальний вигляд систем генераторів:

- - відомі конструкції в системі PR;
- - відомі конструкції в системі RP;
- - недосліджені конструкції.

Будь-яке з поєднань PR або RP – це роботоздатна структура, однак енергетичну цінність або будь-яку іншу кожної структури визначають лише після термодинамічного аналізу процесів, що відбуваються в ній.

Розроблена систематизація дає змогу синтезувати структуру генератора для різних режимів роботи АДУ (холодильної і теплофікаційної установок, теплової помпи) із забезпеченням енергозбереження.

xv 851
ІНСТИТУТ ХОЛОДОТ
ОНАХТ

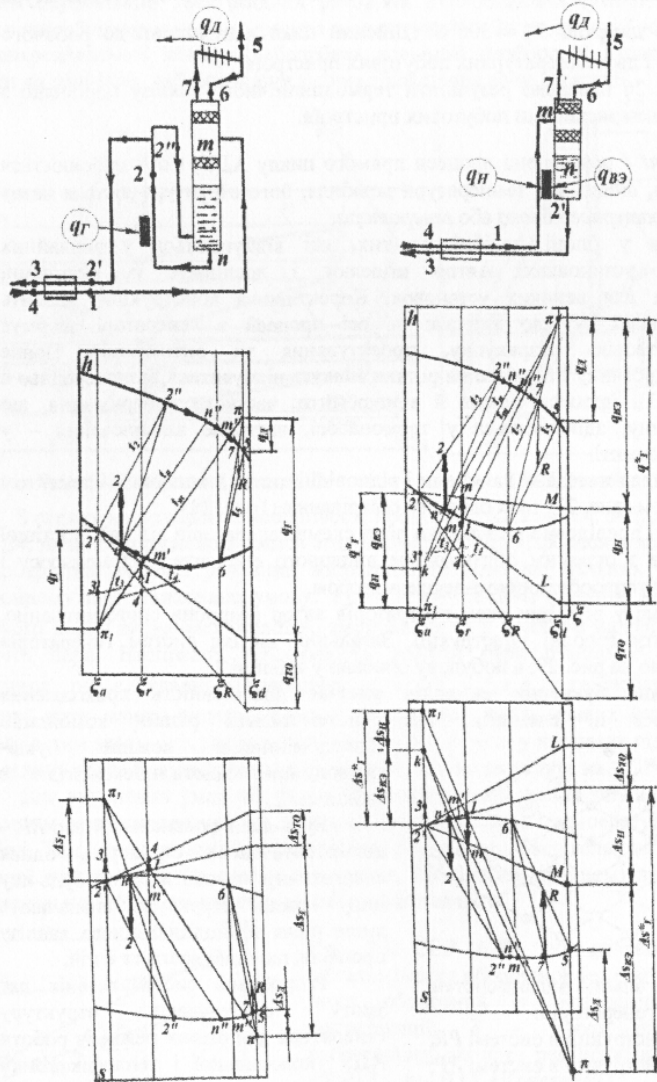


Рис. 27. Генератор з термонасосом— випарним елементом.

Рис. 28. Генератор з окремим обігріванням термонасосу і випарного елемента.

Для теплотехнічних розрахунків генераторів автор розробив і навів методики розрахунків випарних елементів і термонасосу, а також питомих характеристик циклів для будь-якої структури генератора.

Таблиця 2

индекс	<i>P</i> - термонасос, розташування гріючого джерела	<i>R</i> - ректифікатор комбінація теплообмінників
1	зовнішній контакт з термонасосом (термонасос - випарний елемент)	теплообмінник розчинів, дефлегматор повітряний
2	зовнішній контакт з термонасосом і випарним елементом	теплообмінник розчинів, дефлегматор рекуперативний
3	внутрішній контакт з термонасосом і випарним елементом	дефлегматор трипотоковий
4	зовнішній безпосередній контакт з випарним елементом і непрямий з термонасосом	теплообмінник розчинів, дефлегматор повітряний, зворотний приплив слабкого розчину
5	внутрішній безпосередній контакт з випарним елементом і непрямий з термонасосом	теплообмінник розчинів, дефлегматор трипотоковий зворотний приплив слабкого розчину

У розділі 5 розглянено процеси у зворотному циклі АДУ, здійснені за температури, нижчої від температури довкілля; структура такого циклу дістала назву *низькотемпературного блока*, або *парогазового контуру*.

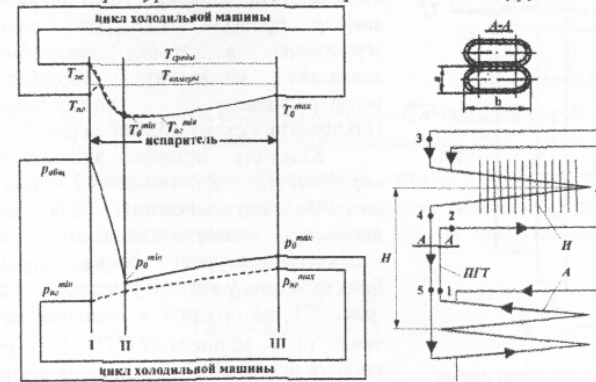


Рис. 30. Характер змін температур і тисків у випарнику АДУ

Рис. 31. Найпростіша схема низькотемпературного блока

Фізичний принцип отримання низьких температур в АДУ оснований на попередньому випарному охолодженні рідкої робочої речовини у замкненому каналі за умови руху над ним потоку суміші допоміжного газу і пари робочої речовини (ПГС). Процес здійснюється за наявності різниці потенціалів (температур і парціальних тисків) між ПГС усередині потоку і шаром суміші, безпосередньо суміжному з поверхнею рідини. Теоретичною межею такого охолодження буде «температура мокрого термометра» для цієї пари речовин (уч. I-II, рис. 30). Здобута таким чином холодна рідина під час подальшого випаровування створює охолоджувальний ефект (холод) в об'єкті (уч. II-III, рис. 30). Характер зміни параметрів рідини та ПГС у випарнику схематично подано на рис. 30.

Сполучення параметрів T_{ne} і $T_{жс}$ перед випарником є вирішальним чинником, що визначає характер здійснювання спільних процесів тепло- і масообміну і отримання заданих температур в охолоджуваному об'ємі. Для досягнення необхідних температур випаровування, з огляду на психрометричну різницю температур у зворотному циклі відбувається абсорбція робочої речовини з ПГС, її подальше охолодження і попереднє охолодження рідини робочої речовини шляхом внутрішньої регенерації тепла. Автор докладно розглядає процес випарного охолодження в замкненому об'ємі за високих робочих тисків, способи регенерації тепла з огляду на гідрогазодинаміку потоків за умов природної циркуляції і методи досягнення низьких температур в охолоджуванних об'єктах. На підставі термодинамічного аналізу процесів всю їхню множину згруповано в трьох теплообмінних апаратах: випарнику, абсорбері і регенеративному теплообміннику. Найпростішу схему подано на рис. 31.

Кількість потоків, які одночасно перебувають в тепловому контакті, визначає цю множину. Для аналізу процесів систематизовано схеми низькотемпературного блока. Для цього блок показано у вигляді узагальноної схеми (рис. 32), що об'єднує в комплекс потоки: теплі (1 - збіднена ПГС^{min}; 2 - рідина робочої речовини, 3 - теплотік з довкілля або охолоджуваного об'єкта); холодні (4 - випарна рідина, 5 - збагачена ПГС^{max}).

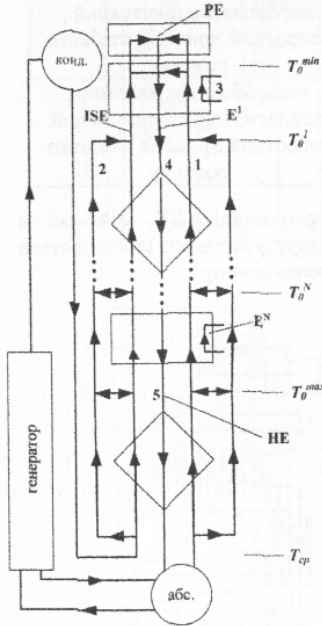


Рис. 32. Узагальнена схема низькотемпературного блока.

Холодний потік ПГС^{max} завжди слугує продовженням потоку випарної рідини, а разом вони утворюють опускную гілку блока. Для теплих потоків на різних ділянках блока можливі конструктивні комбінації, а потік ПГС^{min} є підйомною гілкою. Вся система теплообміну подана двома типами теплообмінників: контактним і рекуперативним. До першого типу належать початкова ділянка випарника ISE і попередній випарник PE, де формується холодний потік рідини, до другого – решта елементів блока. Контактні теплообмінники одночасно є і масообмінними елементами. Систематизацію побудовано на рис. 32. На схемі, що відображає таку систематизацію, холодний потік 4 позначений символом E, холодний потік 5 – символом HE, причому нижні індекси при цих буквах вказують на наявність теплих потоків у кожному тепловому контакті та верхній індекс у символі E вказує порядковий номер охолоджуваного об'єкта. Початком відліку слугує об'єкт з найнижчою температурою.

Відповідно до узагальноної схеми розглянено процеси тепломасообміну щодо кожного окремого елемента, а саме: початкової ділянки випарника, попереднього випарника, випарника-теплообмінника з чотирма потоками, і створено математичні моделі цих процесів. Завдання зводяться до визначення характеру зміни температур і парціальних тисків уздовж каналів теплообмінних апаратів, необхідної теплообмінної поверхні, або теплової навантаги.

Як приклад розглянено випарник-теплообмінник (рис. 33).

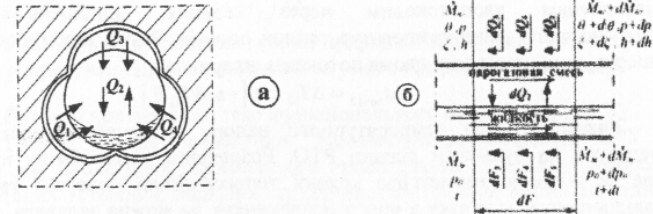


Рис. 33. Узагальнена схема випарника-теплообмінника (а) та елемент поверхні тепломасообміну (б).

Тут потік випарної рідини обмінюється теплом з охолоджуванним об'єктом, ПГС^{max} і ПГС^{min} масою з потоком ПГС. Модель репрезентує систему з трьома невідомими p , t , θ від незалежної змінної F :

$$\begin{cases} dp/dF = Z(p'' - p) \\ dt/dF = R + T(\theta - t) - L(p'' - p) \\ d\theta/dF = S + Y(\theta - p) \end{cases}, \quad (5)$$

$$\text{де } L = \frac{r\beta_2}{M_{жс}c_{жс}}; S = \frac{K}{M_{не}c_{не}}; R = \frac{K}{M_{жс}c_{жс}}; T = \frac{\alpha_2}{M_{жс}c_{жс}}; Y = \frac{\alpha_2}{M_{не}c_{не}}; Z = \frac{\beta_2 P_{обш}}{c_{не}K}.$$

За необхідності визначають F , Q , кінцеві значення величин p , t , θ або/і проміжні. За відсутності одного з теплих потоків його зрівнюють з нулем. Таким чином, подана модель описує будь-яке сполучення теплих потоків, або конструкцію випарника.



Рис. 34. Принципова схема трипотокового теплообмінника.

Під час аналізу регенеративний теплообмінник (РТО) репрезентовано двома частинами – трипотоковою та двопотоковою (рис. 34).

Схема ускладнена геометричними формами теплообмінної поверхні і способами контактів поверхонь. Розрахунок починають з визначення граничних температур потоків, а в деяких випадках – температур поверхонь елементів РТО залежно від кількості сприйманого тепла. Розв'язання завдання здійснюють шляхом заміни трипотокового теплообмінника еквівалентним двопотоковим через ведення відношень масових теплоємностей і зміни температур теплих потоків. Результатом аналізу стає температурний напір між двома потоками, наприклад,

$$\Delta t_{\text{неч12}} = \Delta T_{12} \exp[-mWk_{12}F], \quad (6)$$

Закон змінення температурного напору визначає кількість тепла, переданого на будь-якій ділянці РТО. Розрахунок теплообміну проводять лише за відомою геометрією кожної теплообмінної поверхні та їхнього співвідношення, у зв'язку з чим у розрахунках не можна задавати величини недорекуперації на кінцях ділянок. Розрахунок трипотокової ділянки РТО (рис. 34) здійснюють лише після розрахунку двопотокової. Метод розрахунку конструктивно забезпечує однакову довжину твірної поверхні. За умов спаяних поверхонь визначають температуру стінки в місці спаю.

$$T_{\text{ст}} = (\alpha_2 T_2 + \alpha_1 T_1 a + \alpha_3 T_3 b) \cdot (\alpha_2 + \alpha_1 a + \alpha_3 b)^{-1}, \quad (7)$$

де $a = dF_1/dF_2$; $b = dF_3/dF_2$.

Абсорбер розглянено конструктивно у вигляді одиничної похилої труби – змійовика, у якому протитечею рухаються розчин і ПГС. Розчин абсорбує пару робочої речовини з ПГС, внаслідок чого утворюються міцний розчин і ПГС^{мн} (рис. 35).

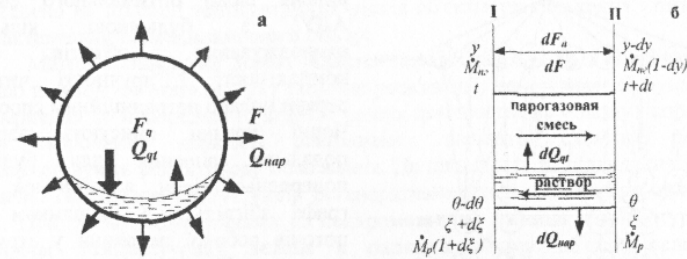


Рис. 35. Узагальнена схема абсорбера (а) та елемент поверхні тепломасообміну (б).

Математичну модель тепломасообміну побудовано на теорії випарного охолодження води та очищення газових сумішей у скруберах. Визначенню підлягають F_a, θ, t, y, ξ за довжиною абсорбера. Модель подана системою рівнянь (8).

$$\begin{cases} d\theta = c_p dt + q_1 dy - w d\theta / l \cdot c_p \\ dt/dF_a = -\beta / \dot{M}_p \cdot (y - y^*) = \dot{M}_p \cdot d\xi / dF_a, \\ dt/dF_a = -\alpha / \dot{M}_p \cdot c_p \cdot (\theta - t) \end{cases}, \quad (8)$$

де $w = \dot{W} \cdot c_p / \dot{M}_p$ та $l = \dot{M}_p / \dot{M}_a$.

У кінці розділу описано теорію природної циркуляції потоків у блоку і метод розрахунку гідрогазодинаміки за умови природної циркуляції.

Розділ 6 присвячений темі функціонального проектування АДУ.

Теорія, методи розрахунків, систематизація елементів АДУ стали базою для проведення оптимального проектування. У техніці абсорбційно-дифузійних установок завдання структурної оптимізації взагалі не ставилось, і автор вперше розробляє метод оптимального синтезу АДУ. АДУ є комплексом теплообмінників, оптимізація яких пов'язана з вибором температурних напорів і конструкцій елементів одночасно в сукупності. Пропонований метод реалізує на практиці системний підхід для розв'язання оптимізаційних завдань. Засади функціонального проектування та параметричної оптимізації АДУ значно відрізняються від оптимізації інших типів холодильних установок. У роботі ці засади наведено в узагальненій формі, достатній для розуміння основ побудови і відмінностей, пов'язаних зі специфікою розглянутих установок. Автор рекомендує використовувати для синтезу структури АДУ інтерактивний спосіб «пошуку на дереві рішень».

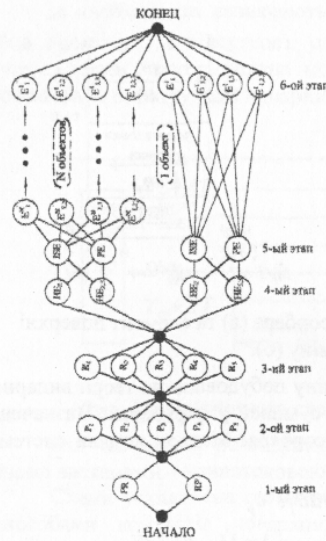


Рис. 36. Повне дерево рішень.

будуємо методом вичерпного пошуку у ширину та глибину. Воно оцінює всі прийнятні варіанти залежно від складу елементів блоку, термодинамічного циклу, його параметрів і питомих характеристик.

Низькотемпературний блок є головним розгалуженням дерева, яке на рис. 36 показано двома кронами: для однотемпературного і багатотемпературного охолоджуваних об'єктів.

Під час проектування однотемпературного об'єкта можна цілком використати другу крону, якщо в ній зрівняти до нуля охолоджувані об'єкти від E^2 до E^N . Наявність першої крони значно скорочує час пошуку розв'язання у проектуванні однотемпературного об'єкта. Внаслідок вичерпного пошуку низькотемпературного блоку в ширину і глибину дістають оцінку цієї системи.

Етапи побудови стовбура: створення груп PR та RP (етан 1); створення підгруп P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 (етан 2); створення циклів з використанням елементів R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 (етан 3).

Оцінення всіх циклів на цьому рівні з вибором одного правильного розв'язання здійснюється за ексергоекономічними показниками.

Етапи розгалуження: створення груп HE_2 і $HE_{2,3}$ (етан 4); створення підгруп ISE і PE (етан 5); створення циклів з використанням елементів E (етан 6).

На рис. 36 показано повне дерево рішень щодо оптимального синтезу АДУ з будь-якою кількістю охолоджуваних об'єктів. Для компактності і зручності читання, дерево подано нетрадиційним способом. Чорні крапки описують загальне подальше рішення для будь-якої попередньої гілки, а напрямок гілок графа збігається з напрямком руху потоків робочої речовини у структурі установки. Початок містить всі рішення (всі цикли).

На підставі систематизації високотемпературного блоку починається будівництво дерева рішень. Високотемпературний блок формує стовбурну частину дерева та його головні гілки. Дерево має 2 стовбури: PR та RP. Роздвоєний стовбур створено відповідно до систем PR та RP, прийнятих для генераторів. Дерево рішень з високотемпературного блоку

Оцінення всіх циклів з вибором одного правильного розв'язання здійснено на підставі температурних рівнів об'єктів охолодження і питомих характеристик термодинамічного циклу.

Метод «пошуку на дереві рішень» передбачає пошук з поверненням. Якщо на якомусь етапі пошуку поточне розв'язання неможливе, відбувається повернення до попереднього етапу, і пошук починається в новому напрямку. Для скорочення кількості розглянутих варіантів схемних рішень використовують різного роду обмеження. Це приводить до відкидання низки рішень. Прикладом слугує вибір регенеративних теплообмінників типу E і HE. При цьому обмеженнями є: психрометрична різниця температур, яка визначає температурний режим в охолоджуваному об'єкті; величина відношення теплопрохідності теплообмінника до втрати тиску за довжиною теплообмінника.

Синтез, здійснений за таким алгоритмом, є структурним і параметричним.

Для теплотехнічних розрахунків у функціональному проектуванні в роботі подано математичну модель АДУ, що складається з моделей складових її елементів, розрахунку термодинамічних, калоричних і переносних властивостей робочих речовин, визначення параметрів вузлових точок термодинамічного циклу, розрахунку головних процесів, що відбуваються в елементах системи. Межі елементів визначено особливістю термодинамічних процесів у них.

Під час теплотехнічного розрахування будь-якого i -елемента використовують:

- рівняння балансів масових витрат:

$$\sum \dot{M}_i = 0,$$
- рівняння балансів масових витрат для суміші:

$$\sum \dot{M}_i \cdot \xi_i = 0,$$
- рівняння балансу енергії:

$$\sum \dot{M}_i \cdot \xi_i \cdot h_i + Q_i = 0,$$
- рівняння змінення ентропії в потоці:

$$\sum s_i + \Delta s_i = 0.$$

Кожний теплообмінник описано системою рівнянь:

$$\begin{cases} Y_i = f_{Y_i} \cdot (X_i, U_i, K_i, \Gamma_i) \\ \Phi_i = f_{\Phi_i} \cdot (X_i, U_i, K_i, \Gamma_i) \\ \psi \cdot (P, T, h, r, s, \xi) = 0 \end{cases}, \quad (9)$$

де i – номер елемента; Y_i – вихідні параметри; Φ_i – функціональні характеристики; f_{Y_i}, f_{Φ_i} – нелінійні функції; X_i – вхідні внутрішні параметри; U_i – вхідні зовнішні параметри; Γ_i – топологія підключення; K_i – конструктивні параметри; ψ – вигляд рівняння стану робочої речовини.

Система рівнянь (9) базується на загальних засадах тепломасопередання.

Внутрішні вхідні параметри у загальному вигляді для різних теплообмінників визначено так:

$$x_{TO} = \{P_{12}, t_{12}, h'_{12}, h''_{12}, h'''_{12}, h'_{11}, h''_{11}, h'''_{11}, M'_{12}, M''_{12}, M'''_{12}, x'_{12}, x''_{12}, x'''_{12}\}, \quad (10)$$

де кількість штрихів у величин визначає номер потоку в багатопотоковому теплообміннику.

Відповідно до цього

$$y_{TO} = \{t_{12}, s_{12}, r_{12}, \xi_{12}\}. \quad (11)$$

Для теплообмінних апаратів, що взаємодіють з довкіллям

$$u_{TO} = \{T_{cp}\}. \quad (12)$$

Для регенеративних теплообмінників

$$u_{TO} = \{\emptyset\}. \quad (13)$$

Функціональні характеристики теплообміну подають у вигляді

$$\Phi_{TO} = \{Q, N\}. \quad (14)$$

Конструкцію рекуперативного теплообмінника визначають як

$$k_{TO}^F = \{a, b, d_{an}, d_{nnp}, F_n, F_{an}, d_p, s_p, l_p\}. \quad (15)$$

Конструкцію контактного теплообмінника відповідно

$$k_{TO}^F = \{a, b, y, d_{an}, F_p, d_p, d_p\}. \quad (16)$$

Узагальнену математичну модель рекуперативного теплообмінного апарата функціонально виражають такою системою зв'язків:

$$\begin{cases} f_1^{TO} \rightarrow h'_{12} = f_1^{TO} \{h'_{12}, h''_{12}, h'''_{12}, h'_{11}, h''_{11}, h'''_{11}, M'_{12}, M''_{12}, M'''_{12}, \xi'_{12}, \xi''_{12}, \xi'''_{12}\} \\ f_2^{TO} \rightarrow Q = f_2^{TO} \{k, F_n, Q\} \\ f_3^{TO} \rightarrow Q_{an} = f_3^{TO} \{Q, a_{an}, F_{an}\} \\ f_4^{TO} \rightarrow Q_n = f_4^{TO} \{Q, a_n, F_n\} \\ f_5^{TO} \rightarrow k = f_5^{TO} \{a_{an}, a_n, d_{an}, d_n, b, d_{3an}, d_{3n}, l_{3an}, l_{3n}, l_{cm}\} \\ f_6^{TO} \rightarrow a_{an} = f_6^{TO} \\ f_7^{TO} \rightarrow a_n = f_7^{TO} \\ f_8^{TO} \rightarrow \Delta p_{an} = f_8^{TO} \\ f_9^{TO} \rightarrow \Delta p_n = f_9^{TO} \end{cases} \quad (17)$$

Для теплообмінних апаратів контактного типу, крім балансних рівнянь, необхідно ввести зв'язок:

$$f_{10}^{TO} \rightarrow G = f_{10}^{TO} \{d_{nnp}, r_{nc}, W_{nc}\}. \quad (18)$$

У роботі викладено методики теплотехнічних розрахунків елементів: випарного; термонасосу; ректифікатора; дефлегматора; теплообмінника

розчинів; конденсатора; випарника; регенеративного теплообмінника; абсорбера; трипотокового регенеративного теплообмінника.

Використовуючи відомі залежності і розрахунки, є посилання на відповідні літературні джерела. Методики, які розробив автор, наведені повністю. Їх перевірено експериментально в спільній роботі з Васильківським заводом холодильників та УНШЕБМ «Веста» (м. Київ).

У роботі подано авторські номограми для попереднього розв'язання задач параметричного синтезу АДУ як експрес-оцінки евристико-еволюційним методом.

У розділі 7 наведено розрахунки елементів АДУ як окремі задачі функціонального проектування, результати експериментальних досліджень певних елементів і пристроїв, що підтверджують вірогідність теоретичних досліджень у функціональному проектуванні, адекватність розрахункових параметрів дійсним характеристикам виробів, а також практичну цінність роботи.

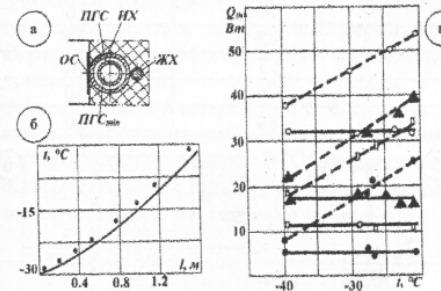


Рис. 37.

Результати теоретичного і експериментального дослідження:

а – схема випарника-теплообмінника; б – розподіл температур за довжиною каналу

(— - теорія, - - експеримент);

в – залежність Q_0^{E1} та Q_0^{E2} від T_0^{\min} за їхніх різних співвідношень.

Для досліджень АДУ за участю автора були створені два експериментальні стенди: для дослідження абсорбційно-дифузійного агрегату – стенд з електрокалориметром; для випробувань побутових пристроїв у зібраному вигляді. Перший стенд створено вперше. За його допомогою можна безпосередньо вимірювати тепловий потік, що рухається з довкілля до випарників або у довкілля від кожуха ізоляційної конструкції генератора. Система компенсаційних нагрівачів електрокалориметра дала змогу зімітувати теплоприпливи від охолоджуваних об'єктів до випарників за умови змінення їхніх величин та співвідношень.

На підставі експериментів було визначено холодопродуктивність, споживану потужність, температурні характеристики головних вузлів та елементів, встановлено критичні режими роботи елементів і оптимальні характеристики за одним з параметрів, перевірено надійність агрегата, з'ясовано шляхи вдосконалення серійних установок та шляхи створення параметричних рядів АДУ, розроблено нові технічні рішення окремих

елементів. При цьому змінними незалежними параметрами та величинами були теплові навантаги на випарники, загальний робочий тиск у системі, потужність джерела енергії в генераторі.

Під час проведення випробувань агрегату з випарником-теплообмінником для двотемпературного об'єкта встановлено адекватність математичної моделі випарника-теплообмінника реальним умовам роботи (рис. 37а, б), а також зв'язок холодопродуктивності двох випарників за умови заданої мінімальної температури випаровування (рис. 37в).

На підставі здобутих експериментальних даних виконано розрахунки охолоджувальних пристроїв і висунено пропозиції щодо створення параметричних рядів побутових пристроїв на базі одного агрегату (таблиця 3).

Таблиця 3

загальний об'єм пристрою, дм ³	маркування морозильної камери	об'єм морозильної камери, дм ³	об'єм холодильної камери, дм ³
165	***	20	145
100	***	40	60
65	***	35	30
200	**	55	145
155	**	95	60
110	**	80	30

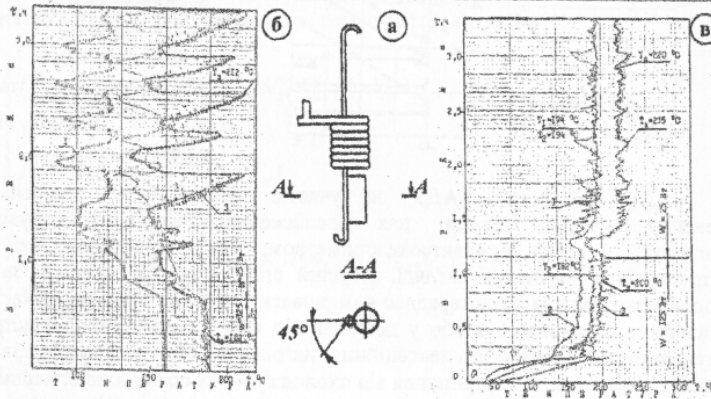


Рис. 38. Термонасос побутового пристрою (а), змінювання температури термонасосу (експеримент) (б, в).

Під час досліджування термонасосів генераторів встановлено адекватність математичної моделі термонасосу реальним умовам роботи у складі високотемпературного блоку агрегату «Кристал-9М», характер зміни температур стінки конкретної конструкції термонасосу завдяки і за

периметром, користуючись різними значеннями споживаної потужності, що дало змогу виробити рекомендації стосовно до підвищення надійності цього елемента установки. Результати експерименту наведено на рис. 38 і в таблиці 4.

Таблиця 4

Споживча потужність, Вт	Температура стінки термонасосу, °С				
	на вході	на виході	в найбільш віддаленому по периметру місці	поблизу зварного шва	середня
90	115	147	146	165	150
125					
експеримент	157	189	187	209	190
розрахунок	-	-	190,8	208	193
200	182	219	215	245	220

Перевірка вірогідності методу гідрогазодинамічного розрахунку природної циркуляції потоків в низькотемпературному блоку АДУ була здійснена за умов модернізації серійного агрегату побутового пристрою «Кристал-9М». Модернізація передбачала заміну вибухонебезпечного допоміжного газу – водню – гелієм з мінімальними конструктивними змінами низькотемпературного блоку. На підставі розрахунків, які зробив автор, збереження роботоздатності серійних АДУ забезпечує збільшення живого перерізу каналів РТО, виконаного з труби Ø18мм з відповідним площенням (рис. 31). Результати експериментального дослідження із застосуванням гелію подано в таблиці 5.

Таблиця 5.

Номери агрегатів	Температура, °С					Добова витрата електроенергії, кВтч/доба	Примітки
	кліматичної камери	верх термонасосу	термонасос на рівні середини нагріву	холодильна камера	морозильна камера		
046206/88	25 32	176 169	178 194	5,6 4,5	-19,6 -14,2	1,99 1,99	серійне площення
046204/88	25,32	184	-	11,8	-13,6	-	«-»
045082/88	25 32	172 185	177 196	3,5 5,0	-21,0 -18,2	2,29 2,29	нове площення
044999/88	32	-	-	5,0	-19,5	2,16	«-»

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розроблено та експериментально обґрунтовано інструментарій до процесу проектування, який базується на сучасних методах термодинамічного аналізу і синтезу схемно-циклових рішень, відповідних до завдань енергозбереження.

Згідно з метою роботи були розв'язані завдання дослідження та здобуті такі результати:

1. Запропонований метод формування схемно-циклових рішень установок для перетворення та отримання тепла та холоду з багатокомпонентними і багатофазними речовинами на основі термодинамічного аналізу «методом циклів» дав змогу здійснити одночасний вибір багатокомпонентної робочої речовини і структури установки, за яких цикли характеризуються високим ступенем термодинамічної досконалості, що є успішним розв'язанням завдань енергозбереження.

2. За допомогою методу системного аналізу установок для перетворення та отримання тепла та холоду з багатокомпонентними і багатофазними робочими речовинами, оснований на термодинамічному аналізі циклів узагальнених схем установок, сформовано індивідуальну структуру установки з огляду на властивості робочої речовини відповідно до технічного завдання і виконання вимог енергозбереження.

3. На підставі методу узгодження величин корисних ефектів у процесі синтезу структури компресорних багатотемпературних теплових pomp задовільнено вимоги технологічного процесу, для якого призначена ця установка, і забезпечено енергозбереження у заданому технологічному процесі.

4. Базуючись на методі синтезу схемно-циклових рішень абсорбційно-дифузійних установок, оснований на «пошуку на дереві рішень», здійснено схемно-циклові рішення, що забезпечують необхідний температурний ефект у пристроях з будь-якою кількістю охолоджуваних об'єктів разом зі структурним складом елементів і циклом з високою термодинамічною ефективністю.

5. Розроблені математичні моделі процесів тепломасообміну в елементах абсорбційно-дифузійних установок з використанням рівнянь тепломасообміну для одно- і багатофазних потоків в одному каналі багатопотокових теплообмінних апаратів дали змогу визначити характер розподілу температур і парціальних тисків усередині потоків для майбутнього конструювання теплообмінників, за допомогою яких можна розв'язати психрометричне завдання.

6. Метод функціонального проектування елементів абсорбційно-дифузійних установок, створений на сучасних методиках теплотехнічних і конструктивних розрахунків, було вдосконалено завдяки веденню умов, що забезпечать інтегрування завдання енергозбереження, що, своєю чергою, дасть змогу синтезувати роботоздатну та високоефективну АДУ із заданими вихідними характеристиками.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

RH – компонент високого тиску, RL – компонент низького тиску, II – випарник, KD – конденсатор, FK – форконденсатор, KY – пароконпресорна холодильна установка, ADY – абсорбційно-дифузійна установка, IP – прямий, OB – зворотний, q_t – теплота змішування, (кДж/кг·К), \dot{M} – масова витрата, (кг/с).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

- 1). Морозюк Л. И. Повышение надежности термосифона абсорбционной холодильной машины / Л. И. Морозюк, А.М. Пилипенко, В.Н.Тихонова, В.Н.Шмелева // Холодильная техника. – Одеса: 1989. – № 12. – С. 24–27.
- 2). Morosuk T.V. Absorption technique application perspective in the technology of fruits and vegetables storage / T.V. Morosuk, B.A. Minkus, L.I. Morosuk, R.K. Nikulchin // Science et technique du froid - Refrigeration science and technology, 1994.– P. 165–172.
- 3). Morosuk L.I. Water-ammonia solution as a refrigerant for compressor refrigeration machines / Morosuk L., T.V. Morosuk, B. Diassana // Science et technique du froid - Refrigeration science and technology, 1996. – P. 375-382.
- 4). Morosuk L. Analyse thermodynamique des processus dans une machine frigorifique avec une variable chaleur specifique de la vapeur humide / L. Morosuk, T. Morosuk., B. Diassana, Tchaikovsky V. //Editors H. Auracher, M. Fiedt, G. Tsatsaronis, "Thermodynamics, heat and mass transfer of refrigeration machines and heat pumps" - France, Nancy: Institut National Polytechnique de Lorraine, 1998. – P. 99-105.
- 5). Морозюк Л. И. Метод расчета оптимального числа ступеней термодинамического цикла холодильных машин / Л. И. Морозюк, Р. К. Никульшин, Т. В. Морозюк // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – Москва: 1997. – № 16. – С. 28–29.
- 6). Морозюк Л. И. Метод анализа работы аппаратов с воздушным охлаждением // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – Москва: 1998. – № 9-10. – С. 37–39.
- 7). Barenboim A. Heat – using refrigeration machines for agriculture / A.B. Barenboim, T.V. Morosuk, L.I. Morosuk // Science et technique du froid - Refrigeration science and technology, 1998. — V6 —P.216-220
- 8). Морозюк Л. И. Системный анализ генераторов абсорбционно-диффузионных термотрансформаторов // Холодильная техника та технологія. – Одеса: ОДАХ, 1999. – № 61. – С. 36–41.
- 9). Морозюк Л. И. Сорбционные термотрансформаторы вчера-сегодня-завтра / Л. И. Морозюк, Т. В. Морозюк // Холодильная техника та технологія. – Одеса: ОДАХ, 1999. – № 62. – С. 120–125.

- 10). Морозюк Л. И. Систематизация парогазовых контуров абсорбционно-диффузионных холодильных машин // Холодильная техника та технология. – Одеса: ОДАХ, 1999. – № 63. – С. 120–125.
- 11). Морозюк Л. И. Гидрогазодинамика в парогазовом контуре абсорбционно-диффузионной холодильной машины // Вестник Международной Академии Холода. – Россия: 1999. – № 4 – С. 9–11.
- 12). Морозюк Л. И. Метод оптимального синтеза абсорбционно-диффузионных холодильных машин // Холодильная техника та технология. – Одеса: ОДАХ, 1999. – № 64. – С. 12–17.
- 13). Morosuk T.V. Analysis of the real thermodynamic cycles of compressor thermotransformers working with mixture / T.V. Morosuk, L.I. Morosuk // Editor G.G.Hirs "From thermoeconomics to sustainability" – Nederland, Twente? Universiteit Twente, 2000. – Part II. – P. 911-918.
- 14). Морозюк Т.В. Метод создания параметрических рядов абсорбционно-диффузионных бытовых холодильников // Холодильная техника та технология. – Одеса: ОДАХ, 2000. – № 68. – С. 23–27.
- 15). Баренбойм А.Б. Абсорбционно-компрессорные термотрансформаторы. Блок «турбина - компрессор» / А.Б. Баренбойм, Т.В. Морозюк, Б.А. Минкус Л. И. Морозюк // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – Москва: 2000. – № 8. – С. 34–35.
- 16). Морозюк Л. И. Применение водоаммиачной смеси в современных холодильных машинах и тепловых насосах / Л. И. Морозюк, Т.В. Морозюк // Вестник Международной Академии Холода. – Россия: 2000. – № 2 – С. 18–21.
- 17). Морозюк Л. И. Основы функционального проектирования термосифонных насосов абсорбционно-диффузионных холодильных машин / Л. И. Морозюк, А.В. Пашенко // Холодильная техника та технология. – Одеса: ОДАХ, 2000. – № 65. – С. 66–71.
- 18). Морозюк Л. И. Определение конструктивных характеристик термосифонных насосов абсорбционно-диффузионных холодильных машин // Л. И. Морозюк, А.В. Пашенко // Холодильная техника та технология. – Одеса: ОДАХ, 2000. – № 66. – С. 51–55.
- 19). Морозюк Л. И. Экспресс-оценка в функциональном проектировании абсорбционно-диффузионных холодильных машин // Проблемы создания новых машин и технологий. Сборник научных трудов КГПИ. – Кременчуг: КГПИ, 2000. – № 1(8). – С. 320–324.
- 20). Морозюк Л. И. «Метод циклов» в термодинамическом анализе абсорбционно-диффузионных холодильных машин // Холодильная техника та технология. – Одеса: ОДАХ, 2000. – № 67. – С. 21–28.
- 21). Морозюк Л. И. Многопоточный теплообменник с фазовым превращением в одном потоке // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – Москва: 2000. – № 7. – С. 32–34.
- 22). Никульшин Р. К. Метод анализа работы аппаратов с промежуточными хладоносителями / Р. К. Никульшин, Л. И. Морозюк, В. В. Соколовская // Холодильная техника та технология. – Одеса: ОДАХ, 2000. – № 67. – С. 29–34.

- 23). Морозюк Л. И. Решение психрометрической задачи в абсорбционно-диффузионной холодильной машине методом аналогий // Холодильная техника та технология. – Одеса: – № 69. – С. 57–62.
- 24). Морозюк Л. И. Водоаммиачные двухступенчатые термотрансформаторы / Морозюк Л. И., Морозюк Т. В. // Вестник Международной Академии Холода. – Санкт-Петербург-Москва, 2000. – №1. – С. 9–11.
- 25). Морозюк Л. И. Сорбционные термотрансформаторы: от теории к практике / Л. И. Морозюк, Т. В. Морозюк // Холодильная техника. – Москва, 2000. – № 10. – С. 10–12.
- 26). Морозюк Л. И. Высокотемпературный водоаммиачный тепловой насос / Л. И. Морозюк, Т.В. Морозюк // Вестник Международной Академии Холода. – Россия: 2000. – № 3 – С. 24–26.
- 27). Морозюк Л. И. Анализ влияния отложений на расчетные характеристики теплообменных аппаратов / Л. И. Морозюк, В. В. Соколовская // Холодильная техника та технология. – Одеса: ОДАХ, 2001. – № 5(74). – С. 30–33.
- 28). Morosuk T. Thermodynamic basis for creation of multi-temperature heat pumps / T. Morosuk, L. Morosuk, E. Neurov, B. Andresen // Editors G.Tsatsaronis, M.Moran, F.Cziesla, T.Bruckner - Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy System. Technical University of Berlin. – Germany: 2002. – Vol. II – P. 1080–1086.
- 29). Morosuk T. Entropy-cycle method for analysis of refrigeration machine and heat pump cycle / T. Morosuk, L. Morosuk, R. Nikulshin // Thermal science. 2006. – Vol. 10. – № 5. – P. 111–124.
- 30). Морозюк Т. В. Осаждение в теплообменных аппаратах: новый взгляд на проблему / Т. В. Морозюк, Л. И. Морозюк, В. В. Соколовская // Промышленная теплоэнергетика. – Киев, 2008. – Т.30. – №4. – С. 30–35.
- 31). Никульшин Р. К. Термодинамический анализ регенеративных циклов пароконпрессорных машин энтропийно-цикловым методом / Р. К. Никульшин, Л. И. Морозюк, В. В. Соколовская, А. А. Клименко // Холодильная техника и технология. – Одеса: ОДАХ, 2011. – № 2 (130). – С. 20–24.
- 32). Морозюк Л. И. Регенерація теплоти в тепловикористальних холодильних машинах / Л. И. Морозюк, С.В. Гайдук // Обладнання та технологія харчових виробництв: тематичний збірник наукових праць. Національний ун-т економіки і торгівлі ім. М.Туган-Барановського. – Донецьк, 2012. – Т. 1. – С.8-16.
- 33). Морозюк Л. И. К расчету теплоотдачи в микроканалах двухходового воздушного микроканального конденсатора / Л. И. Морозюк, О.В. Ольшевская // Холодильная техника и технология. – Одеса: ОДАХ, 2012. – № 3 (137). – С. 18–23.
- 34). Морозюк Л. И. Можливості створення компресорної тепловикористальної холодильної машини / Л. И. Морозюк, С.В. Гайдук // Холодильная техника и технология. – Одеса: ОДАХ, 2012. – № 4 (138). – С. 17–21.

35). Морозюк Л. І. Энтропийный метод моделирования и анализа двухступенчатых циклов холодильных машин и тепловых насосов / Л.И. Морозюк, Р.К. Никульшин // Сталый розвиток і штучний холод. Збірник наукових праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції. (Додаток до журналу «Холодильная техника и технология» – Одеса, 2012. – Т. 1. – С.8-16.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

36). Morosuk T.V. L'intensification des processus dans les thermotransformers d'absorption par la saturation du mélange riche / T.V. Morosuk, B.A. Minkus, L.I. Morosuk // Proceedings, 19-th International Congress of Refrigeration, Netherlands. – The Haag – Vol III a – P.161-168.

37). Morosuk L.I. New aspects of desing of absorption-diffusional refrigerating machines for multi-temperatures refrigerator // Proceedings of Conference Comission IIR/IIF B1, B2, E1, E2 "ECO-96", Romania. – Bucharest, 1996. – P. 254-259.

38). Morosuk L.I. Absorption heat pumps built in small power aggregated / L. Morosuk, B.A. Minkus, T.V. Morosuk, R.K. Nikulchin // Proceedings of "Conference International sur les pompes a chaleur a ba-sorption", Canada. – Montreal, 1996. – P. 747-751.

39). Morosuk L.I. Les schemas et les cycles des pompes a chaleur a compression / L. Morosuk, T.V. Morosuk, B. Diassana // Proceedings of "5-th International Energy Conference", Canada. – Toronto, 1996. – P. 231-236.

40). Morosuk L.I. Renewable and nontraditional energy sources for the absorption-compressor heat pump / L. Morosuk, T.V. Morosuk, A.A. Shamrai // Proceedings of International Conference IIR/IIF "Cold Climate NVAC'97", Iceland. – Reykjavik, 1997. – P. 375-381.

41). Morosuk L.I. Mathematic model of the evaporator of the absorption refrigeration machines // Proceedings of 10-th International Conference on thermal engineering and thermogrammetry (THERMO), Hungary. – Budapest, 1997. – P. 341-346.

42). Morosuk L.I. Designing of the regenerating heat exchanger of the absorption-diffusion refrigeration machine // Preprint proceedings of International Conference IIR/IIF "Heat Transfer and Safety Issues in "Natural" Refrigerants", USA, College Parc, 6-7 November, 1997. – P. 188-194.

43). Morosuk L.I. Water-ammonia two-stage thermotransformers / L. Morosuk, B. Diassana, Tchaikovsky // Natural working fluids'98", Norway. – Oslo, 1998. – P. 188-194.

44). Morosuk L.I. Heat pump with the two temperature levels of heat and cold / L. Morosuk, B. Diassana, V. Tchaikovsky // "Emerging Trends in Refrigeration and Air-Conditioning", India. – New Delhi, 1998. – P. 188-194.

45). Morosuk L.I. Evaporating cooling of the refrigerant in the absorption-diffusion refrigeration machine // Proceedings of 11-th International Conference on thermal engineering and thermogrammetry (THERMO), Hungary. – Budapest, 1999. – P. 218-223

46). Морозюк Л. І. Перспективи створення побутових абсорбційних холодильників з уніфікованим агрегатом / Л. І. Морозюк, Г.К.

Лавренченко, С.В Яровой // Тез. докл. Всесоюзной науч.-техн. конф. "Холод - народному хозяйству", Ленинград: ЛТИХП, 1991. – С. 134.

47). Minkus B.A. Absorption technique application perspective in the technology of fruits and vegetables storage / B.A. Minkus, L.I. Morosuk, R.K. Nikulchin // Abstract book of the International Symposium on "New application of refrigeration to fruit and vegetables processing" Turkey. – Istanbul, 1994. – P. 31

48). Морозюк Л. І. Трехпоточный регенеративный теплообменник абсорбционно-диффузионных холодильных машин / Л. И. Морозюк, М.М. Косая, // Материалы 60-ой учебно-метод. и науч.-техн. конф. ОГАХ "Теория и практика вузовской науки", Одесса: ОГАХ, 1995. – С. 44.

49). Morosuk T.V. Turbine-kompresor heat using refrigeration machines for the air – conditioning plants / T.V. Morosuk L.I. Morosuk, A.B. Barenboim V. Tchaikovsky // International Symposium "Air – Conditioning in high rise buildings", Shanghai – China, 1997. Vol II – P. 511-516.

50). Морозюк Л. І. Эксергетический анализ блока генератора абсорбционно-диффузионного теплого насоса / Л. И. Морозюк, Л.А. Павлова // Тезисы докладов Международной науч.-техн. конференции "Холод и пищевые производства", Россия. – С.-Петербург: С-ПАХИТ, 1996. – С. 50.

51). Morosuk L.I. The two-phase flow of the water-ammonia mixture in the regenerative heat-exchanger of the compression heat pumps / L.I. Morosuk, T.V. Morosuk, A.A. Shamrai, B. Diassana // Book of Abstracts of International symposium on Advances in computational heat transfer, Turkey. – Cesme, 1997. – С. 205-207.

52). Morosuk L.I. Water-ammonia transport refrigerating machines and heat pumps / L.I. Morosuk, B.A. Minkus, T.V. Morosuk, A.B. Barenboim // Book of Abstracts of International Conference of IIF/IIR "Refrigeration utilization for transportation in hot climate areas", Russia. – Astrakhan, 1997. – P. 154.

53). Morosuk L.I. Les machines frigorifiques utilisant de la chaleur pour l'agriculture / L.I. Morosuk, A.B. Barenboim, T.V. Morosuk // Book of Abstracts of International Conference IIR/IIF, Commission B2, C2, D1, D2/3, 23-26, Bulgaria – Sofia, 1998. – P. 23.

54). Barenboim A. Combined heat using refrigeration machines / A. Barenboim, T. Morosuk, B. Minkus, L. Morosuk, // CD-RUM of full texts of the 20-th International Congress of Refrigeration, Australia – Sidney, 1999. – file 319.

55). Morosuk L.I. Les machines frigorifiques utilisant de la chaleur pour l'agriculture / L.I. Morosuk, A.B. Barenboim, T.V. Morosuk // Book of Abstracts of International Conference IIR/IIF, Commission B2, C2, D1, D2/3, 23-26, Bulgaria – Sofia, 1998. – P. 23.

56). Морозюк Л.И. Двухфазный поток водоаммиачной смеси в регенеративном теплообменнике компрессорного теплого насоса / Л.И. Морозюк, Т.В. Морозюк // Тезисы докладов конференции, «Холодильная техника. Проблемы и решения», Россия – Астрахань: АТГУ, 1999. – С. 87-88.

57). Morosuk L.I. Method of analogies at the modeling of processes of evaporation of a liquid into a vapor-gas mixture / L.I. Morosuk, T.V. Morosuk //

CD-ROOM of 14-th International Congress of Chemical and Process Engineering, Czech Republic, 2000, file 1018.

58). Morosuk T. A new combined "distillation column - heat pump" / T. Morosuk, L. Morosuk, B. Andresen // A new combined "distillation column - heat pump" system CD-ROOM of 15-th International Congress of Chemical and Process Engineering, Praha, 2001 (Czech Republic), file 0204.

59). Morosuk L.I. "Distillation column - heat pump" is new combined system // L.I. Morosuk, B. Andresen, E. Neurov // Современные проблемы низкотемпературной техники. Тезисы докладов научно-технической конференции. – Одесса: ОГАХ, 2002. – С. 102.

60). Morosuk T. Heat Exchangers: Fouling Layer Formation Problem / T. Morosuk, A. Mohamad, L. Morosuk, A. Klímenko // Abstract book of 16-th International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA'2004. Praha – (Czech Republic). — P.8.

61). Клименко А.А. Выбор теории для описания физики процессов в задачах оптимизации холодильной техники / А.А. Клименко, Е.А. Криницкая, Л.И. Морозюк // Матер. Междунар. н-т конференции «Україна наукова». – Днепропетровск – Запорожье, 2004. – С. 38 – 39.

62). Козырева Н.Ю. Абсорбция в условиях естественного движения потоков жидкости и парогазовой смеси внутри трубы / Н.Ю. Козырева, Л.И. Морозюк // Humboldt-Kolleg "EnergyChallengesofthe 21st Century: Science, Technology, Economy, Society". Ukraine. – Odessa, 2007. – P. 113.

63). Морозюк Л.И. Исследования влияния естественного движения потоков жидкости парогазовой смеси на тепломассообмен при испарении и абсорбции в АДХМ / Л.И. Морозюк, Н.Ю. Козырева // Современные проблемы холодильной техники и технологии. Сборник научных трудов 6-ой международной конф. – Одесса: ОГАХ, 2007. – С. 89 – 90.

64). Соколовская В.В. Термодинамический анализ двухпоточного теплообменника энтропийным методом / В.В. Соколовская, Л.И. Морозюк // Современные проблемы холодильной техники и технологи. Сборник научных трудов VI международной научно-технической конф. – Одесса: ОГАХ, 2007. – С. 141 – 142.

65). Морозюк Л. И. «Метод циклов» в анализе энергетической эффективности абсорбционно-диффузионных холодильных машин // Інновації в суднобудуванні і океанотехніці. Матер. I Міжнар. науково-технічн. конф. – Миколаїв, 15-17 вересня, 2010. – Миколаїв, 2010. – С. 243–244.

66). Морозюк Л. И. Термодинамические аспекты в задачах проектирования теплообменных аппаратов / Л. И. Морозюк, В.В. Соколовская // Инновационные разработки в области техники и физики низких температур. Тезисы докладов международной конференции с элементами научной школы для молодежи, Россия – Москва, 2010. – С. 38 – 39.

67). Морозюк Л. І. Термодинамічні зразки для аналізу тепловикористовуючих машин / Л. І. Морозюк, С.В. Гайдук // Стан досягнення і перспективи холодильної техніки і технології. Збірник тез доповідей

Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів – Одесса: ОГАХ, 2011. – С. 73.

68). Морозюк Л. И. Об оптимизации теплообменных аппаратов различными методами / Л. И. Морозюк, В.В. Соколовская, О.В. Ольшевская // Инновации в холодильной технике. Международная конференция, Россия – Москва, 2012. – С. 57-58.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

69). Morosuk L.I. Air-cycle refrigeration machines for the air-conditioning plants // Morosuk L., T.V. Morosuk, A.A. Shamrai // Proceedings of International Symposium "Air Conditioning in high rise buildings'97", China. – Shanghai, 1997. – P. 505-510.

70). Morosuk L.I. L'intensification des processus dans les thermotransformers d'absorption par la saturation du melange riche / L. Morosuk, B.A. Minkus, T.V. Morosuk // Proceedings of Conference Commission IIR/IIF B1, B2, E1, E2 "ECO-96", Romania. – Bucharest, 1996. – P. 260-267.

71). Морозюк Л.И. Аналіз умов теплопередачі у двоходовому повітряному мікроканалному конденсаторі / Л.И. Морозюк, О.В. Ольшевская // Обладнення та технології харчових виробництв тематичний збірник наукових праць. Національний ун-т економіки і торгівлі ім. М.Туган-Барановського. – Донецьк, 2012. – С.148-155

72). Морозюк Л.И. Анализ процесса гидродинамики при конденсации рабочего вещества в микроканальном конденсаторе / Л.И. Морозюк, О.В. Ольшевская // Холодильная техника и технология. – 2012.-№4(138).-С.22-25

Патенты:

1) А.с. 1615493 СССР, МКИ5 F25B15/10. Абсорбционный диффузионный холодильный агрегат [текст] /Л.И. Морозюк, С.В. Яровой, А.М.. Пилипенко, И.П. Науменко, А.А.. Ильченко (СССР).– №4852026/06; заявл. 18.07.90; опубл. 23.11.90, Бюл. №47.

2) А.с. 1762087 СССР, МКИ5 F25B15/00. Холодильная машина [текст] /Л.И. Морозюк, Г.К. Лавренченко, М.М. Хмельнюк, С.В. Яровой, . П.В. Серебрянский, С.А. Терентьев (СССР). – №4632877/23-06; заявл. 06.01.89; опубл. 23.12.90, Бюл. №47.

3) Патент України, UA №35297 , МПК P25B6B15/02. Абсорбційна холодильна машина з оберненим ректифікатором. [текст] /Т.В. Морозюк, Л.И. Морозюк; заявник і патентовласник Одеська державна академія холоду . – № 99095175; заявл. 20.09.1999; опубл. 15.03.2001, Бюл. №2.

4) Патент України, UA №72660 , МПК F25B27/00. Компресорна тепловикористальна холодильна машина. [текст] / Л.И. Морозюк; С.В. Гайдук заявник і патентовласник Одеська державна академія холоду . – №u201201563; заявл. 13.02.2012; опубл. 27.08.2012, Бюл. №16.

АННОТАЦИЯ

Морозюк Л.И. Развитие теории и методов исследования процессов преобразования и получения тепла и холода в установках с многокомпонентными и многофазными рабочими веществами. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.06 – техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика. – Одесский национальный политехнический университет, Одесса 2013.

Диссертация посвящена развитию термодинамической теории и методов исследования процессов преобразования и получения тепла и холода в установках с многокомпонентными и многофазными рабочими веществами с целью энергосбережения путем формирования комплекса «структура – рабочее вещество».

Получил дальнейшее развитие метод формирования схемно-цикловых решений установок для получения тепла и холода в установках с многокомпонентными и многофазными рабочими веществами, основный на современных методах прикладной термодинамики, что позволило осуществить формирование комплекса «структура - рабочее вещество» для решения задач энергосбережения.

Получил дальнейшее развитие метод системного анализа установок для преобразования и получения тепла и холода с многокомпонентными и многофазными рабочими веществами, который базируется на формировании обобщенных схем установок, что позволило осуществить синтез схемных решений, отвечающих задачам энергосбережения.

Получил дальнейшее развитие метод согласования величин полезных эффектов в процессе синтеза структуры компрессорных тепловых насосов, который базируется на анализе технологического процесса с применением этих установок, что дало возможность решить проблему энергосбережения в технологическом процессе, который анализируется.

Разработан метод синтеза схемно-цикловых решений абсорбционно-диффузионных установок, который базируется на применении ациклических графов – деревьев теоретико – графового метода, что дало возможность обеспечить температурный эффект в охлаждаемых объектах в совокупности с необходимым составом элементов с соответственным термодинамическим циклом и его параметрами согласно стандарту на бытовые устройства.

Разработаны математические модели процессов теплообмена в элементах абсорбционно - диффузионных установок, основанные на критериальных уравнениях теплообмена для многофазных потоков, что позволило определить характер распределения температур по поверхности теплообмена и изменения парциальных давлений компонентов в трехфазных потоках в многопоточных теплообменниках.

Получил дальнейшее развитие метод функционального проектирования элементов абсорбционно-диффузионных установок, который базируется на

методиках теплотехнических расчетов, что дало возможность проводить многовариантные теплотехнические и конструктивные расчеты с конечной целью решения задач энергосбережения.

Результаты работы позволили осуществить техническую помощь Васильковскому заводу холодильников в повышении качества абсорбционных бытовых устройств. Использование «метода циклов» позволило создать работоспособные схемы компрессорных и абсорбционно-диффузионных установок с многокомпонентными рабочими веществами и характеристиками, которые отвечают требованиям энергосбережения. Результаты работы легли в основу учебных дисциплин: «Теоретические основы холодильной техники» и «Термодинамический анализ циклов парокомпрессорных холодильных машин».

Ключевые слова: термодинамический анализ, многокомпонентные рабочие вещества, многофазные рабочие вещества, парокомпрессорная холодильная установка, тепловой насос, абсорбционно-диффузионная установка, функциональное проектирование.

ABSTRACT

Morosuk L.I. Developments in the theory and the evaluation methods of the processes for generating heat and cold, using installations with multicomponent and multiphase working fluids - Manuscript.

Dissertation of scientific degree of the Doctor's of engineering science. Speciality: 05.14.06 - Technical thermophysic and industrial heat energetic.- Odessa State Polytechnic University, Odessa, 2013.

The dissertation is devoted to the developments in the thermodynamic theory and the evaluation methods of the processes for generating heat and cold, using installations with multicomponent and multiphase working fluids. The main goal of the dissertation is to develop an energy saving concept for such installations thought introducing the interconnection between the structure of the installation and the working fluid.

In the dissertation, the author expanded the "cycle method" (using the methods of the modern applied thermodynamics) for the development of the workable and energy efficient compression and absorption-diffusion installations. Base on the first step of the "cycle method", i.e. selection of the correct model-cycle, the method for agreeable the heat characteristics between the compression installation and the multitemperature subject has been developed and demonstrated. For the first time, the method for the synthesis of the cycle-schematics solutions of the absorption-diffusion installations has been proposed. This method is based on the graph theory of the mathematical modeling, namely on the acyclic graph-theories. Through the applications of the system analysis method, the approach for creating new workable and energy efficient schematics of the absorption-diffusion installations has been proposed, at condition that (a) the desired output characteristics, and/or (b) the required interrelations between temperature and heat characteristics are fulfilled, and (c) the standards for the household installations are matched. The functional design method, applied to the

absorption-diffusion installations leads to define the heat characteristics (effectiveness of the heat- and mass-transfer processes, particularly within three-phase streams of multi-flow heat exchangers) and constructive characteristics as well as to make the corresponding conclusions about the capability of work of these installations.

Keywords: thermodynamic analysis, multicomponents working fluids, multiphase working fluids, compression refrigeration installations, compression heat pumps, absorption-diffusion installations, functional design.

АНОТАЦІЯ

Морозюк Л.І. Розвиток теорії та методів дослідження процесів перетворення та отримання тепла та холоду в установках з багатокомпонентними та багатофазними робочими речовинами - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2013 .

Дисертацію присвячено розвитку термодинамічної теорії та методам оцінки процесів перетворення та отримання тепла і холоду в установках з багатокомпонентними і багатофазними робочими речовинами. Основною метою дисертації є розробка концепції енергозбереження шляхом формування комплексу «структура-робоча речовина».

Для розв'язання завдань енергозбереження дістали розвитку метод формування схемно-циклових рішень, оснований на сучасних методах прикладної термодинаміки, метод системного аналізу для синтезу схемних рішень, який базується на формуванні узагальнених схем установок з подальшою селекцією дійсних рішень, метод узгодження величин корисних ефектів в процесі синтезу структури компресорних теплових pomp, який базується на аналізі конкретного технологічного процесу із застосуванням цих установок, метод функціонального проектування абсорбційно-дифузійних установок, що дало підставу проводити багатоваріантні теплотехнічні та конструктивні розрахунки з висновками про роботоздатність цих установок.

Розроблено метод синтезу схемно-циклових рішень абсорбційно-дифузійних установок, оснований на використанні ациклічних графів-дерев теоретико-графового методу, що забезпечило визначення температурних ефектів в охолоджуваних об'єктах у поєднанні з складом елементів, термодинамічним циклом та стандартом на побутові прилади. Розроблено математичні моделі процесів тепломасообміну в абсорбційно-дифузійних установках для визначення теплових (ефективності тепломасообмінних процесів, зокрема в трифазних потоках багатопотокових теплообмінників) і конструктивних характеристик.