

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



ХОЛОДКОВ АНДРІЙ ОЛЕГОВИЧ

УДК 621.575.932:621.565.92

**УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГЕНЕРАТОРНИХ
ВУЗЛІВ АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ**

Спеціальність 05.05.14 – холодильна, вакуумна та
компресорна техніка, системи кондиціонування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2018

Дисертацією є рукопис

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

Науковий керівник : доктор технічних наук, професор
Тітлов Олександр Сергійович
завідувач кафедри теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв Одеської національної академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Радченко Микола Іванович,
завідувач кафедри кондиціонування та рефрижерації Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, доцент
Кравець Володимир Юрійович
Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського Міністерства освіти і науки України

Захист відбудеться 22 лютого 2018 року. в 11⁰⁰, в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.03 в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ОНАХТ за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна
Автореферат розісланий 19 січня 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради,
доктор технічних наук, професор



Мілованов В.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Незважаючи на невелику частку в асортименті моделей побутової холодильної техніки (в середньому 5-10 %), побутові абсорбційні холодильні прилади (АХП), до складу яких входить абсорбційний холодильний агрегат (АХА), користуються попитом на світовому ринку побутової холодильної техніки завдяки широкому діапазону робочих температур – від мінус 24 °С (тривале низькотемпературне зберігання) до 12 °С (зберігання плодоовочевої продукції і охолоджених напоїв), а також комплексу властивих тільки їм якостей таких як:

а) безшумність в роботі, що робить їх практично незамінними в готелях, офісах, кабінетах, житлових кімнатах, лікарнях і т.і.;

б) можливість роботи на неелектричних енергоносіях (природний газ, дизельне паливо, бензин, гас, пропан-бутан, біогаз, енергія сонячного випромінювання, вихлопні гази двигунів внутрішнього згоряння і т.і.;

в) можливість використання в одному апараті різних джерел енергії, наприклад: змінний струм (220 В); постійний струм (12 В і 24 В); палиниковий пристрій.

Крім цього, АХП мають наступні переваги перед найбільш широко поширеними компресійними моделями: висока надійність і тривалий ресурс експлуатації через відсутність в конструкціях компресора; можливість роботи на електричних джерелах низької якості (діапазон напруги в мережі 160...250 В); нижча собівартість (через відсутність в конструкціях кольорових металів), та, отже, доступність широким верствам населення.

Важливим позитивним аспектом виробництва АХП є і екологічна безпека робочого тіла (водоаміачного розчину з інертним газом-воднем), що виключає дорогі заходи щодо переходу на природні холодоагенти.

Крім цього, недавні дослідження Очеретяного Ю.А. показали перспективи використання АХП як на автомобільному (при трясці), так і на річковому і малотоннажному морському транспорті (при нахилах і диферентах).

Разом з тим АХП мають підвищене, в порівнянні з компресійними аналогами, енергоспоживання при експлуатації через термодинамічні недосконалості абсорбційного холодильного циклу, наявності малоінтенсивних дифузійних процесів масообміну в випарнику і абсорбері та втрати, пов'язані з випаровуванням і подальшим транспортуванням аміаку з генераторного вузла в конденсатор, і далі – у випарник.

Як показав аналіз, найбільший ефект в енергозбереженні при експлуатації АХП при мінімальних змінах конструкції може бути досягнуто при вдосконаленні режимів роботи генераторних вузлів. Таким чином, **актуальними** стають роботи з удосконалення режимів роботи генераторних вузлів АХП.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до:

– Закону України «Про енергозбереження» (Постанова Верховної Ради України № 75/94-ВР від 01.07.1997 р.);

– планів бюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України «Багатофункціональні абсорбційні сонячно-теплонасосні системи життє-

забезпечення» (№ Держ. реєстр. 0112U000732, період 01.01.2013 – 31.12.2014) і «Розробка систем охолодження морських і річкових суден з використанням вторинних джерел тепла» (№ Держ. реєстр. 0115U000288, період 01.01.2015 – 31.12.2016), які були виконані на базі Проблемної науково-дослідної лабораторії холодильної техніки Одеської національної академії харчових технологій (ОНАХТ);

– планів наукового напрямку досліджень кафедри теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв ОНАХТ.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є удосконалення режимів роботи генераторних вузлів АХП.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **основні завдання**:

а) провести аналіз сучасного стану розробок і досліджень генераторних вузлів АХП та визначити найбільш перспективні напрямки досліджень з енергозбереження при експлуатації;

б) розробити методику теплового розрахунку дефлегматора АХА, що враховує неідеальність перемішування потоку водоаміачної суміші (ВАС) в радіальному напрямку, в стаціонарних і перехідних режимах, та з урахуванням специфіки роботи в широкому діапазоні температур зовнішнього повітря;

в) провести експериментальні дослідження АХП з метою підтвердження та уточнення результатів моделювання;

г) розробити нові схеми і конструкції енергозберігаючих АХП і способи їх керування.

Об'єкт дослідження – генераторні вузли АХП.

Предмет дослідження – температурні та енергетичні робочі режими, схеми і конструкції генераторних вузлів АХП.

Методи дослідження:

а) теоретичні – термодинамічний аналіз і моделювання процесів тепломасообміну в елементах генераторного вузла АХА з використанням аналітичних і чисельних методів, порівняння результатів моделювання з результатами експериментальних власних досліджень і досліджень інших авторів;

б) експериментальні – визначення температурних і енергетичних параметрів АХА з удосконаленими генераторними вузлами в різних умовах експлуатації.

Наукова новизна результатів роботи:

1. Вперше, на основі аналізу результатів експериментальних досліджень встановлено відсутність впливу вмісту води до 4 % в парі аміаку на рівень температур охолодження у випарнику АХА, що дозволяє істотно спростити конструкції елементів генераторного вузла і направити розробки в бік мінімізації теплових втрат в навколишнє середовище, наприклад, за рахунок встановлення вискоелективної теплової ізоляції.
2. Вперше, за результатами моделювання процесів тепломасообміну в дефлегматорі і експериментальних досліджень запропоновано нові енергоощадні способи керування АХА, що працює в широкому діапазоні температур повітря навколишнього середовища:

а) за рахунок зміни умов відведення тепла від підйомної магістралі дефлегматора шляхом регулювання циркуляції повітряного потоку від максимальної інтенсивності до повного блокування (адіабатне наближення), що дозволяє знизити незворотні втрати аміаку при його транспортуванні в конденсатор і далі – у випарник, особливо в холодний період року (до 36 %);

б) за рахунок регулювання електричної потужності, що підводиться до генератора-термосифона, відповідно до значення температури в характерній точці дефлегматора, що дозволяє використовувати мінімальну кількість теплової енергії для поточних режимів роботи АХП.

3. Вперше, на базі експериментальних досліджень проведено ідентифікацію АХП як об'єкта управління в зоні знижених температур експлуатації та діапазонів теплових навантажень 0...70 Вт і 0...150 Вт, що дозволяє створити автоматизовані енергоощадні способи керування реальними АХП даного класу.

4. Вперше, з урахуванням ряду припущень, була сформульована крайова задача для процесу теплообміну в зоні підведення тепла до генератора-термосифону, що дозволяє зробити висновок про наявність енергоощадного режиму кипіння.

5. Отримали подальший розвиток методи моделювання теплових режимів підйомної ділянки дефлегматора, яка є транспортною магістраллю пари аміаку в конденсатор і далі – у випарник. Запропоновано нові підходи, що враховують зміну умов відведення тепла від зовнішньої поверхні дефлегматора до повітря навколишнього середовища як в стаціонарному режимі, так і в перехідних. При цьому, на відміну від відомих методик, проводиться облік процесів дифузії при конденсації водяної пари з потоку парової ВАС. Запропоновані методи дозволяють визначити розподіл температур по висоті підйомної частини дефлегматора та визначити місце розташування характерної точки, що відповідає максимальній енергетичній ефективності АХП.

6. Розроблені оригінальні конструкції підйомної ділянки дефлегматора АХА, що здатні змінювати умови теплообміну на зовнішній поверхні при зміні температури повітря навколишнього середовища в автоматичному режимі без участі користувача.

Достовірність наукових положень і результатів забезпечується коректною постановою завдань теоретичного дослідження; використанням сучасних методів аналітичного моделювання; порівняльним аналізом розрахункових і експериментальних результатів, при цьому граничними умовами є параметри реальних моделей; використанням сучасного вимірювального обладнання, що дозволяє забезпечити необхідну точність.

Практична цінність досліджень.

1. Елементи методики термодинамічного аналізу, в частині генераторів абсорбційних водоаміачних холодильних машин, використані в Додатку А «Пошук енергетичних режимів роботи абсорбційної водоаміачної холодильної машини в системах отримання води з атмосферного повітря» – заключного звіту за бюджетною науково-дослідною роботою МОН України «Багатофункціональні абсорбційні сонячно-теплонасосні системи життєзабезпечення» (№ Держ. реєстр. 0112U000732).

2. Результати експериментальних досліджень й оригінальні конструкції в частині генераторних вузлів АХА, що використані в розділах, відповідно, 4 і 6 заключного звіту за бюджетною науково-дослідною роботою МОН України «Роз-

робка систем охолодження морських і річкових суден з використанням вторинних джерел тепла» (№ держ. реєстр. 0115U000288).

3. Результати дисертаційної роботи, в частині вибору оптимальної товщини теплової ізоляції на транспортних елементах холодильного та криогенного обладнання, використовуються при проектуванні обладнання на ВАТ «Зонт» (торгова марка «Кріогенмаш», м. Одеса).

Особистий внесок здобувача. Здобувачем проведено аналіз сучасного стану досліджень [1-9], проведено моделювання процесів тепломасообміну [1, 5, 8], виконані розрахунки і аналіз режимних параметрів елементів АХА [2-4, 5, 7], проведені експериментальні дослідження та виконаний аналіз отриманих результатів [3, 4, 6, 7, 9], підготовлено матеріали до публікації [1-9]. Конкретний внесок автора в опубліковані в співавторстві наукові праці наведено в списку основних публікацій за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 20 науково-практичних форумах різного рівня, в тому числі на: міжнародному семінарі Humboldt-College «Philosophy of Sciences» (Одеса, 2010); V Міжнародній науково-технічній конференції «Удосконалення малої хладотеплотехніки – використання холоду в харчовій галузі» (Донецьк, 2010); Міжнародних науково-технічних конференціях «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (Миколаїв, 2010, 2014, 2016); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» (Одеса, ОНАХТ, 2011); VII Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» (Одеса, ОДАХ, 2011); IX Міжнародній конференції «Стратегія якості в промисловості та освіті» (Варна, Болгарія, 2013); The Second North and East European Congress on Food «NEEFood-2013» (Kyiv, 2013); II Міжнародній науково-технічній конференції «Холод в енергетиці й на транспорті: сучасні проблеми кондиціювання та рефрижерації» (Миколаїв, 2013); V Міжнародній науково-технічній конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (Миколаїв, 2014 року); Міжнародній науково-технічній конференції «Казахстан-Холод-2015» (Алмати, Казахстан, 2015); VII Міжнародній науково-технічній конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (Миколаїв, 2016).

Публікації. Результати дисертації опубліковано в 8 затверджених спеціалізованих науково-технічних виданнях України, в одному зарубіжному періодичному виданні, в одній статті й в 11 тезах доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях.

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 основних розділів, висновків, списку використаних джерел, який включає 202 наукові роботи, 3 додатків. Повний обсяг роботи становить 185 сторінок та включає 1 таблицю, 95 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, відображено зв'язок з державними програмами і темами, сформульовано цілі та основні завдання дослідження, наведено наукову новизну і практичну цінність отриманих

результатів, зазначено особистий внесок здобувача, дано відомості про апробацію результатів дисертації та основні публікації.

У першому розділі проведений аналіз сучасного стану виробництва і тенденцій розвитку АХП. Відмічений внесок в розробки побутових АХП О.Б. Василюва, В.В. Завертаного, Іщенко І.М., О.В. Мазура, Л.І. Морозюк, Г.М. Оліфера, Ю.О. Очеретяного, Г.Ф. Смірнова, О.О. Тітлової, Д.С. Тюхая, В.А. Хобіна, М.Ф. Хоменко, Г. Штірліна (Н. Stierlin), В.М. Янченко, С.В. Ярового.

Вивчена можливість застосування відомих технічних рішень для досягнення поставленої мети. Виконаний детальний аналіз відомих методів розрахунку і моделювання елементів і конструкцій АХП.

У другому розділі виконано моделювання процесів тепломасообміну в елементах генераторних вузлів АХП.

Дефлегматор. В основі модельних підходів і уявлень лежить «перевірочний» розрахунок деякої конструкції теплоізольованого, в загальному випадку – частково, дефлегматора АХА з відомими габаритними і теплотехнічними характеристиками: розміри дефлегматора (теплової ізоляції): довжина L_D (L_{IS}), внутрішній d_{in} (d_{in}^{is}) і зовнішній d_{out} (d_{out}^{is}) діаметри; коефіцієнти теплопровідності матеріалу стінки труби дефлегматора (λ_D) і матеріалу теплової ізоляції (λ_{II}). Відомими вважаються умови відведення тепла до повітря навколишнього середовища: температура повітря – t_{ENV} , коефіцієнт конвективного теплообміну – α_K , ступінь чорноти поверхні стінки дефлегматора – ε . Для більшості вітчизняних і зарубіжних моделей $\varepsilon = 0,876$ (емаль чорна блискуча).

Схема роботи частково теплоізольованого дефлегматора АХА представлена на рис.1.

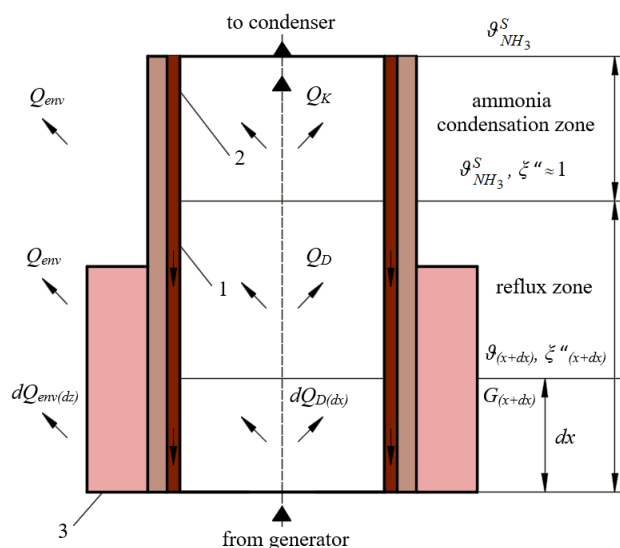


Рис. 1. Схема роботи частково теплоізольованого дефлегматора АХА: 1 – стінка дефлегматора; 2 – потік флегми; 3 – тепла ізоляція

При конденсації пари води виникає різниця концентрацій по парі води в ВАС між пристінним шаром і основним потоком. Різниця концентрацій призводить до виникнення дифузійного потоку маси пари води з основного ядра потоку ВАС до стінки. При випаданні конденсату з ВАС, переважно води, інтегральна рівноважна температура потоку – ϑ знижується. Зниження температури потоку матиме місце до повного очищення пари аміаку від пари води. Надалі буде йти конденсація чистої пари аміаку при постійній температурі і потоку, і стінки дефлегматора ($g_{NH_3}^S$). Проти-

течією до ВАС по внутрішній стінці дефлегматора стікає флегма, що містить пе-

реважно воду. Оцінка теплових та гідродинамічних параметрів потоку флегми в діапазоні робочих характеристик типових побутових абсорбційних холодильників показала їх незначний вплив на режими роботи дефлегматора і при подальшому моделюванні наявність флегми не враховувалася.

При тепловій взаємодії парового потоку ВАС і стінки дефлегматора відбувається часткове охолодження потоку (Q_v) та виділяється теплота (Q_{ph}) фазового переходу (теплота дефлегмації):

$$Q_D = Q_{ph} - Q_v. \quad (1)$$

Частина тепла відводиться в навколишнє середовище (Q_{ENV}), а частина, у вигляді осьових перетоків, перерозподіляється по стінці дефлегматора (Q_K), причому сумарний тепловий потік завжди спрямований вгору.

Основою математичної моделі дефлегматора АХА є рівняння збереження тепла і маси, які для елементарної i -ої ділянки дефлегматора dx :

$$\Delta Q_{Di}(\tau) = Q_{Di} + Q_{ENVi} + Q_{Ki}, \quad (2)$$

$$G''_{ent} = G''_{\Delta x} + G'_{\Delta x}, \quad (3)$$

де $G''_{\Delta x}$ і $G'_{\Delta x}$ – масові витрати парової ВАС на виході ділянки Δx і флегми, відповідно, кг/с.

Математичну модель дефлегматора АХА, як об'єкта з розподіленими параметрами, в загальному вигляді можна представити рівнянням теплового балансу елементарних комірок корпусу в частинних похідних:

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho_D c_D \theta_D) = \frac{\partial}{\partial x}(\lambda_D \frac{\partial \theta_D}{\partial x}) + Q(x), \quad (4)$$

де θ_D – температура стінки дефлегматора АХА, °С; ρ_D, c_D, λ_D – густина, масова теплоємність, коефіцієнт теплопровідності стінки дефлегматора, відповідно, кг/м³; Дж/(кг·К); Вт/(м·К); $Q(x)$ – інтегральний тепловий потік від внутрішніх джерел тепла по висоті дефлегматора, Вт; τ – час, с.

Ліва частина рівняння (4) являє собою зміну внутрішньої енергії елементарної комірки стінки дефлегматора в часі, а права – суму конвективних теплових потоків при охолодженні і дефлегмації парової ВАС Q_D , при теплорозсіюванні в навколишнє середовище Q_{ENV} та кондуктивних перетоків тепла від сусідніх комірок (в загальному випадку з двох сторін $Q_{K(i+1)}$ і $Q_{K(i-1)}$).

В результаті в загальному випадку температура $\theta_{Di}(\tau)$ кожної i -ої елементарної комірки дефлегматора визначається початковими значеннями температури на цій ділянці $\theta_{Di}(\tau = 0)$ і сумарним тепловим потоком до неї

$$\theta_{Di}(\tau) = \theta_{Di}(\tau = 0) + \frac{1}{m_{Di} c_{Di}} \int_0^{\tau} \Delta Q_i(\tau) d\tau, \quad (5)$$

де $\Delta Q_i(\tau) = \Delta Q_D + \Delta Q_{ENV} + \Delta Q_{K(i+1)} + \Delta Q_{K(i-1)}$ – алгебраїчна сума теплових потоків в елементарних комірках дефлегматора, Вт.

Як приклад розглядається типовий АХП «Київ-410» АШ-160 з дефлегматором з зовнішнім діаметром 0,0160 м, а внутрішнім – 0,0146 м.

Подальші оцінки параметрів потоку ВАС парової суміші в діапазоні роботи типових дефлегматорів побутових АХП вітчизняного і зарубіжного виконання, показали наявність ламінарного режиму руху з числами Рейнольдса 350...600 при лінійній швидкості 0,0075...0,0130 м/с.

Наявність ламінарної шаруватої течії потоку ВАС не передбачає ідеальне перемішування потоку в радіальному напрямку. В цьому випадку виникає своєрідний опір поперечному потоку речовини, і для створення максимально адекватної моделі дефлегматора за доцільне провести облік такого чинника.

Так, для циліндричних координат (висота елементарної ділянки dx) потік маси (кг/с) буде визначатися наступною залежністю:

$$dm_w = \frac{\mu_w}{8314 \cdot T} \cdot \frac{P_{W(r=r_o)} - P_{W(r=r_D)}}{\ln \frac{d = d_{in}}{d = d_D}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot D_{AB} \cdot dx, \quad (6)$$

де $\mu_w = 18$ кг/кмоль – молярна маса дифундуючого компонента (водяної пари); $P_{W(r=r_o)}, P_{W(r=r_D)}$ – парціальні тиски водяної пари в потоці ВАС, відповідно, в ядрі потоку та в пристінній зоні дефлегматора, Па; D_{AB} – коефіцієнт дифузії водяної пари в ВАС, м²/с; T – абсолютна температура дифундуючого компонента, К; d_D – поточне чисельне значення діаметра дефлегматора, м.

При моделюванні теплових режимів дефлегматора АХА були прийняті допущення: по довжині елементарної ділянки дефлегматора dx температури стінки і парового потоку ВАС постійні в аксіальному напрямку, відповідно, $\theta = const$ і $\mathcal{G} = const$; масовий склад парового потоку ВАС по довжині елементарної ділянки дефлегматора dx змінюється за логарифмічним законом відповідно до співвідношення (6).

З урахуванням цих припущень, алгебраїчна сума теплових потоків в елементарній комірці дефлегматора набуває такого вигляду:

а) вхідна (початкова) ділянка:

$$\tilde{\alpha}_D (\mathcal{G}_{ent} - \theta_1) = \alpha_{D(1)} (\mathcal{G}_{ent} - \theta_1) \cdot \Delta F_{in} + K_l (\theta_1 - t_{env}) \cdot \Delta x + \frac{\lambda}{\Delta x} (\theta_1 - \theta_2) \cdot F_{sec}; \quad (7)$$

б) вихідна (кінцева) ділянка (K):

$$\tilde{\alpha}_D (\mathcal{G}_{ent} - \theta_K) = \alpha_{D(K)} (\mathcal{G}_K - \theta_K) \cdot \Delta F_{in} + K_l (\theta_K - t_{env}) \cdot \Delta x + \frac{\lambda}{\Delta x} (\theta_{K-1} - \theta_K) \cdot F_{sec}; \quad (8)$$

в) проміжна ділянка i :

$$\begin{aligned} \tilde{\alpha}_D (\mathcal{G}_{ent} - \theta_i) = & \alpha_{D(i)} (\mathcal{G}_i - \theta_i) \cdot \Delta F_{in} + K_l (\theta_i - t_{env}) \cdot \Delta x + \\ & + \frac{\lambda}{\Delta x} (\theta_{i-1} - 2\theta_i + \theta_{i+1}) \cdot F_{sec}; \end{aligned} \quad (9)$$

де $\tilde{\alpha}_D$ – умовний коефіцієнт теплообміну при дефлегмації парового потоку ВАС, що враховує процес фазового переходу, Вт/(м²·К); \mathcal{G}, θ – температури на ділянці Δx парового потоку ВАС і стінки дефлегматора, відповідно, °С; $\alpha_{D(i)}$ – коефіцієнт конвективного теплообміну між стінкою дефлегматора і потоком ВАС, Вт/(м²·К); K_l – лінійний коефіцієнт теплопередачі між флегмою і повітрям навко-

лишнього середовища на ділянці Δx , Вт (м·К); ΔF_{in} і F_{sec} – площа внутрішньої стінки ділянки Δx і аксіального перерізу труби дефлегматора, відповідно, м².

Для створення адіабатних умов використовувалися повітряні прошарки менші ніж 5 мм, в яких природна конвекція відсутня, а процес перенесення тепла проходить кондукторним шляхом.

З рівнянь балансу тепла і маси на деякій ділянці дефлегматора Δx можна отримати залежність для температури парового потоку на його виході \mathcal{G}'' , знаючи температуру \mathcal{G}' на вході ділянки, умови теплообміну і параметри потоку:

$$\mathcal{G}'' = \left[\frac{G''_{\Delta x} \cdot c_p \cdot \mathcal{G}' - \alpha \cdot \Delta F_{in} \cdot (\mathcal{G}'/2 - \theta)}{\alpha \cdot \Delta F_{in} / 2 + c_p \cdot (G''_{\Delta x} - dm_w)} \right], \quad (10)$$

де c_p – масова ізобарна теплоємність парової ВАС на ділянці Δx , Дж/(кг·К); α – коефіцієнт конвективного теплообміну між паровим потоком ВАС і стінкою дефлегматора, Вт/(м²·К).

Моделльні уявлення про теплові і гідравлічні режими дефлегматора АХА реалізовані в середовищі імітаційного моделювання Simulink програми MATLAB. Облік зміни теплофізичних властивостей парової ВАС в залежності від складу проводився за допомогою вбудованого блоку Look-Up-Table.

За наведеним вище алгоритмом виконано розрахунок температурних полів для дефлегматора діаметром 16×1,4 мм. Матеріал труби – конструкційна сталь ($d_{in} = 45$ Вт/(м·К)). Матеріал теплоізоляції кожуха – тканина зі скловолна ($\lambda_{ti} = 0,056$ Вт/(м·К)). Було проведено моделювання теплових режимів дефлегматора розміром 0,20 м з 20 елементарними ділянками розміром по 0,01 м. Розглянуто два варіанти роботи дефлегматора – без теплової ізоляції підйомного ділянки і робота в ідеальних адіабатних умовах.

У першому випадку моделювання проводилося за температурами: 10; 17; 25 і 32 °С, а в другому, при 10 і 25 °С. Нижня межа діапазону моделювання (10 °С) відповідає міжнародному класу виконання побутового приладу SN^* , а верхня – помірного клімату. При температурі повітря в приміщенні 25 °С проводиться тестування на енергоспоживання побутового холодильного приладу.

Результати першої серії моделювання наведені на рис. 2, а другої серії – на рис.3.

На рис. 2а показаний режим роботи дефлегматора, коли у верхній його частині знаходиться фронт інертного газу – водню. На це вказує температура потоку 44 °С, менша ніж температура насичення аміаку при тиску в системі (49 °С).

Аналіз результатів моделювання дозволив виявити значну розрахункову різницю температур між потоком ВАС і стінкою дефлегматора АХА.

Дані аналізу наведені в таблиці 1.

Аналіз табл. 1 показав, що мінімальна різниця температур між потоком ВАС і стінкою дефлегматора АХА має місце в адіабатних умовах роботи дефлегматора, коли вплив навколишнього середовища відсутній.

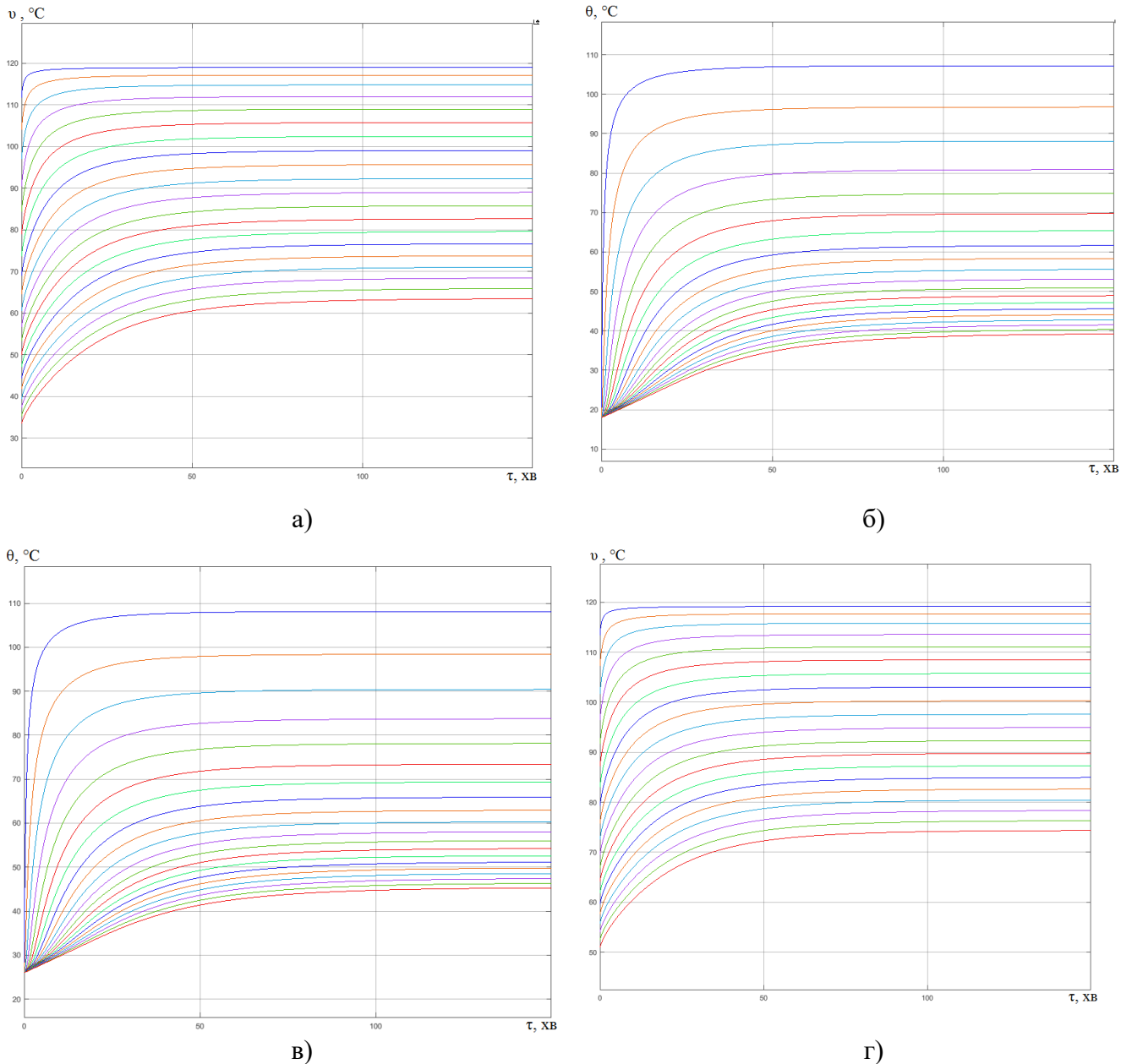


Рис.2. Температурні поля потоку ВАС при виході на режим з неробочого стану (позиційне регулювання): теплове навантаження в генераторі-термосифоні АХА – 100 Вт; температура повітря навколишнього середовища: а) 10°C ; б) 17°C ; в) 25°C ; г) 32°C

Отримані результати підтвердили відомий факт про непрацездатність АХА штатної конструкції (без теплової ізоляції всієї підйомної ділянки дефлегматора) в умовах низької температури навколишнього середовища (10°C) і мінімальних теплових навантажень на генераторі-термосифоні (70 Вт).

При збільшенні теплового навантаження починається запуск АХА (при 100 і 150 Вт). При 100 Вт температура на виході дефлегматора – 64°C .

При тиску в системі 2,0 МПа масова концентрація парової ВАС 0,997, тобто рухається практично чистий аміак. При 150 Вт температура на виході дефлегматора 73°C , а масова концентрація – 0,994.

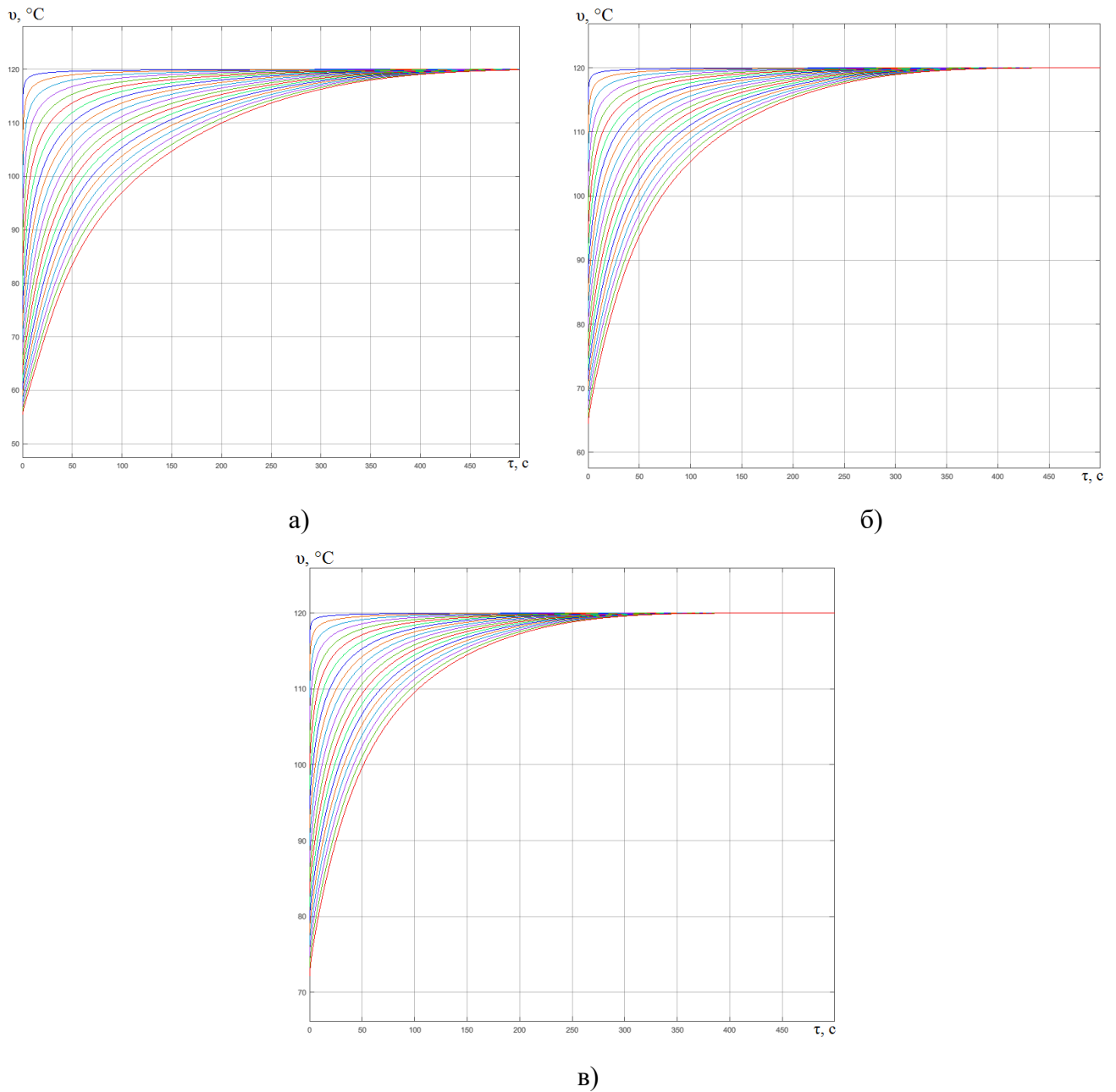


Рис. 3. Температурні поля потоку ВАС при виході на режим з неробочого стану (позиційне регулювання): температура повітря навколишнього середовища $10\text{ }^{\circ}\text{C}$; адіабатна теплоізоляція дефлегматора; теплове навантаження в генераторі-термосифоні АХА: а) 70 Вт ; б) 100 Вт ; 150 Вт

Починаючи з температури повітря навколишнього середовища $17\text{ }^{\circ}\text{C}$, навіть і при мінімальному навантаженні, в конденсатор проходить практично чиста пара аміаку. При цьому на половині довжини дефлегматора (у верхній частині) знаходиться потік ВАС з масовою концентрацією $0,990$.

При $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тепловому навантаженні 150 Вт паровий фронт просувається до кінця дефлегматора і реалізується штатний режим очищення ВАС.

Такий же ефект має місце і при 70 Вт , але вже при температурі повітря навколишнього середовища $32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Розрахункова різниця температур між потоком ВАС і стінкою дефлегматора АХА при різних температурах зовнішнього повітря і теплового навантаження в генераторі-термосифоні

Дефлегматор без теплоізоляції				
Теплове навантаження генератора-термосифона АХА, Вт	Температура повітря навколишнього середовища, °С			
	10	17	25	32
70	19	18	15	16
100	29	28	28	24
150	36	34	32	29
Дефлегматор з теплоізоляційним покриттям				
Теплове навантаження генератора-термосифона АХА, Вт	Температура повітря навколишнього середовища, °С			
	10	-	25	-
70	13	-	16	-
100	23	-	23	-
150	28	-	28	-

В адіабатних умовах прохід потоку ВАС при 10 °С має місце вже при мінімальному тепловому навантаженні 70 Вт (рис.3а). Цей момент можна визначити по температурі стінки дефлегматора, по ряду випробувань, що дорівнює 65 °С. Ця температура відповідає мінімальній температурі в холодильній камері й температурі в кінці кипіння ВАР, не вище 170 °С. Обмеження по температурах кипіння пов'язано з експоненціальним збільшенням інтенсивності корозійних процесів в зоні теплопідводу генератора-термосифона.

При 100 Вт в кінці дефлегматора спостерігається температура 88 °С, що відповідає масовій концентрації аміаку в потоці ВАС 0,985 (рис.3б), а при 150 Вт, відповідно, параметри потоку 93 °С і 0,970 (рис.3в).

Генератор-термосифон. Вважається, що всі теплові потоки по нормалі до неізолюваної стінки товщиною δ гасяться всередині укладеного об'єму рідини (розчину). На неізолюваній стінці по всій висоті H встановлено теплове джерело змінної потужності $q_0(\tau)$, де τ – змінна за часом, $q_0(\tau)$ – заданий закон нагріву за часом (рис.4).

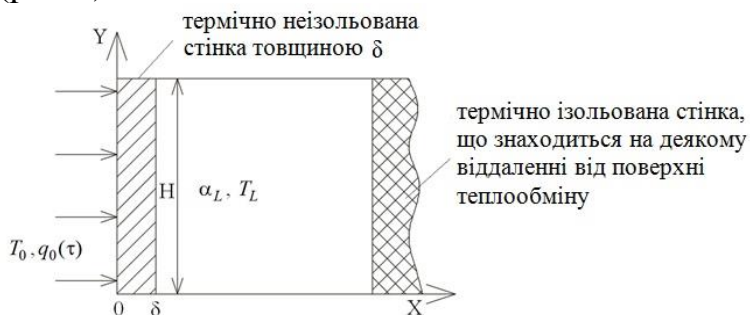


Рис. 4. Схема процесу теплопередачі в генераторі-термосифоні АХА нтоване по нормалі всередину стінки.

Об'єм, укладений між неізолюваною й ізолюваною стінками, заповнений бінарним розчином з відомою масовою часткою компонентів розчину і розчинника. В деякий момент часу τ зовнішнє теплове джерело надає дію по всій висоті H неізолюваної стінки товщиною δ , що зоріє-

Наведена взаємодія задовольняє закону Фур'є і описується рівнянням теплопровідності в системі координат (0XY):

$$\frac{\partial T_w}{\partial \tau} = a^2 \left(\frac{\partial^2 T_w}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T_w}{\partial Y^2} \right), \quad (11)$$

де $0 \leq X \leq \delta$, $0 \leq Y \leq H$, $T_w = T_w(X, Y, \tau)$; w – індекс, відноситься до стінки.

На підставі вищевикладених припущень сформулюємо крайову задачу:

а) рівномірну дію теплового джерела по всій довжині неізолюваної стінки (закон Фур'є):

$$q_0(\tau) = \lambda \left. \frac{\partial T_w}{\partial X} \right|_{X=0}; \quad (12)$$

б) в початковий момент часу температура стінки, температура розчину дорівнюють температурі навколишнього середовища:

$$T_w|_{\tau=0} = T_0 = const; \quad (13)$$

в) гранична умова третього роду у вигляді вимушеного теплообміну між неізолюваною стінкою і укладеним об'ємом розчину за законом природної конвекції:

$$\lambda_w \left. \frac{\partial T_w}{\partial X} \right|_{X=\delta} + \alpha_L (T_w|_{X=\delta} - T_L) = 0 \quad (14)$$

де α_L – коефіцієнт конвективного теплообміну від стінки до розчину, T_L – середньозважена температура розчину; L – водоаміачний розчин.

г) відсутність теплоприпливів з торців стінки:

$$\int_0^H \left. \frac{\partial T_w}{\partial Y} dy \right|_{X=0} = 0 \quad \text{и} \quad \int_0^H \left. \frac{\partial T_w}{\partial Y} dy \right|_{X=\delta} = 0 \quad (15)$$

З теорії розвиненого бульбашкового режиму кипіння рідини в обмеженому об'ємі випливає, що при деякій щільності теплового потоку $q_{кр}$, відповідного граничному значенню коефіцієнта теплообміну α_L , спостерігається найбільш інтенсивний і стійкий режим кипіння. Знаходження даного режиму кипіння і буде відповідати максимальній ефективності теплообміну при заданому законі впливу теплового джерела.

Таким чином, для реалізації заданого режиму має виконуватися така умова існування екстремуму функції:

$$\left. \frac{d\alpha_L}{dq} \right|_{q=q_{кр}} = 0. \quad (16)$$

В третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень АХП. Як об'єкт експериментальних досліджень використовували побутовий АХП виробництва ВЗХ.

Об'єкт являє собою однокамерний холодильник з низькотемпературним відділенням (НТО) «Київ-410» АШ-160. У процесі експериментальних досліджень подавалося і реєструвалося теплове навантаження до генератора-термосифона АХА в діапазоні значень 60...150 Вт. В нестационарних режимах пі-

дведення теплового навантаження в перехідних режимах реєструвалося добове споживання електроенергії. Дослідження проводили в діапазоні температур повітря навколишнього середовища від 8...11 °С до 31...34 °С. Для вивчення особливостей експлуатації побутового АХП в широкому діапазоні температур повітря навколишнього середовища і перевірки раніше сформульованих положень, на підйомній ділянці дефлегматора додатково встановлювався теплоізоляційний кожух зі скловолокна.

У всіх випадках, в процесі проведення експериментальних досліджень реєструвалися температури: елементів АХА в 14 точках, при цьому основна увага приділялася дефлегматору – на ньому встановили 10 датчиків температури; ребра панелі в холодильній камері (ХК); повітряного обсягу НТО і ХК відповідно до нормативних вимог повітря навколишнього середовища.

На першому етапі було проведено порівняння результатів моделювання теплових режимів дефлегматора і експериментальних даних. Їх аналіз показав достатню для інженерних розрахунків достовірність. Має місце хороше якісне узгодження, а в середньому, різниця складає близько 3 °С. Максимальна похибка до 10 °С спостерігається на початковій ділянці.

Результати експериментальних досліджень температурних полів підйомної «адіабатної» ділянки дефлегматора (теплова ізоляція зі скловолокна з зовнішнім діаметром 80 мм) при різних значеннях температур повітря навколишнього середовища і різних значеннях теплового навантаження генератора-термосифона показали значне покращення транспортної можливості підйомної ділянки дефлегматора. Так, при тепловому навантаженні 150 Вт перепад температур по висоті дефлегматора становить 2 °С, як в умовах помірних, так і низьких температур повітря навколишнього середовища. Максимальний перепад температур по висоті дефлегматора спостерігається при тепловому навантаженні 70 Вт і становить 5 °С.

На рис. 5 наведено порівняння «адіабатної» і нетеплоізолюваної конструкцій дефлегматора. В усьому діапазоні теплових навантажень 70...150 Вт можна забезпечити необхідні температурні режими в обсязі ХК АХП – не вище 5 °С. Максимальна холодопродуктивність АХА відповідає температурам на виході дефлегматора 60...65 °С при тепловій ізоляції підйомної ділянки і температурам 45...55 °С при відсутності теплової ізоляції, тобто в серійному виконанні. Ці значення температур можна рекомендувати для ідентифікації режимів з максимальною холодопродуктивністю випарника.

При температурі повітря навколишнього середовища 32 °С розглянуто три випадки: серійний варіант (без теплової ізоляції); мінімальна теплова ізоляція (шар товщиною 3...4 мм зі скловолокна); «адіабатна» теплова ізоляція. Показано, що «адіабатний» кожух в жорстких умовах експлуатації не забезпечує належний рівень температур охолодження в ХК у всьому діапазоні теплових навантажень, а рівень температур на виході підйомної ділянки дефлегматора, що ідентифікують максимальні режими охолодження, становить 74...75 °С.

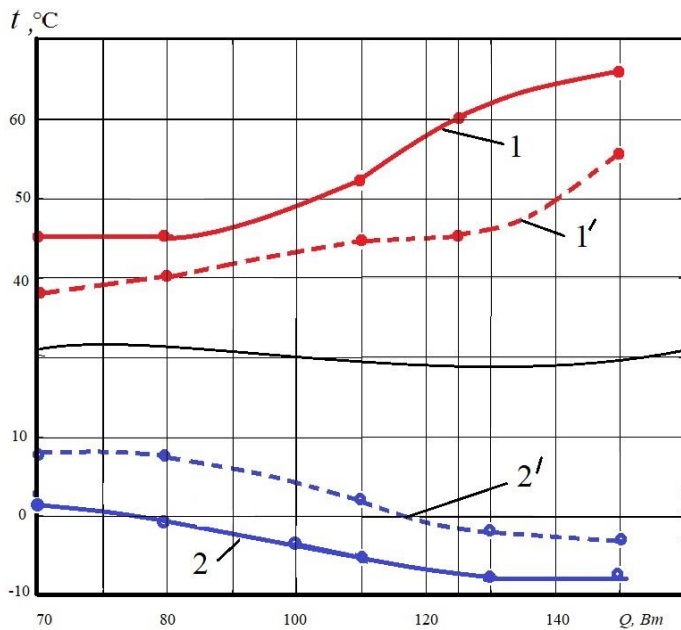


Рис.5. Залежність температури стінки на виході підйомної ділянки дефлегматора і температури на ребрі панелі ХК при температурі повітря навколишнього середовища 25 °С від теплового навантаження генератора-термосифона: 1,2 (1',2') – дефлегматор з «адіабатною» тепловою ізоляцією (без теплової ізоляції); 1,1' – температура на ребрі панелі ХК; 2,2' – температура стінки на виході підйомної ділянки дефлегматора

максимальні значення швидкості спостерігаються в разі теплоізоляції підйомної ділянки дефлегматора. Наведені результати дозволяють рекомендувати для режимів запуску теплове навантаження 150 Вт, яке відповідає і вимогам корозійного захисту – максимальна температура в генераторі-термосифоні не перевищує 170 °С.

Якщо взяти до уваги розрахункові значення температур потоку ВАС, то температура реального потоку ВАС знаходиться в діапазоні 100...105 °С, що відповідає складу ВАС 0,96...0,97. Тут можна зробити висновок про відсутність впливу деякої малої кількості води (до 4 %) в потоці ВАС на холодопродуктивність випарника.

Для вивчення динамічних режимів виходу з неробочого стану АХА було проведено узагальнення результатів експериментальних досліджень (рис.б).

Аналіз наведених результатів показав максимальну швидкість просування потоку ВАС при 150 Вт теплового навантаження генератора-термосифона у всіх випадках, причому у всьому діапазоні теплового навантаження макси-

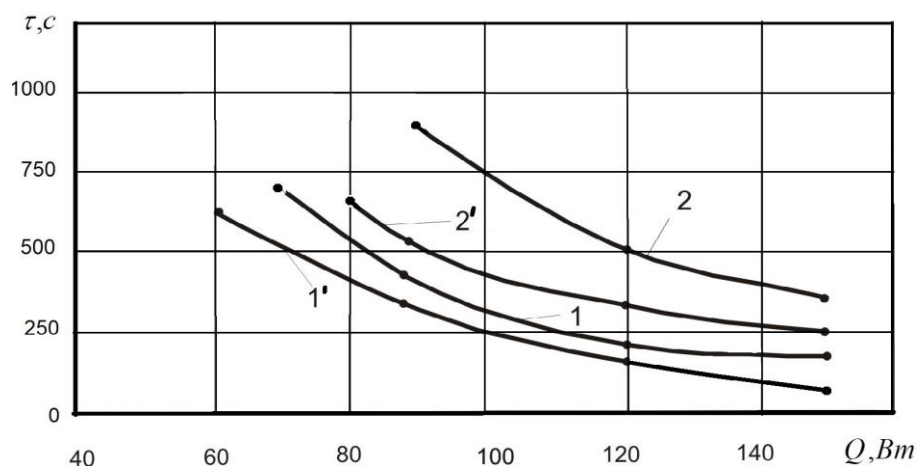


Рис.6. Залежність часу проходження парової ВАС через дефлегматор АХА при запуску з неробочого стану від чисельних значень теплового навантаження в генераторі-термосифоні в різних умовах експлуатації: температура повітря навколишнього середовища: 1,1' – 25 °С; 2,2' – 10 °С; 1,2 – дефлегматор без додаткової теплової ізоляції; 1',2' – дефлегматор з «адіабатною» теплоізоляцією

Іншим висновком з такого узагальнення може бути корисність теплоізоляційного кожуха дефлегматора не тільки в режимі зниження втрат при транспорті аміаку в конденсатор, а й здатність його зберігати тепло в неробочий період.

Проведений комплекс експериментальних досліджень і їх аналіз дозволив сформулювати теплотехнічні положення про енергоощадні режими керування побутовими АХП досліджуваного типу.

Запропоновано енергоощадний спосіб керування побутовим АХП однокімнатного типу з НТО на прикладі моделі вітчизняного виробництва «Київ-410» АШ-160 в широкому діапазоні температур повітря навколишнього середовища – від 8 до 35 °С. Спосіб передбачає варіювання теплового навантаження в генераторі-термосифоні в трьох умовних діапазонах температур зовнішнього повітря: 8...15 °С; 16...27 °С; 28...35 °С.

При знижених температурах запропоновано позиційне регулювання з форсажним запуском у 150 Вт і подальшим переходом на 70 Вт (економію теплової енергії до 36 %).

В середньому діапазоні помірних температур зовнішнього повітря пропонується працювати з постійно-змінним тепловим навантаженням: режим «очікування» – 40 Вт; «робочий» – 70 Вт (економія теплової енергії до 18 %).

У зоні підвищених температур зовнішнього повітря рекомендується застосовувати позиційний режим з базовим тепловим навантаженням 150 Вт (економія теплової енергії до 4 %).

У перших двох діапазонах рекомендується застосовувати «адіабатну» теплову ізоляцію. У зоні підвищених температур – теплову ізоляцію з мінімальним термічним опором, в нашому випадку – скловолокно, товщиною 4 мм. Подача-відключення теплового навантаження на генераторі-термосифоні проводиться по заданому значенню температури в характерній точці ХК, а перехід з більшого навантаження на менше – за значенням температури на виході підйомної ділянки дефлегматора – 60...65 °С.

Ідентифікація моделі процесу виробництва штучного холоду в АХП як об'єкту керування виконана з використанням отриманих результатів експериментальних досліджень в зоні знижених температур експлуатації та діапазонах теплових навантажень 0...70 Вт і 0...150 Вт.

АХП відносяться до статичних об'єктів і передаточна функція має наступний вигляд: $W(p) = \frac{k_o}{T_o p + 1} \cdot e^{-\tau_o p}$. Методика параметричної ідентифікації моделей

– Мініної 2-х спільних точок – типова методика ідентифікації моделей каналів об'єктів керування, що використовується в теорії автоматичного керування.

Отримані моделі адекватно відображують експериментальні перехідні характеристики і можуть бути використані в подальшому при розробці систем енергоощадного керування АХП при експлуатації в широкому діапазоні температур повітря навколишнього середовища.

У четвертому розділі приводяться перспективні схеми і конструкції АХП і генераторних вузлів в їх складі та способи їх енергетично ефективного керування.

Енергоощадний спосіб керування АХП зі змінними умовами теплообміну на підійомній ділянці дефлегматора АХА.

Для вирішення завдання зміни умов теплообміну на зовнішній поверхні дефлегматора АХА було запропоновано оригінальний рухливий кожух верхньої ділянки дефлегматора 3, здатний змінювати умови теплообміну на зовнішній поверхні дефлегматора 3 при зміні температури повітря навколишнього середовища в автоматичному режимі без участі користувача побутової техніки (Рис.7).

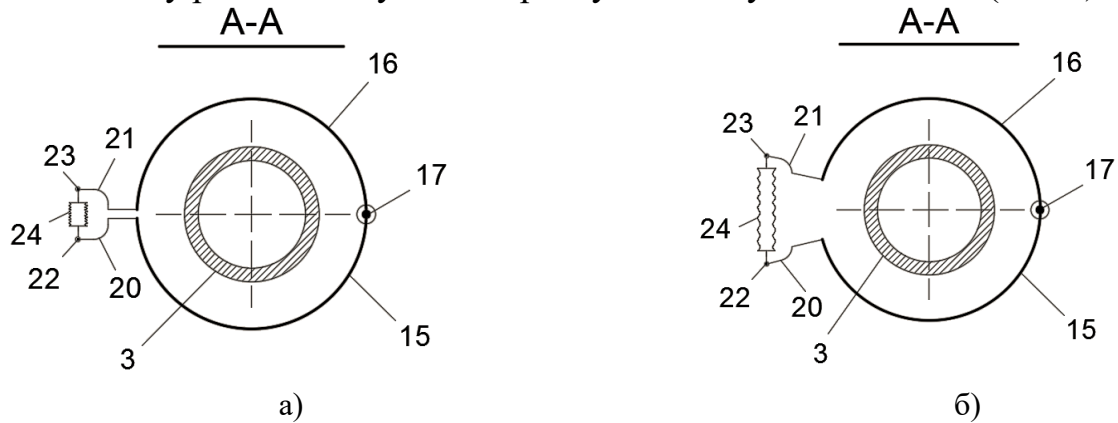


Рис. 7. Перерізи підійомної ділянки дефлегматора з додатковим роз'ємним кожухом: а) «адіабатні» умови; б) максимальна інтенсивність теплообміну на поверхні дефлегматора; 3 – підійомна ділянка дефлегматора; 15 і 16 – стулки додатково кожуха; 17 – вісь кріплення додаткового кожуха; 20 і 21 – напівовальні пластини; 22 і 23 – вісі кріплення; 24 – сільфон

В основі нового способу керування АХП лежить ефект зміни обсягу сільфона 24 при зміні внутрішнього тиску. Внутрішній тиск в сільфоні 24 залежить від температури насичення рідини, що частково заповнює сільфон 24, яка, в свою чергу, визначається температурою зовнішнього повітря. Додатковий кожух на дефлегматорі 3 виконаний у вигляді коаксіального циліндра з повітряною порожниною в міжтрубному просторі. Передбачено два режими роботи додаткового кожуха дефлегматора 3:

- а) «адіабатний», з повністю закритим між трубним простором;
- б) «відкритий», з доступом зовнішнього повітря у внутрішню порожнину.

Енергоощадний спосіб керування АХП з двопозиційним режимом охолодження підійомної ділянки дефлегматора (рис.8).

Пропонується мінімізувати витрати теплової енергії в генераторі-термосифоні АХА на початковий прогрів дефлегматора за рахунок максимально можливого збереження внутрішньої енергії матеріалом корпусу труби дефлегматора в неробочий період.

Для вирішення такого завдання пропонується повністю блокувати прохід зовнішнього повітря до стінок дефлегматора в неробочий період АХП, тобто забезпечити як би «квазіадіабатні» умови на зовнішній поверхні дефлегматора.

В робочий період буде забезпечений максимальний теплообмін зовнішнього повітря зі стінкою дефлегматора. Таким чином пропонується своєрідний «двопозиційний» режим роботи дефлегматора.

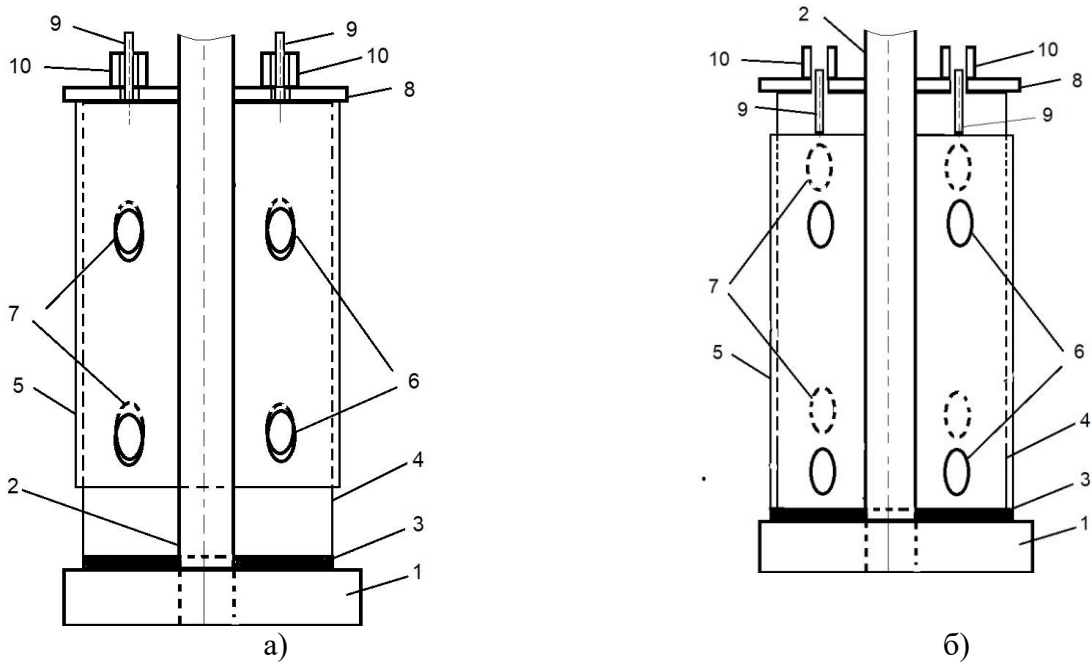


Рис.8. Спосіб енергозберігаючого управління з двопозиційним становищем теплоізоляційного кожуха підйомної ділянки дефлегматора: а) робочий стан АХП; б) неробочий стан АХП; 1 – основний теплоізоляційний кожух генераторного вузла; 2 – вертикальний дефлегматор; 3 – нижня частина основного кожуха дефлегматора; 4 – основний кожух дефлегматора; 5 – рухливий кожух дефлегматора; 6 – отвори рухомого кожуха для проходу повітряного потоку; 7 – отвори основного кожуха для проходу повітряного потоку; 8 – верхня основа основного кожуха дефлегматора; 9 – металеві штирі рухомого кожуха; 10 – електромагніти

Робота елементів теплоізоляційного кожуха дефлегматора здійснюється наступним чином. В робочий період АХП на електромагніти 10 подається електрична напруга і вони втягують в отвори основи 8 металеві штирі 9, що жорстко закріплені на верхній кромці рухомого кожуха 5.

Рухомий кожух 5 фіксується в крайньому верхньому положенні. Отвори 6 і 7 стають співвісно (рис. 8а) і забезпечують доступ повітря до теплорозсіюючих поверхонь підйомної ділянки дефлегматора. У неробочий період подача електричної напруги на електромагніти 10 припиняється і рухливий кожух 5 за рахунок своєї ваги спускається на нижню основу 3 (рис. 8б).

Для реалізації таких режимів роботи дефлегматора будуть потрібні електромагніти і, відповідно, джерело електричної енергії. Щоб не втратити автономності при експлуатації і не залежати від зовнішніх джерел, можна отримувати електричну енергію за допомогою термоелектричного генератора, а необхідний перепад температур можна знайти і в самому АХП, наприклад, між генератором і ХК.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі були розроблені, теоретично і експериментально обґрунтовані способи удосконалення режимних параметрів генераторів АХП, в частині підвищення їх енергетичної ефективності при роботі в широкому діапазоні температур повітря навколишнього середовища.

Відповідно до цього були вирішені поставлені завдання і отримані наступні результати.

1. Виконано літературно-патентний аналіз сучасного стану розробок і досліджень генераторних вузлів АХП і визначені найбільш перспективні напрямки досліджень з енергозбереження: вдосконалення модельних уявлень про реальні процеси тепломасообміну в дефлегматорі АХА; розробка способів ефективного транспортування пари аміаку через дефлегматор при роботі в широкому діапазоні температур повітря навколишнього середовища.

2. Розроблено математичну модель процесів тепломасообміну підйомної ділянки дефлегматора АХА для стаціонарних і перехідних процесів, що враховує особливості теплообміну стінки дефлегматора з повітрям навколишнього середовища в широкому діапазоні температур (від 10 °С до 32 °С) і наявність процесу дифузії при конденсації водяної пари з парової ВАС. Моделювання теплових режимів дефлегматора проведено як для відкритої поверхні стінки дефлегматора, так і для закритої тепловою ізоляцією («адіабатне» наближення). Була відзначена значна розрахункова різниця температур (від 10 до 36 °С) між потоком ВАС і стінкою дефлегматора в усіх режимах експлуатації. Цей результат отримано вперше і його слід враховувати при регулюванні теплового навантаження в генераторі-термосифоні по температурі в характерній точці дефлегматора. Розрахунки також показали, що для зниження втрат при транспортуванні пари аміаку в конденсатор, теплова ізоляція на підйомній ділянці дефлегматора доцільна тільки при низькій температурі повітря навколишнього середовища (10...17 °С) в діапазоні теплових навантажень генератора-термосифона 70...150 Вт.

3. З урахуванням ряду припущень, вперше була сформульована крайова задача для процесу теплообміну в зоні підведення тепла до генератора-термосифону, що дозволяє зробити висновок про наявність енергозберігаючого режиму кипіння ВАР.

4. Виконано комплекс експериментальних досліджень АХП типу «Київ-410» АШ-160 вітчизняного виробництва в діапазоні режимних параметрів: теплове навантаження генератора-термосифона 60...150 Вт; температура повітря навколишнього середовища 8...35 °С.

Дослідження проведені для умов моделювання теплообміну з навколишнім середовищем підйомної ділянки дефлегматора АХА: «адіабатний» режим; штатний режим (без теплової ізоляції); проміжний – з мінімальною тепловою ізоляцією. Дослідження показали прийнятну для інженерного проектування збіжність результатів моделювання і реальних характеристик на прикладі температурних полів стінки дефлегматора. Така збіжність дозволяє зробити припущення щодо достовірності результатів моделювання в частині визначення реальної температури потоку по температурі стінки, яка може досягати 36 °С.

5. На основі аналізу результатів моделювання і експериментальних досліджень показано, що невелика кількість води, до 4 %, не робить помітного впливу на рівень температур охолодження в ХК побутового АХП типу АШ-160.

6. Встановлення теплової ізоляції по всій підйомній ділянці дефлегматора АХА сприяє не тільки скороченню втрат при транспортуванні аміаку в конденсатор, а і зменшенню часу запуску з неробочого періоду.

7. Запропоновано енергоощадний спосіб керування побутовим АХП однокамерного типу з НТО на прикладі моделі вітчизняного виробництва «Київ-410» АШ-160 в широкому діапазоні температур повітря навколишнього середовища – від 8 до 35 °С (економія теплової енергії від 4 до 36 %).

8. З використанням результатів експериментальних досліджень проведена ідентифікація АХП як об'єкта керування в зоні знижених температур експлуатації та діапазонах теплових навантажень 0...70 Вт і 0...150 Вт, яка дозволяє створити автоматизовані енергоощадні способи керування реальними АХП даного класу.

9. Запропоновано оригінальні конструкції підйомної ділянки дефлегматора АХА, що здатні змінювати умови теплообміну на зовнішній поверхні при зміні температури повітря навколишнього середовища в автоматичному режимі без участі користувача.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ АВТОРА З ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Kholodkov A., Titlov A. Modeling of thermal modes of the reflux condenser of the absorption refrigeration unit. EUREKA: Physics and Engineering. 2017. No 3. P. 31—40.

Особистий внесок автора: розроблена методика розрахунку, виконаний розрахунок і аналіз одержаних результатів, підготовлені матеріали до публікації.

2. Мартынюк (Холодков) А.О., Проць Р.Н., Титлов А.С. Разработка схемных и конструктивных решений абсорбционных холодильных приборов, способных обеспечить необходимые температурные режимы хранения при работе с альтернативными и возобновляемыми источниками тепловой энергии. Наукові праці ОНАХТ. 2011. Вип. 39. Т.1. С. 128—136.

Особистий внесок автора: виконаний аналіз, створені методики розрахунку та підготовлені матеріали до публікації.

3. Холодков А.О., Титлов А.С. Разработка систем автоматического управления бытовыми абсорбционными холодильными приборами. Наукові праці ОНАХТ. 2014. Вип. 45. Т.1. С. 69—76.

Особистий внесок автора: проведений аналіз, розроблена методика розрахунку, одержані результати моделювання та підготовлені матеріали до публікації.

4. Титлов А.С., Очеретяный Ю.А., Холодков А.О., Остапенко А.В. Разработка и исследование генераторов транспортных абсорбционных холодильных. Холодильна техніка та технологія. 2016. № 52(6). С. 27—36.

Особистий внесок автора: проведений аналіз, розроблена методика розрахунку, одержані результати моделювання та підготовлені матеріали до публікації.

5. Васылив О.Б., Титлов А.С., Холодков А.О. Моделирование тепловых режимов подъемного участка дефлегматора бытового абсорбционного холодильного агрегата. Холодильна техніка та технологія. 2017. № 53(1). С. 20—26.

Особистий внесок автора: проведений аналіз, розроблена методика розрахунку, одержані результати моделювання та підготовлені матеріали до публікації.

6. Титлов А.С., Ищенко И.Н., Титлова О.А., Холодков А.О., Очеретяный Ю.А. Поиск методов повышения энергетической эффективности абсорбционных холодильных приборов. Холодильна техніка та технологія. 2017. № 54(2). С. 21—28.

Особистий внесок автора: проведений аналіз, розроблена методика розрахунку, одержані результати моделювання та підготовлені матеріали до публікації.

7. Титлов А.С., Холодков А.О. Повышение энергетической эффективности бытовых абсорбционных холодильных приборов. Холодильна техніка та технологія. 2017. № 55(3). С. 27—36.

Особистий внесок автора: обґрунтований новий підхід до конструювання енергозберігаючих абсорбційних холодильних приладів, що працюють в широкому діапазоні температур повітря навколишнього середовища, підготовлено матеріали до публікації.

8. Холодков А.О., Титлов А.С. Моделирование тепловых режимов дефлегматора бытового абсорбционного холодильного агрегата. Холодильна техніка та технологія. 2017. № 56(4). С. 17—24.

Особистий внесок автора: обґрунтуванні допущення до математичної моделі, розробив алгоритм розрахунку, виконав аналіз результатів, підготовлено матеріали до публікації.

9. Холодков А.О., Титлов А.С. Результаты экспериментальных исследований генераторных узлов абсорбционных холодильных приборов, работающих в широком диапазоне температур окружающей среды. Холодильна техніка та технологія. 2017. № 57(5). С. 4—13.

Особистий внесок автора: розроблена методика експериментальних досліджень, підготовлена експериментальна установка, виконаний комплекс досліджень серійної моделі АХП, проведений аналіз результатів, підготовлено матеріали до публікації.

АНОТАЦІЯ

Холодков А.О. Удосконалення режимів роботи генераторних вузлів абсорбційних холодильних приладів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 «Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціонування». – Одеська національна академія харчових технологій, Міністерство освіти та науки України, Одеса, 2018.

Робота присвячена підвищенню енергетичної ефективності генераторних вузлів АХП.

В роботі виконано моделювання процесів тепломасообміну на підйомній ділянці дефлегматора в стаціонарному режимі та в перехідних процесах. При моделюванні процесів тепломасообміну враховувався процес дифузійного перенесення пари води з потоку до охолоджувальної стінки дефлегматора. Отримано розподіл температурних полів по дефлегматору в різних умовах експлуатації. Було відзначено значну розрахункову різницю температур (від 10 до 36 °С) між потоком ВАС і стінкою дефлегматора в усіх режимах експлуатації. Цей результат отримано вперше і його слід враховувати при регулюванні теплового навантаження в генераторі-термосифоні по температурі в характерній точці дефлегматора. Розрахунковим шляхом показано, що для зниження втрат при транспортуванні пари аміаку в конденсатор, теплова ізоляція на підйомній ділянці дефлегматора доцільна тіль-

ки при низькій температурі повітря навколишнього середовища (10...17 °С) в діапазоні теплових навантажень генератора-термосифона 70...150 Вт.

Проведено експериментальні дослідження серійної вітчизняної моделі АХП «Київ-410» для отримання реальних режимних параметрів експлуатації і коригування математичних моделей. Вперше показано відсутність впливу води в аміаку, що випаровується, при масовому вмісті її до 4 %.

Запропоновано енергоощадний спосіб керування побутовим АХП однокамерного типу з НТО на прикладі моделі вітчизняного виробництва «Київ-410» АШ-160 в широкому діапазоні температур повітря навколишнього середовища – від 8 до 35 °С, що дозволяють економити від 18 до 36 % теплової енергії.

З використанням результатів експериментальних досліджень проведена ідентифікація АХП як об'єкта керування в зоні знижених температур експлуатації та діапазонах теплових навантажень 0...70 Вт і 0...150 Вт, яка дозволить створити автоматизовані енергоощадні способи керування реальними АХП даного класу.

Ключові слова: абсорбційний холодильний прилад, абсорбційний холодильний агрегат, генератор-термосифон, дефлегматор, енергоощадна система керування, математичне моделювання, експериментальні дослідження.

ABSTRACT

Kholodkov A.O. Improvement of operating modes of generator sets of absorption refrigeration units. – Qualification scientific work according to manuscript rights.

Thesis for the Candidate degree in Technical Science on the specialty 05.05.14 «Refrigeration, vacuum and compressor equipment, air conditioning systems». – Odessa national academy of food technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2018.

The greatest effect in energy saving during the operation of absorption refrigeration units (ARU) can be achieved by improving the operating modes of the generator set.

The goal of the work is to improve operating modes of ARU generator sets. The object of study is ARU generator sets. The subject of study is temperature and power operating modes, schemes and designs of ARU generator sets. Methods of study are theoretical and experimental.

The well-known fact of the nonoperability of ARA of the standard design (without heat isolation of the entire lifting section of the reflux condenser) in conditions of the low ambient temperature (10 °С) and minimum thermal load on the generator (70 W) was confirmed by results of the simulation. It was noted that there is a significant calculated difference in temperatures (10 to 36 °С) between the flow of water-ammonia mixture and the wall of the reflux condenser in all modes of operation. This result is obtained for the first time and should be taken into account when adjusting the thermal load in the generator in accordance to the temperature at the characteristic point of the reflux condenser.

By calculation it is shown that in order to reduce the losses during transportation of the ammonia vapor to the condenser, thermal isolation on the lifting section of the

reflux condenser is only feasible at low ambient air temperature (10...17 °C) in the range of thermal loads of the generator 70...150 W.

Experimental studies have shown that simulation results and real characteristics, for an instance, of temperature fields of the reflux condenser wall are acceptable for engineering design. This convergence suggests the reliability of simulation results in terms of determining the actual temperature of the flow by the wall temperature which can reach 36 °C.

The energy saving method of control of the domestic single-chamber ARU with the low temperature camera is offered as an example on the domestic production model "Kyiv-410" in a wide range of ambient air temperatures – from 8 to 35 °C. The method involves variation of the thermal load in the generator in three conditional ranges of ambient air temperatures: 8...15 °C; 16...27 °C; 28...35 °C. New energy-saving constructions and methods of ARU control are offered for the work in a wide range of temperatures of external air, allowing to save from 18 to 36 % of thermal energy.

Experimental researches of the ARU serial domestic model "Kyiv-410" for obtaining the real operating parameters of operation and correction of mathematical models were carried out. For the first time the absence of water exposure to evaporated ammonia with a mass content of up to 4 % is shown.

Using the results of experimental researches, identification of the ARU as an object of control in the zone of reduced operating temperatures and ranges of thermal loads 0...70 W and 0...150 W, which will allow to create automated energy-saving methods for the management of real ARU of this class.

The original design of the lifting section of the ARU reflux condenser is proposed. It can change the heat transfer conditions on the external surface when the ambient air temperature changes in the automatic mode without user involvement.

Key words: absorption refrigeration units, absorption refrigeration aggregate, generator-thermosyphon, reflux condenser, control system, mathematical simulation, experimental research, energy saving.