

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ



ОСАДЧУК ЄВГЕН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.575.932:621.565.92

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ В АБСОРБЦІЙНИХ
ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРАХ В РЕЖИМІ ОТРИМАННЯ
ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

Спеціальність 05.14.06 - технічна теплофізика
та промислова теплоенергетика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис

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

Науковий керівник :

доктор технічних наук, професор

Кирилов Володимир Харитонович

професор кафедри фізико-математичних наук 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 27 вересня 2021 року, в 12³⁰, в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д41.088.03 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 26 серпня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради,
доктор технічних наук, професор



Мілованов В.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Загальновідомо, що найціннішим ресурсом на планеті найближчим часом стане вода, а боротьба за водні ресурси в світі є одним з факторів в сучасних збройних конфліктах і, ця тенденція буде тільки зростати в досяжному майбутньому. Тому одним з найважливіших завдань є більше розвинення технологій, що дозволяють витягати воду з повітря, причому безпосередньо на місці, де вона необхідна. Найбільші перспективи мають методи, пов'язані з роботою автономних генераторів штучного холоду, які гарантовано забезпечують температуру охолодження повітря нижче точки роси.

Найбільш перспективним напрямком тут є розробка систем отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів (АВТТ), що працюють від джерела низько потенційного тепла - сонячної енергії.

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 життєзабезпечення» (№ Держ. реєстр. 0112U000732, період 01.01.2013 – 31.12.2014), «Розробка систем охолодження морських і річкових суден з використанням вторинних джерел тепла» (№ Держ. реєстр. 0115U000288, період 01.01.2015 – 31.12.2016), «Розробка систем отримання води з атмосферного повітря на базі сонячних колекторів та тепловикористовуючих холодильних машин і агрегатів подвійного використання» (№ Держ. реєстр. 0117U000366, період 01.01.2017 – 31.12.2018), які були виконані на базі Проблемної науково-дослідної лабораторії холодильної техніки ОНАХТ;
- планів наукового напрямку досліджень кафедри нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики ОНАХТ.

Мета і задачі дослідження.

Метою цієї роботи є розробка систем отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів (АВТТ).

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі **задачі**:

- а) провести аналіз сучасного стану проблеми отримання води з атмосферного повітря і визначити найбільш перспективні напрямки досліджень з можливістю використання сонячної енергії;
- б) провести моделювання циклів і елементів АВТТ з визначенням можливості отримання температур джерела тепла від 80...100 °С;
- в) провести експериментальні дослідження аналогів АВТТ для уточнення граничних умов при моделюванні;
- г) розробити перспективні схеми і конструкції АВТТ в системах отримання води з атмосферного повітря;

г) провести аналіз кліматичних особливостей регіонів з дефіцитом водних ресурсів і визначити енергоефективні режими роботи систем отримання води з атмосферного повітря.

Об'єкт дослідження - АВТТ в системах отримання води з атмосферного повітря.

Предмет дослідження - термодинамічні цикли, теплові режими, схеми і конструкції АВТТ в системах отримання води з атмосферного повітря.

Методи дослідження:

а) теоретичні - термодинамічний аналіз термодинамічних циклів АВТТ, моделювання гідравлічних режимів і процесів тепломасообміну в елементах АВТТ з використанням аналітичних і чисельних методів, порівняння результатів моделювання з результатами експериментальних власних досліджень і досліджень інших авторів;

б) експериментальні - визначення температур в характерних точках елементів і енергетичних характеристик АВТТ в широкому діапазоні параметрів умов експлуатації.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше було розроблено систему отримання води з атмосферного повітря на базі насосного і безнасосного АВТТ і сонячних колекторів з водою в якості теплоносія. Було показано, що АВТТ з бустер-компресором перед конденсатором може вирішувати завдання отримання води з джерелом тепла від 85 °С. Доведено, що для умов роботи випарника при температурі 5 °С зниження електричної потужності в системах АВТТ з бустер-компресором, порівняно з парокомпресійним термотрансформатором (ПКТТ), у 3,3 рази при експлуатації в помірному кліматі і у 2,4 рази — у тропічному кліматі.

2. Вперше було запропоновано оригінальну схему повітроохолоджувача в складі систем отримання води з атмосферного повітря з регенеративним теплообмінником на базі двофазних термосифонів. Схема дозволяє здійснювати попереднє охолодження повітряного потоку за рахунок теплообміну з холодним потоком і, тим самим, підвищити продуктивність системи у кількості конденсованої вологи у середньому до 24...32 % у тропічному кліматі і до 14...18 % — помірному клімату.

3. Вперше виконано аналіз типових кліматичних зон планети з дефіцитом водних ресурсів, який показав, що процес отримання води з атмосферного повітря найбільш енергетично витратний в зимовий період року, а найбільш енергетично ефективний - в літній період. Доведено, що у літній період року питомі енерговитрати, при температурах охолодження від 15 °С до 5 °С, рівні. Це дозволяє організувати енергозберігаючий процес роботи термотрансформаторів різного типу за рахунок підвищення температури кипіння у випарнику.

4. Отримано подальшого розвитку дослідження з пошуку енергетично ефективних режимів роботи АВТТ в широкому діапазоні температур джерела тепла, об'єкта охолодження і навколишнього середовища. Знайдені залежності дозволяють визначити оптимальну температуру джерела тепла для реалізації циклу АВТТ з максимальною енергетичною ефективністю при експлуатації в заданих умовах.

5. Отримано подальшого розвитку методи моделювання процесів теплообміну при гравітаційному плинні рідкої плівки і висхідному потоці пари для випадку очищення парової водоаміачної суміші в умовах змінних температур стінки. Модельні уявлення, отримані з використанням результатів експериментальних досліджень, дозволили оцінити вплив плівки рідини на термічний опір процесу теплопередачі дефлегматора АВТТ з повітряним охолодженням в широкому діапазоні режимних параметрів експлуатації.

Достовірність наукових положень і результатів забезпечується: коректною постановкою завдань теоретичного дослідження в частині аналізу термодинамічних циклів АВТТ; моделювання гідравлічних режимів дефлегматора і процесів теплообміну повітроохолоджувача; використанням сучасних методів аналітичного моделювання; порівняльним аналізом розрахункових і експериментальних результатів, при якому граничними умовами є параметри реальних об'єктів дослідження; використанням сучасного вимірювального обладнання, що дозволяє забезпечити необхідну точність.

Практичне значення отриманих результатів

Результати дисертаційної роботи використовуються при проектуванні перспективних систем охолодження і кондиціонування на базі сонячних колекторів ТДВ «Зонт» (ПРИЛОЖЕНИЕ В).

Результати роботи можуть використовуватися при проектуванні мобільних систем життєзабезпечення, в тому числі і подвійного призначення.

Особистий внесок здобувача

Здобувачем проведено: аналіз сучасного стану досліджень [3-6, 10-12, 16]; розроблено методику та виконано розрахунок термодинамічних параметрів і теплофізичних властивостей водоаміачного розчину [1-2, 12]; проведено термодинамічний розрахунок циклів та моделювання процесів тепломасообміну [3-5]; виконані розрахунки і аналіз режимних параметрів елементів АВТТ [13]; проведені експериментальні дослідження та виконаний аналіз отриманих результатів [4, 6, 7]; виконані термодинамічні розрахунки для обґрунтування робочих режимів систем охолодження [7-9, 11, 15]; підготовлено матеріали до публікації [1-6, 10, 12-14, 16, 17].

Апробація результатів дисертації

Результати дисертації представлялися на 31 науково-технічному форуму різного рівня, в тому числі на: IX-ой конференції «Математическое моделирование и информационные технологии» (Одесса, 2009); Міжнародному семінарі Humboldt-College «Sciences, Engineering, and Humanities for the Energy World» (Одеса, 2009); VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Сталий розвиток і штучний холод» (Одеса, 2012); IX Міжнародної науково-технічної конференції «Стратегия качества в промышленности и образовании», (Варна, Болгария, 2013); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» (Одеса, 2013, 2015, 2017); Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів та студентів «Вода в харчовій промисловості» (Одеса, 2013, 2015); Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (Миколаїв, 2013, 2014, 2016, 2018); Міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні про-

блеми енергетики і екології (Одеса, 2013, 2018, 2020); Міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи» (Івано-Франківськ, 2014); Міжнародної науково-технічної конференції «Казахстан-холод 2015» (Алмати, 2015); «Heat pipes, heat pumps, refrigerators, power sources»: Proceedings of the IX Minsk international seminar (Minsk, Belarus, 2015, 2018); Міжвузівської науково-практичної студентської інтернет-конференції «Актуальні проблеми сучасної енергетики» (Херсон, 2015, 2016, 2020); Miedzynarodowa Konferencja naukowo-techniczna (Koszalin, Polska, 2016); Міжнародної науково-технічної конференції «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології» (Одеса, 2016); Міжнародної науково-технічної конференції «Холод в енергетиці і на транспорті»; (Миколаїв, 2015, 2017); Міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми енерго-ресурсозбереження та екології» (Одеса, 2017); IV International Scientific-Technical Conference «Actual problems of renewable power engineering, construction and environmental engineering» (Kielce, Poland, 2020); Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції «ENVIRONMENT PROTECTION - 2020» (Київ, 2020); XII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Вода в харчовій промисловості» (Одеса, 2021).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 12 затверджених спеціалізованих науково-технічних виданнях України, в 1 зарубіжній статті, з них 2 Scopus, в 26 тезах доповідей на міжнародних, національних і регіональних науково-технічних конференціях і семінарах. Отримано 1 патент України на винахід і 3 патенти на корисну модель.

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 основних розділів, висновків, списку використаних джерел, який включає 166 наукових робіт, 3 додатків. Повний обсяг роботи становить 190 сторінок та включає 4 таблиці, 47 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** проведено аналіз сучасного стану виробництва і тенденцій розвитку АВТТ. Відмічений внесок в розробки побутових АХП О.Б. Василіва, В.В. Завертаного, Іщенко І.М., О.В. Мазура, Л.І. Морозюк, Г.М. Оліфера, Ю.О. Очеретяного, Г.Ф. Смірнова, О.О. Тітлової, О.С. Тітлова, 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 АВТТ.

З урахуванням проведеного аналізу поставлені завдання досліджень.

У другому розділі виконано моделювання та аналіз енергетичних характеристик термодинамічних циклів АВТТ і тепло-гідравлічних режимів дефлегматора насосної схеми АВТТ у складі систем отримання води з атмосферного повітря.

Однією з особливостей АВТТ є взаємозалежність температур в характерних процесах циклу - температури гріючого середовища t_h , температури охолоджуючого середовища t_w , температури об'єкта охолодження t_{ob} . З трьох температур довільно можуть бути задані тільки дві.

Як показує практика, робота холодильної установки повинна забезпечувати заданий рівень охолодження, а сама установка працювати у відповідних кліматичних умовах, тобто при заданій температурі охолоджуючого середовища. Тому, реальним параметром, який може змінюватися, є тільки температура гріючого джерела.

На першому етапі аналітичних досліджень за наведеним нижче алгоритмом було виконано пошук діапазону температур гріючого джерела, який би задовольняв умовам роботи АВТТ та вимогам до об'єкта охолодження.

Алгоритм пошуку робочих режимів АВТТ полягав у наступному.

Задаються температури об'єкта охолодження $t_{ob} = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для кожного чисельного значення температури t_{ob} проводився розрахунок з фіксованим значенням температурі t_w з діапазоном $25\ldots 43\text{ }^{\circ}\text{C}$ і з кроком в $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для заданих значень t_{ob} і t_w проводився розрахунок кратності циркуляції f зі змінною t_h з кроком в $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. У разі, якщо $f > 0$, роблять висновок, що режим роботи АВТТ може бути реалізований, а в іншому випадку, коли $f < 0$ - режим роботи не існує.

Результати розрахунків мінімально необхідної температури гріючого джерела залежно від температур об'єкта охолодження та охолоджувального середовища представлені на рис. 1.

Представлені на рис.1. залежності характеризують граничні чисельні значення температур гріючого джерела тепла, які необхідні для реалізації циклу АВТТ при роботі в заданих кліматичних умовах.

Аналіз цих результатів показує, що АВТТ в системі з сонячним колектором на воді у якості теплоносія може знайти застосування тільки в системах кондиціонування повітря при температурі охолоджуючого середовища не вище $32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Як показав аналіз, при низьких температурах охолоджуючого середовища і гріючого джерела зона дегазації може мати від'ємне значення, тобто цикл АВТТ не може бути реалізований.

На другому етапі термодинамічних розрахунків проведено аналіз циклів насосних АВТТ і визначені енергетичні характеристики циклів — теплове навантаження на елементи та тепловий коефіцієнт залежно від температури гріючого джерела і охолоджуючого середовища.

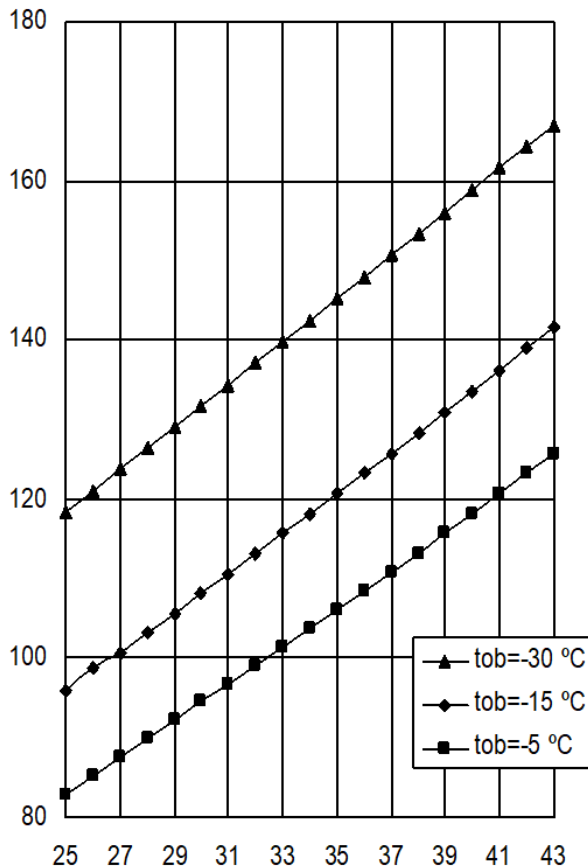


Рис. 1. Результати розрахунку мінімально необхідної температури гріючого джерела (t_h) залежно від температур об'єкта охолодження (t_{ob}) та охолоджуючого середовища (t_w)

випарника максимум енергетичної ефективності зміщується в область високих температур гріючого середовища, а його чисельні значення зменшуються.

Аналіз результатів розрахунку показав, що такий вигляд залежностей пояснюється наступними причинами:

а) при низьких температурах гріючого джерела тепла має місце висока кратність циркуляції розчину;

б) при високих температурах гріючого джерела тепла має місце зростання кількості води в паровому потоці водоаміачної суміші, наприклад, при температурі охолоджувального середовища 25 °C і температурі об'єкта охолодження – 5 °C зростання частки води становить більше, ніж на порядок.

У розрахунковому діапазоні у всіх випадках збільшення температури гріючого джерела призводить до різкого зменшення потужності циркуляційного насоса АВТТ, що перекачує міцний розчин з абсорбера в генератор.

При температурах гріючого джерела тепла від 90 °C до 130 °C потужність циркуляційного насоса має мінімальні чисельні значення. З ростом температури гріючого джерела спостерігається її зменшення.

Температура об'єкта охолодження в розрахунках складала: – 5 °C; – 15 °C; – 25 °C, температура охолоджуючого середовища: від 10 до 32 °C. Мінімальна температура гріючого середовища при аналізі складала 90 °C, максимальна – 170 °C. Чисельні значення мінімальної температури вибрано на межі реалізації циклів АВТТ, а максимальної – з урахуванням початку активної корозії конструкційного матеріалу.

Розрахунок циркуляційного насоса проведено для теплового навантаження випарника АВТТ 1000 Вт.

Результати розрахунку насосної схеми АВТТ представлені у вигляді графічних залежностей на рис.2.

Аналіз наведених на рис. 2 результатів показує наступне.

У всіх випадках спостерігається максимум енергетичної ефективності циклів АВТТ.

При зниженні температури

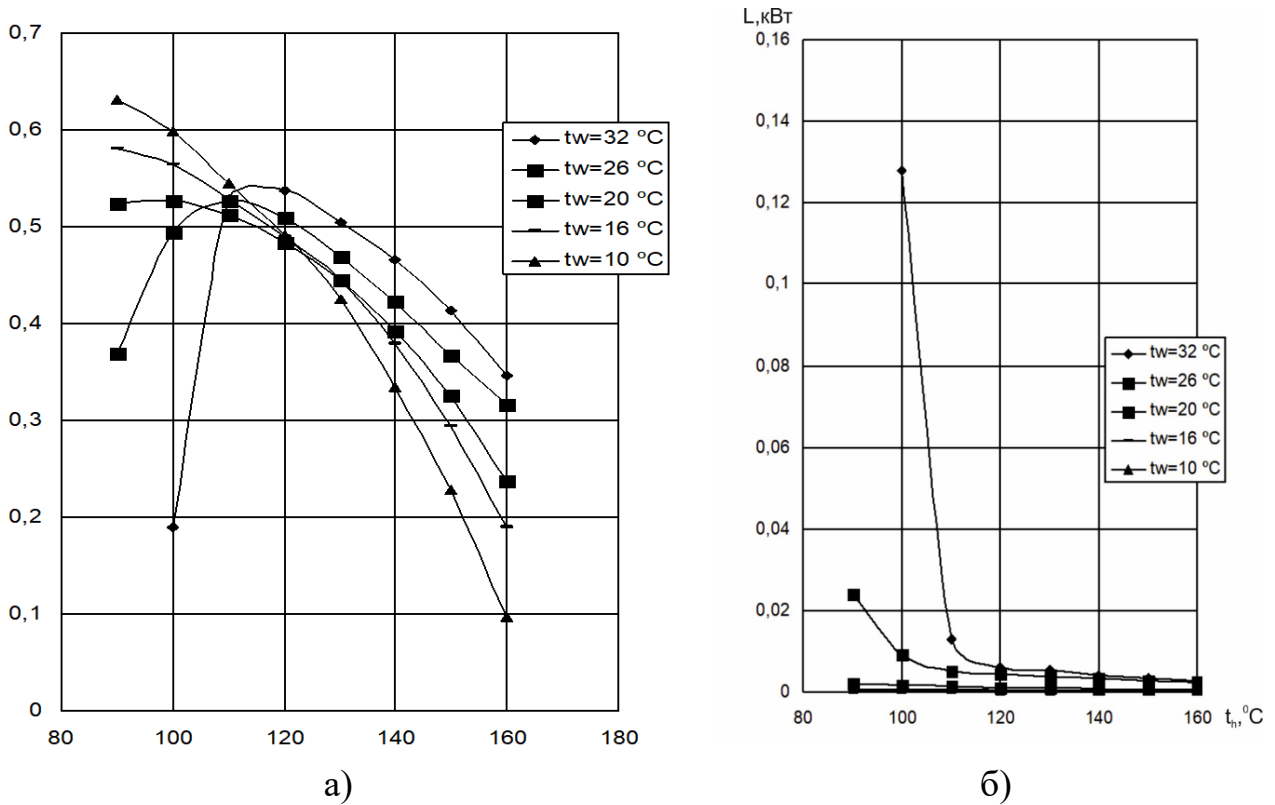


Рис. 2. Результати розрахунку енергетичних характеристик: теплового коефіцієнта циклу (а) і потужності циркуляційного насоса (б) насосної АВТТ при різних температурах навколишнього (t_w) і гріючого середовища (t_h), при температурі об'єкта охолодження $t_{ob} = -5$ °C

Проведено аналітичне дослідження циклу АВТТ з регенеративними теплообмінниками і побудовано залежності температури гріючого джерела при різних температурах об'єкта охолодження і охолоджувального середовища, що забезпечують максимальну енергетичну ефективність в даних умовах (рис. 3). У частині перспективи роботи АВТТ на низькопотенційних джерелах теплової енергії, аналіз отриманих результатів розрахунку (рис.3) дозволяє зробити наступні висновки.

По-перше, у діапазоні розрахункових параметрів з ростом температури зовнішнього повітря (охолоджувального середовища t_w) збільшується і необхідна температура гріючого джерела t_h . Так, наприклад, при зростанні t_w від 20 °C до 45 °C при фіксованій температурі $t_{ob} = 5$ °C температура t_h збільшиться від 65 °C до 110 °C.

По-друге, у діапазоні розрахункових параметрів зростання температури об'єкта охолодження, наприклад, від -30 °C до 15 °C при фіксованій температурі зовнішнього повітря 45 °C призведе до зниження температури гріючого джерела від 138 °C до 85 °C.

По-третє, для роботи в умовах тропічного клімату ($t_w = 35...45$ °C) і при температурі об'єкта охолодження 5 °C (гарантована температура «точки роси») температура гріючого джерела повинна бути вище 110 °C.

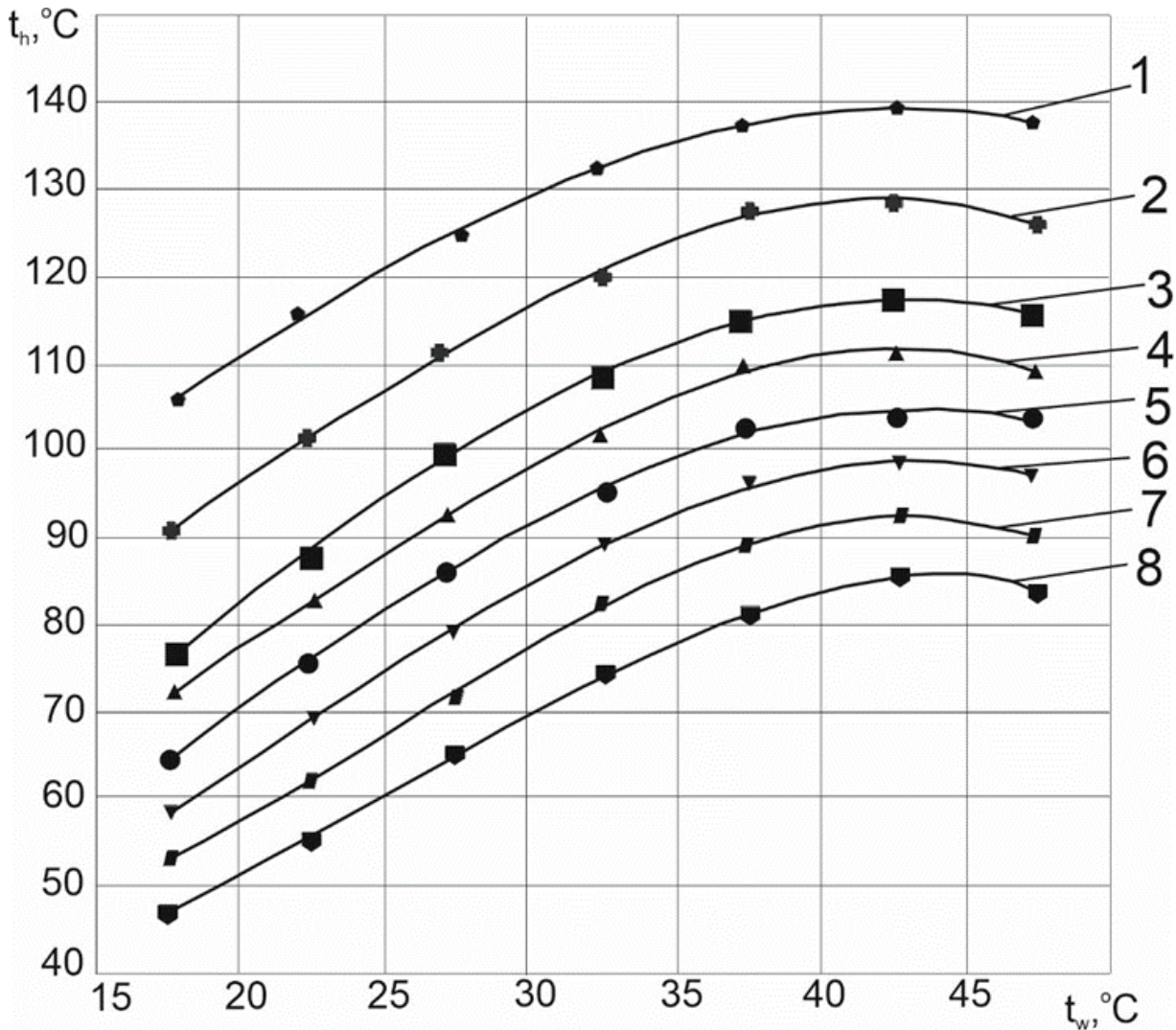


Рис.3. Залежність температури гріючого джерела від температури охолоджуючого середовища при різних значеннях температури об'єкта охолодження і при максимальному значенні теплового коефіцієнта: температура об'єкта охолодження: 1: -30°C ; 2: -20°C ; 3: -10°C ; 4: -5°C ; 5: 0°C ; 6: 5°C ; 7: 10°C ; 8: 15°C

З урахуванням наведеного вище аналізу була запропонована оригінальна конструкція АВТТ з бустер-компресором (рис.4) після генератора, яка захищена патентними документами України [7-9, 11].

Система (рис.4) містить сонячні колектори 1 із замкнутим циркуляційним контуром 2, заповненим рідким теплоносієм, і з теплообмінником 3. Циркуляція теплоносія по контуру 2 і теплообміннику 3 здійснюється за допомогою насоса 4.

До складу установки входить АВТТ, яка містить: генератор 5; бустер-компресор 6; повітряний конденсатор 7; дросельний вентиль холодильного агента 8; випарник 9; абсорбер 10; насос «міцного» розчину 11; дросельний вентиль 12, теплообмінник «міцного» і «слабкого» ВАР 13.

Випарник 9 і абсорбер 10 встановлені послідовно у спеціальному повітряному каналі 14 таким чином, щоб повітряний потік за допомогою вентилято-

ра 15 надходив спочатку на випарник 9, а потім на абсорбер 10. Нижня частина випарника 9 пов'язана з ємністю для збору конденсату 16.

Охолодження конденсатора 7 здійснюється окремим вентилятором 17. У внутрішній порожнині генератора 5 встановлені канали-теплообмінники 3 циркуляційного контуру 2.

У результаті розрахунку було визначено в практичному діапазоні параметрів експлуатації систем з сонячними колекторами енергетично ефективний режим для бустер-компресора.

Для систем при експлуатації в помірному кліматі це: тиск кипіння в генераторі 1,0 МПа і температура 80 °С.

Доведено, що для умов роботи випарника при температурі 5 °С зниження електричної потужності в системах АВТТ з бустер-компресором, порівняно з ПКТ, у 3,3 рази при експлуатації в помірному кліматі і у 2,4 рази — у тропічному кліматі.

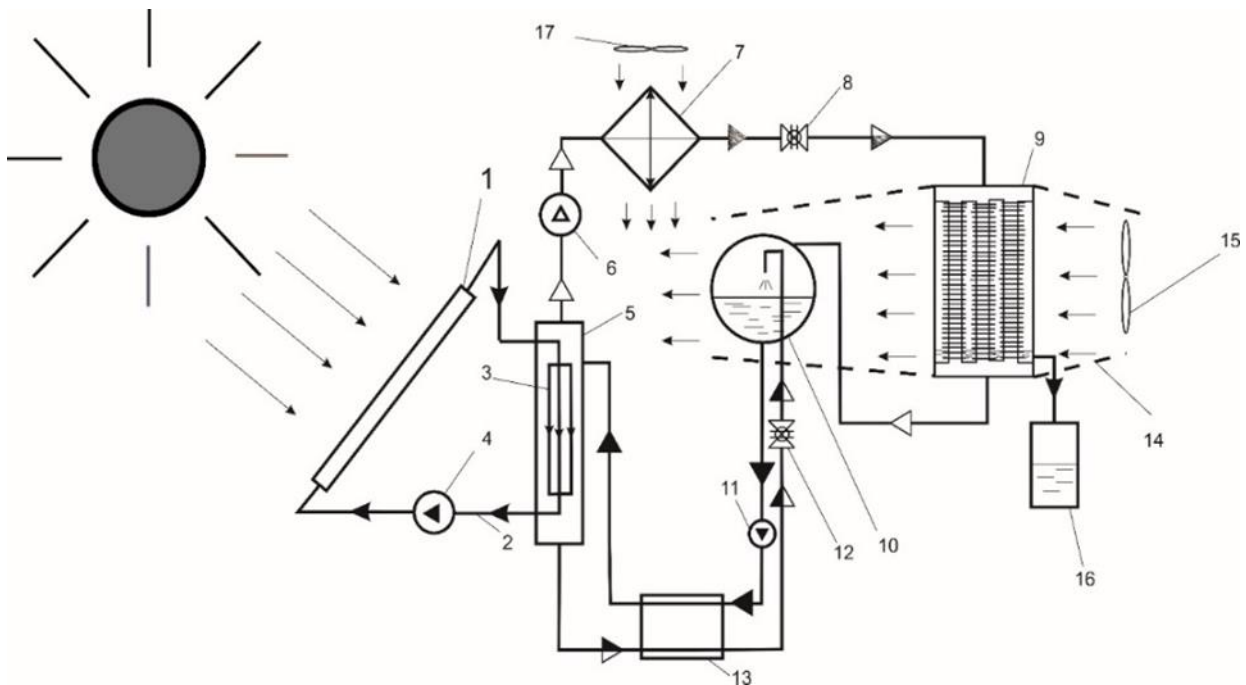


Рис.4. Схема АВТТ з бустер-компресором: 1 — система сонячних колекторів; 2 — циркуляційний контур ; 3 — теплообмінник; 4 — циркуляційний насос; 5 — генератор; 6 — бустер-компресор; 7 — конденсатор пари аміаку; 8 — дросель рідкого аміаку; 9 — випарник; 10 — абсорбер; 11 — насос міцного розчину; 12 — дросель слабкого розчину; 13 — теплообмінник розчинів; 14 — повітряний кагал; 15, 17 — вентилятор; 16 — збірник конденсату

Одним з основних елементів АВТТ, який значною мірою визначає його працездатність і енергетичну ефективність, є дефлегматор. Дефлегматор АВТТ в ідеальному випадку повинен повністю відокремити аміак від води, що є певною технічною проблемою через досить близькі нормальні температури кипіння.

Так, у випадку інтенсивного відведення тепла від зовнішньої поверхні дефлегматора одночасно з конденсацією пари води буде конденсуватися і пара

аміаку. Відповідно знизиться подача аміаку в конденсатор і випарник, а це призведе до зниження холодопродуктивності АВТТ.

В іншому випадку, при уповільненому теплообміні стінок дефлегматора з навколишнім середовищем водяна пара буде конденсуватися в дефлегматорі не повністю. Її частина разом з паром аміаку буде надходити в конденсатор і далі в випарник.

Дефлегматор представляє собою частково теплоізований вертикальний циліндричний канал. Незакрита тепловою ізоляцією частина каналу охолоджується навколишнім повітрям. У верхній частині дефлегматора відбувається конденсація парів води і частково парів аміаку з утворенням флегми (слабкий розчин аміаку у воді), яка у вигляді плівки стікає вниз по внутрішній поверхні каналу в збірник слабого розчину генератора.

На виході з дефлегматора необхідно забезпечити масову частку аміаку $\xi_{NH_3} = 1$ або парціальний тиск насичення p_{NH_3} , що дорівнює повному тиску в системі.

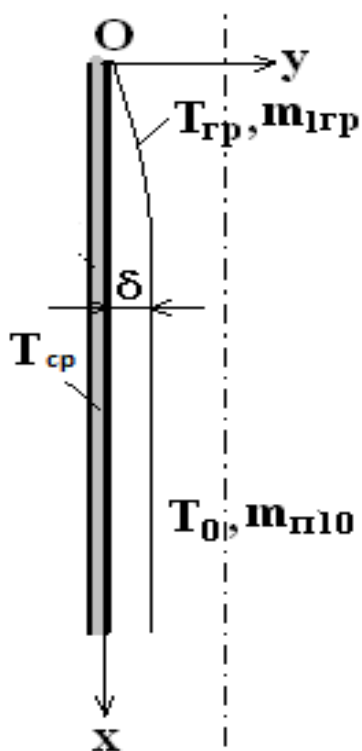


Рис. 5. Схема процесу тепломасообміну у вертикальному дефлегматорі

Розглянемо задачу про ламінарну плівкову конденсацію двокомпонентної (водоаміачної) пари на вертикальній стінці дефлегматора.

Вперше задача про плівкову конденсацію однокомпонентної пари була вирішена Нуссельтом.

На вертикальній стінці, температура якої $T_{ср}$, відбувається конденсація парів рідин, що змішуються (рис.5).

Плівка флегми, товщину якої позначимо через $\delta = \delta(x)$, здійснює ламінарну течію. При дослідженні приймаються такі припущення:

1) сили інерції, що виникають у плівці конденсату, зневажливо малі порівняно з силами в'язкості і силами тяжіння;

2) конвективне перенесення теплоти у плівці, а також теплопровідність уздовж неї несуттєві порівняно з теплопровідністю поперек плівки;

3) тертя на кордоні розділу парової і рідкої фаз враховується за допомогою дотичного напруження з боку газу τ_r ;

4) температура зовнішньої поверхні плівки конденсату постійна і дорівнює $T_{гр}$;

5) фізичні параметри конденсату не залежать від температури;

6) сили поверхневого натягу на вільній поверхні плівки не впливають на характер її течії;

7) щільність пари мала порівняно з щільністю конденсату;

8) режим течії парової суміші — розвинений турбулентний, і в ядрі потоку відбувається ідеальне радіальне перемішування;

9) температуру стінки приймаємо постійною (T_{cp}) за рахунок інтенсивного примусового охолодження.

Прийняті допущення дозволяють істотно спростити математичне формулювання задачі. Рівняння теплопровідності і руху мають наступний вигляд:

$$\frac{d^2 T}{d y^2} = 0 \quad (1)$$

$$\mu_{жс} \frac{d^2 V_x}{d y^2} = -\rho_{жс} g \quad (2)$$

Диференціальне рівняння в безрозмірній формі набуде вигляду

$$\begin{cases} \bar{\delta}^2 (\bar{\delta} - \bar{\tau}_c) \frac{d \bar{\delta}}{d \bar{x}} = 1 - \bar{T}_{cp} \\ \text{при } \bar{x} = 0 \quad \bar{\delta} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Розв'язок рівняння (5) представляється залежністю

$$\bar{\delta}^4(x) - \frac{4}{3} \bar{\tau}_c \bar{\delta}^3(x) - 4(1 - \bar{T}_{cp})x = 0 \quad (4)$$

Проведемо дослідження процесів переносу в паровій фазі. Поля швидкостей, температури і конденсації аміаку в пограничних шарах описуються рівняннями:

$$\begin{cases} V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial V_x}{\partial y} = g \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) + \nu \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2}, & \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \\ V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \\ V_x \frac{\partial m_1}{\partial x} + V_y \frac{\partial m_1}{\partial y} = D \frac{\partial^2 m_1}{\partial y^2} \end{cases} \quad (5)$$

З урахуванням наведених вище модельних уявлень виконано розрахунок параметрів течії флегми і парової суміші у вертикальному дефлегматорі.

Вихідні дані для розрахунку: відвідна теплова потужність АВТТ — 1000 Вт; температура (тиск) кипіння у випарнику — 0 °С (0,4 МПа); тиск у генераторі — 1 МПа; температура навколишнього повітря — 32 °С; температура парової суміші на вході в дефлегматор (виході з нього) — 100(40) °С; висота дефлегматора — 1,0 м. Результати розрахунків наведено на рис. 6.

На відміну від рішення Нуссельта наша модель розроблена для бінарної суміші і враховує зміну поля температур по висоті дефлегматора.

Проведені теоретичні дослідження дозволили вивчити термодинамічні та теплофізичні аспекти роботи АВТТ і її елементів, однак для оцінки достовірності прийнятих при моделюванні припущень необхідно провести експериментальні дослідження натурних об'єктів.

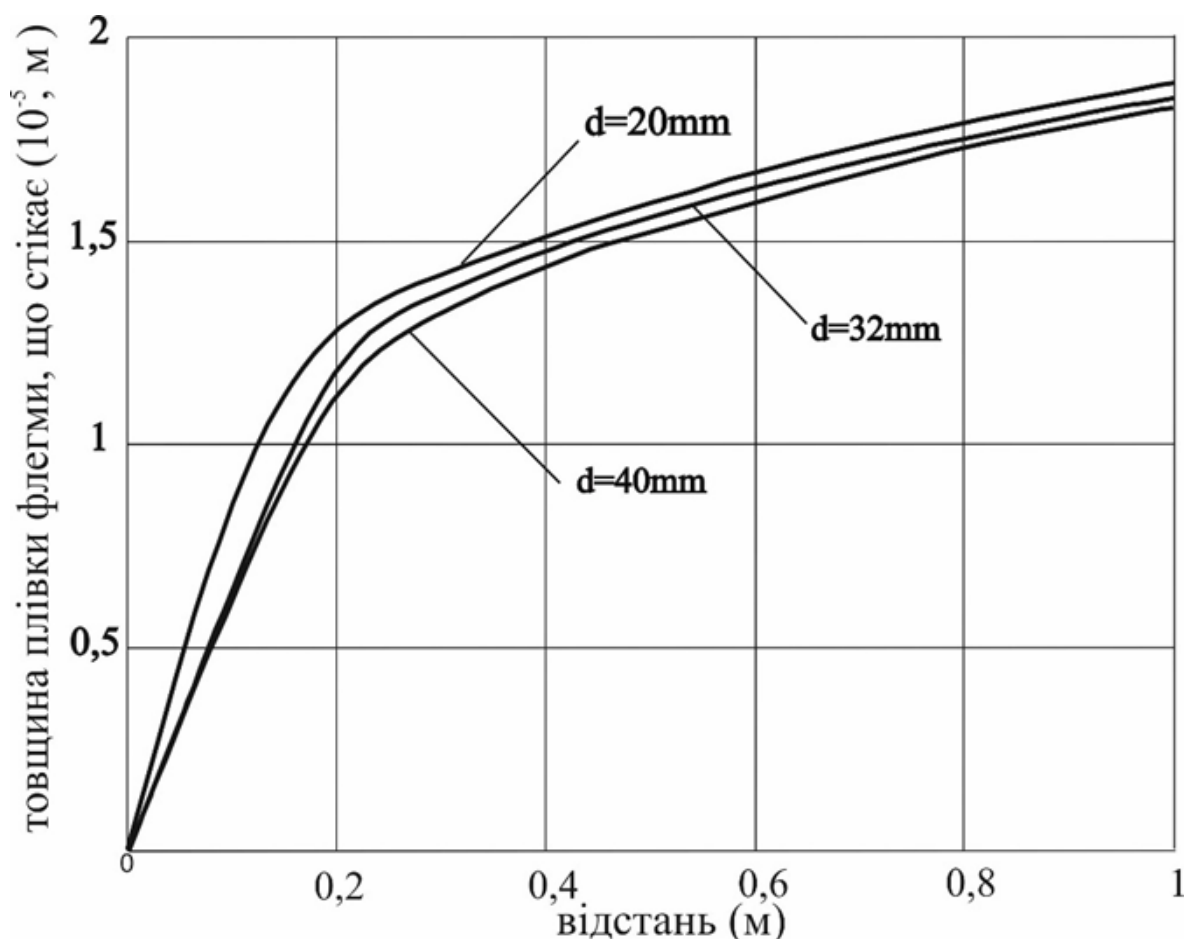


Рис.6. Зміна товщини плівки флегми, що стікає, по висоті вертикального дефлегматора для різних внутрішніх діаметрів (0 — верхня частина)

У третьому розділі виконані експериментальні дослідження АВТТ.

Як об'єкт експериментальних досліджень використовували безнасосний абсорбційний холодильний агрегат (АХА) виробництва Васильківського заводу холодильників, розроблений спільно з фахівцями ОНАХТ і захищений національними охоронними документами. У генераторі і дефлегматорі такого АХА реалізуються аналогічні процеси тепломасообміну, і він може виступати в якості модельного об'єкта АВТТ.

Результати експериментальних досліджень різних режимів роботи АХА представлені у вигляді залежностей температури в характерних точках агрегату (вхід-вихід елементів) від теплового навантаження генератора-термосифона при різних температурах повітря навколишнього середовища.

Всі температури в характерних точках об'єкта дослідження вимірювалися згідно з наведеною вище методикою за допомогою терморезисторів Pt1000, а їх комутація здійснюється на автоматизовану систему вимірювань, реєстрації та управління типу «Fenix».

Проведена оцінка похибки вимірювання температури та електричної потужності показали, що абсолютна похибка вимірювання становить, відповідно, не вище 0,5 °С, не більше 1,5 Вт.

Результати порівняльного аналізу для дефлегматора без теплової ізоляції або традиційного виконання наведені на рис.7. Виконано комплекс експериме-

нтальних 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.

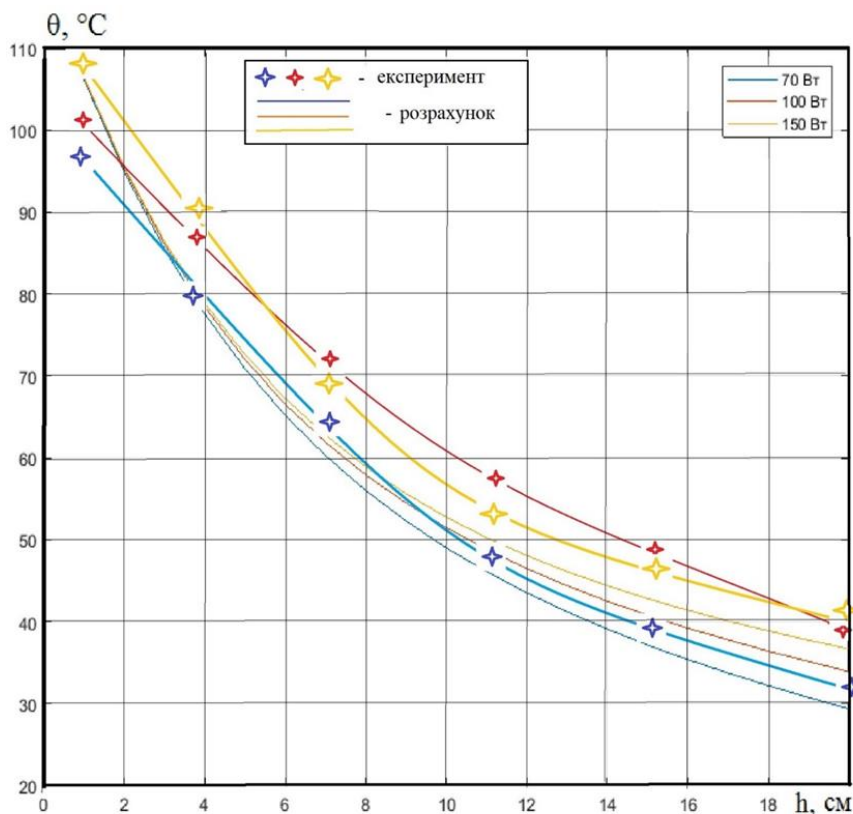


Рис. 7. Розрахункові та експериментальні значення температур підйомної незакритої теплоізоляцією ділянки дефлегматора при температурі повітря навколишнього середовища 10 °С і при різних значеннях теплового навантаження генератора-термосифона

бить помітного впливу на рівень температур охолодження в ХК побутового АХП типу «Київ-410 АШ-160». Ця кількість води в рідкому ВАР збільшує теплоту фазового переходу на 14,4 %.

У процесі експериментальних досліджень підтвердилися теоретичні положення про наявність режимів з максимальною енергетичної ефективності АВТТ в різних умовах експлуатації.

Підтверджено, також, прийнятна для інженерного проектування збіжність результатів моделювання і реальних температурних полів стінки дефлегматора АВТТ.

У четвертому розділі представлені перспективні конструкції систем отримання води з атмосферного повітря.

Для підвищення ефективності та автономності роботи систем отримання води з атмосферного повітря в районах з відсутністю стабілізованих джерел електричної енергії було розроблено оригінальну конструкцію безнасосного АВТТ (рис.8). Установка містить АВТТ, до складу якого входять: генератор 1, дефлегматор 2, конденсатор 3, випарник 4, опускний 5 і підйомний 6 канали

Експериментальні дослідження показали прийнятну для інженерного проектування збіжність результатів моделювання і реальних характеристик на прикладі температурних полів стінки дефлегматора.

Така збіжність дозволяє зробити висновок про достовірність результатів моделювання в частині визначення реальної температури потоку по температурі стінки.

На основі аналізу результатів моделювання експериментальних досліджень було також показано, що невелика кількість води, до 3 %, не робить

парогазового контуру, абсорбер 7, ресивер розчину робочого тіла 8, теплообмінник типу «труба в трубі» 9 розчинів робочого тіла, канали слабого 10 і міцного 11 розчинів робочого тіла.

Генератор 1 АВТТ встановлений у фокусі параболічного дзеркального концентратора сонячного теплового випромінювання 12.

АВТТ заправлений традиційним трикомпонентним робочим тілом — водоаміачним розчином (ВАР) і воднем як вирівнювальним інертним газом. ВАР частково заповнює генератор 1 і ресивер 8, а теплообмінник 8 і канали 10 і 11 — повністю. Контур природної циркуляції повітряного потоку являє собою U-образний канал з опускними 13 і підйомними 14 частинами.

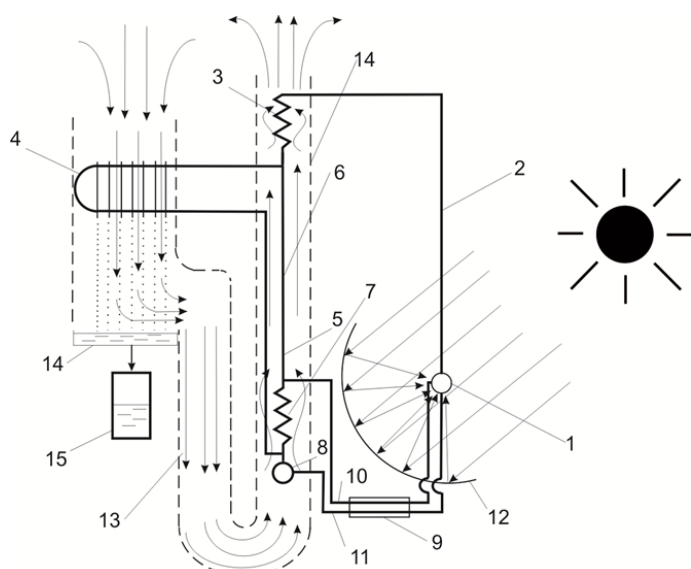


Рис.8 Схема безнасосного АВТТ у складі системи отримання води з атмосферного повітря

В опускному каналі 13 встановлено ємність 14 для збору конденсату, що стікає з випарника 4. З ємності 14 конденсат відводиться для подальшого зберігання в посудині 15.

У верхній частині опускного каналу 13 розміщений випарник 4 АВТТ, а в нижній і верхній частині підйомного каналу 14, відповідно, абсорбер 7 і конденсатор 3.

Виконано моделювання тепловологових режимів повітроохолоджувача системи отримання води з атмосферного повітря на одиничному ребрі.

Результати розрахунків наведені на рис.9.

З урахуванням результатів розрахунку була запропонована енергозберігаюча схема повітроохолоджувача з регенеративним теплообмінником в складі систем отримання води з атмосферного повітря.

На вході такого теплообмінника 7, перед джерелом холоду, у якості якого може бути використаний випарник термотрансформатора або розсіл, встановлюється пучок оребрених вертикальних двофазних термосифонів 6. Теплообмінник 7 розділений на два канали. Подача повітряного потоку здійснюється вентилятором 1. Низькотемпературне джерело 2 розташовується за пучком термосифонів за напрямком руху повітряного потоку. Конденсат зливається в піддон 3, а потім видаляється у збірну ємність 4. Така конструкція дозволяє здійснювати попереднє охолодження вхідного потоку за рахунок теплообміну з вихідним холодним потоком.

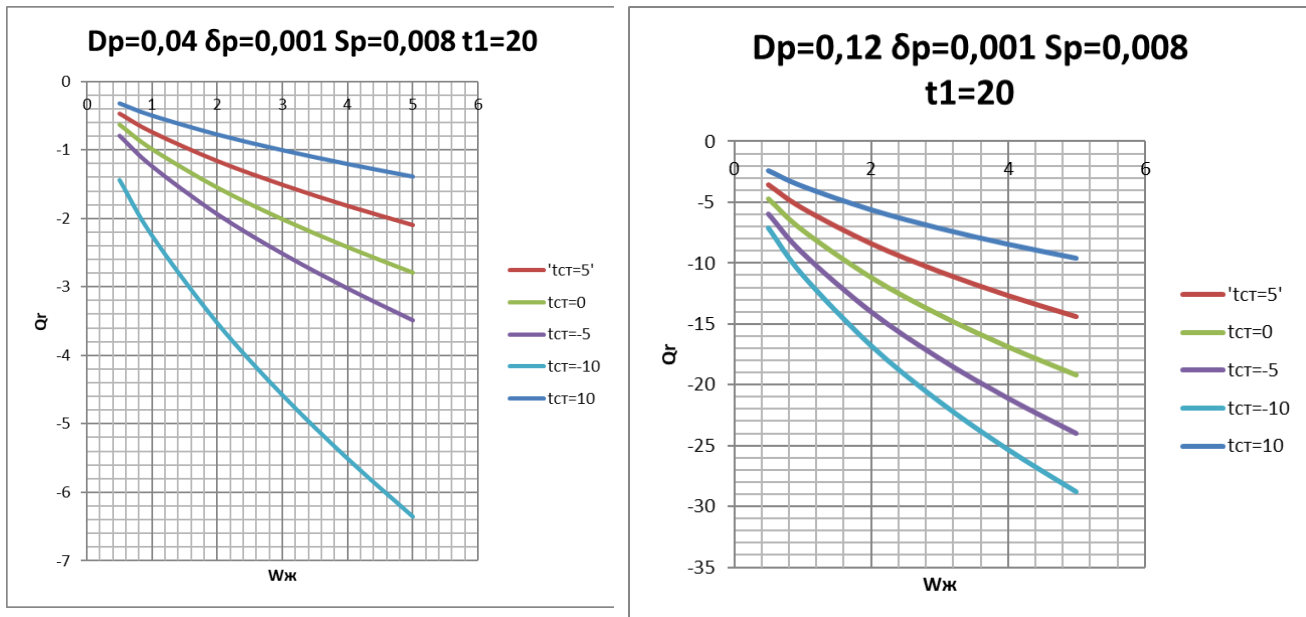


Рис 9. Результати розрахунку кількості відведеного тепла від одиничного ребристого елемента при температурі вхідного повітряного потоку 20°C : а, б - висота ребра, відповідно, 0,04; 0,08 м

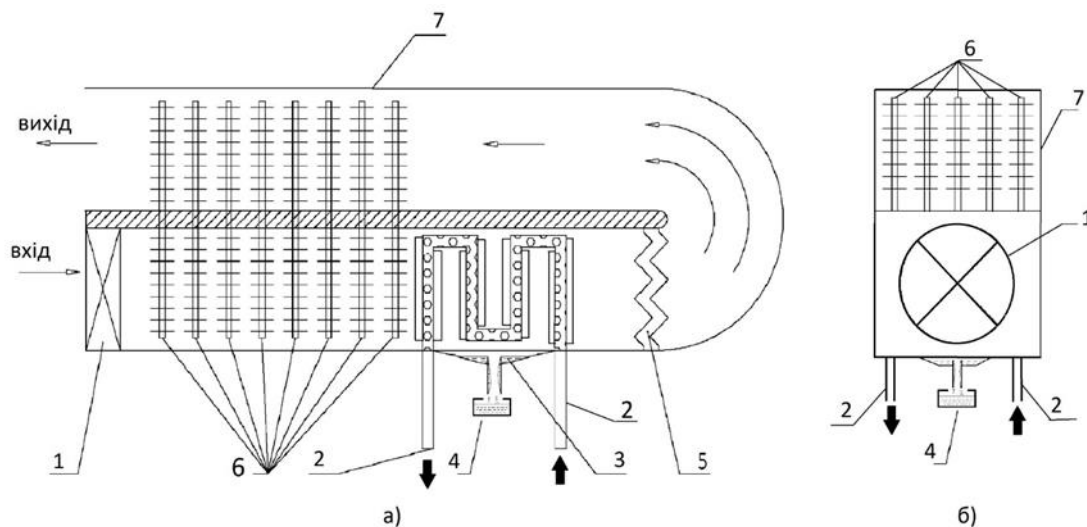


Рис.10. Повітроохолоджувач з регенеративним теплообмінником у складі систем отримання води з атмосферного повітря: 1 — припливний вентилятор; 2 — канали низькотемпературного джерела; 3 — піддон для збору конденсату; 4 — ємність для збору і зберігання конденсату; 5 — краплеуловлювач; 6 — двофазні термосифони; 7 — корпус повітроохолоджувача

Таким чином, з урахуванням результатів моделювання і експериментальних досліджень розроблено перспективні автономні конструкції АВТТ і повітроохолоджувач для роботи в польових умовах при наявності дефіциту водних ресурсів і споживанні електричної енергії, яке можна отримати при роботі сонячних батарей.

У п'ятому розділі проведено аналіз кліматичних особливостей регіонів переважного застосування систем отримання води з атмосферного повітря.

Мета даного дослідження - дати рекомендації для розробників з чисельних мінімальних значень температур охолодження атмосферного повітря у випарник термотрансформаторов.

Розрахунки показали, що найбільш енергетично ефективні режими роботи систем отримання води з атмосферного повітря мають місце в літній період. При цьому для Тель-Авіва і Алжиру, які максимально страждають від дефіциту водних ресурсів і одночасно з цим мають високу сонячну інсоляцію, досить охолоджувати атмосферне повітря до 17-18 °С і обійтися без додаткових витрат на більш глибоке охолодження (рис.11).

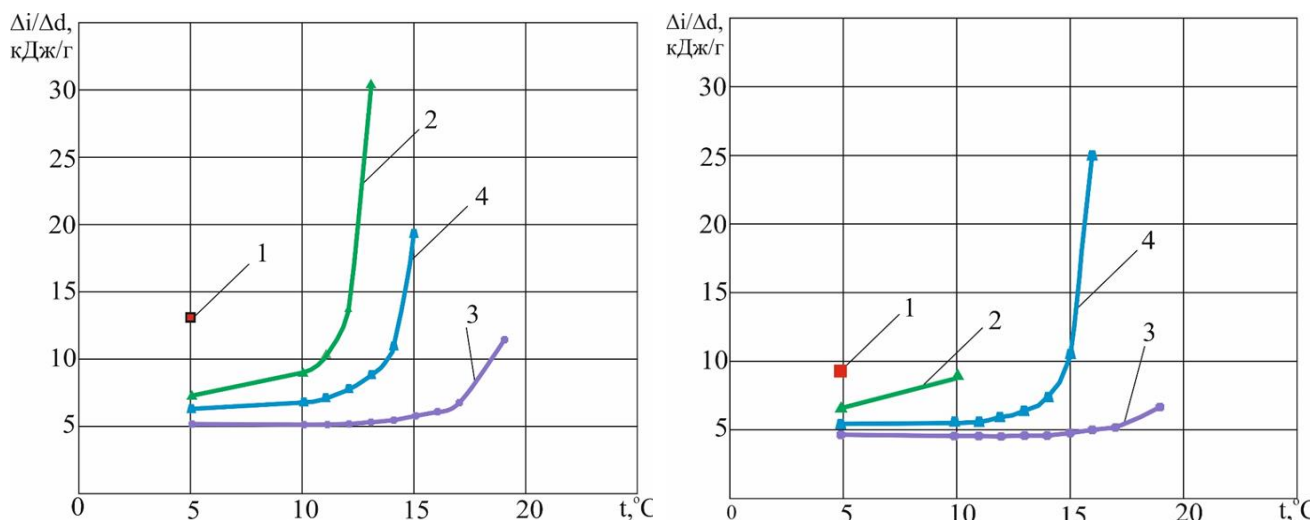


Рис. 11. Залежності тепловологісних параметрів у процесі охолодження атмосферного повітря від мінімальної температури охолодження для різних міст світу: а — Тель-Авів; б — Алжир; 1 — зима; 2 — весна; 3 — літо; 4 — осінь

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі було розроблено, теоретично і експериментально обґрунтовано способи і режими одержання води з атмосферного повітря за допомогою абсорбційних водоаміачних термотрансформаторов з використанням сонячної енергії.

Відповідно до цього було вирішено поставлені завдання і отримано наступні результати.

1. З урахуванням літературно-патентного аналізу сучасного стану розробок і досліджень визначено найбільш перспективні напрямки работ: модернізація термодинамічного циклу АВТТ для робіт при знижених, відносно аналогів, температур гріючого джерела тепла; розробка елементів конструкції АВТТ, що забезпечують високу енергетичну ефективність систем отримання води з атмосферного повітря; вивчення кліматичних особливостей регіонів з дефіцитом водних ресурсів для мінімізації енерговитрат при отриманні води з атмосферного повітря.

2. Доведено, що система отримання води з атмосферного повітря на базі АВТТ з бустер-компресором, може бути працездатна з джерелами тепла вище

ніж 85 °С і використовувати в своїй роботі широко поширені у світі сонячні колектори з водою в якості теплоносія.

3.Порівняльний аналіз енергетичних витрат в АВТТ з бустер-компресором і в парокомпресійних аналогах показав енергетичну перевагу АВТТ при роботі з сонячним джерелом тепла, як при експлуатації в помірному кліматі, так і тропічному у 2,4...3,3 рази.

4. З урахуванням знайдених можливостей роботи АВТТ з бустер-компресором на низькотемпературних джерелах теплової енергії та високої енергетичної ефективності можна рекомендувати їх для роботи в складі комфортних і технологічних систем кондиціонування повітря.

5.Отримані результати розрахунку термодинамічних циклів АВТТ дозволяють визначити «оптимальну» температуру джерела тепла для реалізації циклу термотрансформатора з максимальною енергетичною ефективністю при експлуатації в діапазоні практичних температур експлуатації і можуть бути рекомендовані для розробників систем автоматичного управління АВТТ різного функціонального призначення.

6.Розроблено конструкції систем отримання води з атмосферного повітря на базі насосного і безнасосного АВТТ, в тому числі і для роботи в польових умовах в автономному режимі, які можна одночасно рекомендувати і для отримання води, і для комфортного і технологічного кондиціонування повітря.

7.Розроблено конструкцію повітроохолоджувача в складі систем отримання води з атмосферного повітря з регенеративним теплообмінником на базі двофазних термосифонів. Схема дозволяє підвищити продуктивність системи отримання води за рахунок попереднього охолодження вхідного повітряного потоку в процесі теплообміну з холодним потоком.

8.У кліматичних зонах з дефіцитом водних ресурсів для підвищення енергетичної ефективності процесу отримання води з атмосферного повітря слід оцінювати можливість роботи з максимально гарантованою температурою точки роси за допомогою аналізу кліматичних карт регіону. Для проведення аналізу можна рекомендувати розроблений в рамках дисертаційної роботи алгоритм побудови залежності тепловологістних відносин в процесі конденсації водяної пари від температури атмосферного повітря.

9.Виконано оцінку вартості отримання води з атмосферного повітря за кількістю спожитої електричної енергії на привід термотрансформатора. Оцінка середніх витрат електричної енергії показала, що в ПКТТ на 1 літр води з атмосферного повітря необхідно 0,330 кВт·ч, в запропонованій схемі АВТТ з бустер-компресором – 0,100 кВт·ч при роботі в умовах помірного клімату і 0,138 кВт·ч – в тропічному кліматі.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ АВТОРА З ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ищенко И.Н., Титлов А.С., Осадчук Е.А. Инженерные методы расчета термодинамических параметров и теплофизических свойств рабочего тела абсорбционного холодильного агрегата. *Харчова наука і технологія*. 2010. №4. С. 80-83. *Особистий внесок автора: проведено аналіз, розроблено методикку та виконано розрахунку термодинамічних параметрів і теплофізичних властивостей водоаміачного розчину, підготовлені матеріали до публікації.*

2. Осадчук Е.А., Титлов А.С. Аналитические зависимости для расчета термодинамических параметров и теплофизических свойств водоаммиачного раствора. *Наукові праці ОНАХТ*. 2011. Випуск 39. Т.1. С.178-182. *Особистий внесок автора: проведено огляд, виконано розрахунку термодинамічних параметрів і теплофізичних властивостей водоаміачного розчину, підготовлені матеріали до публікації, підготовлені матеріали до публікації.*

3. Осадчук Е.А., Титлов А.С. Поиск Энергетически эффективных тепловых режимов водоаммиачной абсорбционной холодильной машины в широком диапазоне эксплуатационных параметров. *Харчова наука і технологія*. 2012. №4. С. 79-82. *Особистий внесок автора: аналіз сучасного стану досліджень, проведено термодинамічний розрахунок циклів та моделювання процесів тепломасообміну, підготовлені матеріали до публікації.*

4. Осадчук Е.А., Титлов А.С., Васылив О.Б., Мазуренко С.Ю. Поиск энергетически эффективных тепловых режимов водоаммиачной абсорбционной холодильной машины в системах получения воды из атмосферного воздуха. *Наукові праці ОНАХТ*. 2014. Вип. 45. Т.1. С.65-69. *Особистий внесок автора: аналіз сучасного стану досліджень, проведено термодинамічний розрахунок циклів та моделювання процесів тепломасообміну, проведені експериментальні дослідження та виконаний аналіз отриманих результатів, підготовлені матеріали до публікації.*

5. Осадчук Е.А., Титлов А.С., Мазуренко С.Ю. Определение энергетически эффективных режимов работы абсорбционной водоаммиачной холодильной машины в системах получения воды из атмосферного воздуха. *Холодильна техніка та технологія*. 2014. №4. С. 54-57. *Особистий внесок автора: аналіз сучасного стану досліджень, проведено термодинамічний розрахунок циклів та моделювання процесів тепломасообміну, підготовлені матеріали до публікації.*

6. Осадчук Е.А., Титлов А.С., Кузаконь В.М., Шлапак Г.В. Разработка схем насосных и безнасосных абсорбционных водоаммиачных холодильных машин для работы в системах получения воды из атмосферного воздуха. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. №3/3(23). С. 30-37. *Особистий внесок автора: аналіз сучасного стану досліджень, виконані термодинамічні розрахунки для обґрунтування робочих режимів систем охолодження, проведені експериментальні дослідження та виконаний аналіз отриманих результатів, підготовлені матеріали до публікації.*

7. Василів О.Б., Тітлов О.С., Осадчук Є.О. Спосіб одержання води з атмосферного повітря. Патент на корисну модель: пат. 100195 Україна: МПК (2015.01) E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/00. № 201501512; заявл. 20.02.2015; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 13. *Особистий внесок автора: виконані термодинамічні розрахунки для обґрунтування робочих режимів систем охолодження.*

8. Василів О.Б., Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М. Установа для одержання води з атмосферного повітря. Патент на корисну модель: пат. 104853 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10. № 201507385; заявл. 23.07.2015; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4. *Особистий внесок автора: виконані термодинамічні розрахунки для обґрунтування робочих режимів систем охолодження.*

9. Василів О.Б., Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М. Спосіб одержання води з атмосферного повітря. Патент на корисну модель: пат. 104854 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10. № 201507386; заявл. 23.07.2016; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4. *Особистий внесок автора: виконані термодинамічні розрахунки для обґрунтування робочих режимів систем охолодження.*

10. Осадчук Е.А., Кириллов В.Х. Математическое моделирование рабочих режимов дефлегматора абсорбционного водоаммиачного холодильного агрегата в системах получения воды из атмосферного воздуха с использованием солнечной энергии. Холодильна техніка та технологія. 2017. № 1. С.11-19. *Особистий внесок автора: аналіз сучасного стану досліджень, гідравлічні розрахунки режимів течії, підготовлені матеріали до публікації.*

11. Василів О.Б., Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М. Спосіб одержання води з атмосферного повітря і установка для його здійснення. Патент на винахід: пат. 114658 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10 (2006.01). F25D 21/14 (2006.01). № 201506905; заявл. 13.07.2015; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13. *Особистий внесок автора: виконані термодинамічні розрахунки для обґрунтування робочих режимів систем охолодження.*

12. Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Біленко Н.О. Методика визначення термодинамічної ефективності абсорбційних холодильних установок на основі аналізу ексергетичних втрат в їх елементах. Холодильна техніка та технологія. 2018. № 1. С.31-42. *Особистий внесок автора: аналіз сучасного стану досліджень, виконано розрахунку термодинамічних параметрів і теплофізичних властивостей водоаміачного розчину, підготовлені матеріали до публікації.*

13. Kholodkov A., Osadchuk E., Titlov A., Boshkova I., Zhykhareva N. Improving the energy efficiency of solar systems for obtaining water from atmospheric air. Eastern- European Journal of Enterprise Technologies. № 3/8(93)2018. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133643. **Scopus**. *Особистий внесок автора: аналіз сучасного стану досліджень, виконані розрахунки і аналіз режимних параметрів елементів АВТТ, підготовлені матеріали до публікації.*

14. A. Titlov A., E. Osadchuk E., A. Tsoy, A. Alimkeshova, R. Jamasheva. Development of cooling systems on the basis of absorption water-ammonia refrigerating machines of low refrigeration capacity. Eastern- European Journal of Enterprise Technologies. № 2/8(98)2019. **Scopus**. *Особистий внесок автора: , проведені експериментальні дослідження та виконаний аналіз отриманих результатів, розроблено й обґрунтовано схема абсорбційної холодильної машини для роботи в польових умовах, підготовлені матеріали до публікації.*

15. Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Цой О.П., Алімкешова А.Х., Джамашева Р.А. Розробка автономних систем охолодження з урахуванням відновлювальних і

непридатних джерел теплової енергії. Холодильна техніка та технологія. 2019. № 2. С.84-96. *Особистий внесок автора: Розроблено й обґрунтовано схема абсорбційної холодильної машини для роботи в польових умовах, підготовлені матеріали до публікації.*

16. Osadchuk, E., Titlov, O. (2020). Analysis of the climatic features of the regions of the primary application of the systems for producing water from the atmospheric air. ScienceRise, 4, 3–9. *Особистий внесок автора: аналіз сучасного стану досліджень, виконані аналітичні розрахунки, підготовлені матеріали до публікації.*

17. Тітлов О.С., Осадчук Є.О. Пошук енергоефективних режимів роботи систем отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів тепла і сонячних колекторів. Холодильна техніка та технологія. 2020. № 3-4. С.78-91. *Особистий внесок автора: розроблено й обґрунтовано схема повітроохолоджувача, підготовлені матеріали до публікації.*

АНОТАЦІЯ

Осадчук Є.О. Дослідження процесів в абсорбційних термотрансформаторах в режимі отримання води з використанням сонячної енергії – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 - технічна теплофізика та промислова теплоенергетика (144 Теплоенергетика). – Одеська національна академія харчових технологій, Міністерство освіти та науки України, Одеса, 2021.

Робота присвячена дослідженню процесів в абсорбційних термотрансформаторах з використанням сонячної енергії з метою підвищення продуктивності і зниження енерговитрат у системах отримання води з атмосферного повітря.

Розроблена схема системи отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів (АВТТ) і сонячних колекторів з водою в якості теплоносія, яка може вирішувати завдання отримання води з джерелом тепла від 85 °С. Отримані чисельні значення мінімально необхідних температур джерела тепла, а також залежності теплового коефіцієнта і потужності циркуляційного насоса від характерних температур експлуатації.

Виконано моделювання процесів теплообміну при гравітаційному плинні рідкої плівки і висхідному потоці пари для випадку очищення парової водоаміачних суміші в умовах змінних температур стінки.

Проведено експериментальні дослідження абсорбційного холодильного приладу для коригування математичних моделей АВТТ.

Розроблено системи отримання води з атмосферного повітря на базі насосного і безнасосного АВТТ, призначені для роботи в польових умовах в автономному режимі.

Виконано моделювання теплових режимів повітроохолоджувача системи отримання води з атмосферного повітря. Запропоновано оригінальну схему повітроохолоджувача в складі систем отримання води з атмосферного повітря з регенеративним теплообмінником на базі двофазних термосифонів.

Виконано аналіз типових кліматичних зон з дефіцитом водних ресурсів, який показав, що процес отримання води з атмосферного повітря найбільш енергетично витратний в зимовий період року, а найбільш енергетично ефективний - в літній період.

Ключові слова: отримання води, абсорбційний термотрансформатор, водоаміачний розчин, сонячний колектор, дефлегматор, повітроохолоджувач, термодинамічний цикл, клімат, енергозбереження

ABSTRACT

Osadchuk Ye.O. Research of processes in absorption thermotransformers in the mode of receiving water with the use of solar energy - Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the Candidate degree in Technical Science on the specialty 05.14.06 - technical thermophysics and industrial heat power engineering (144 Heat power engineering). - Odessa National Academy of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2021.

The work is devoted to the study of processes in absorption thermotransformers using solar energy in order to increase productivity and reduce energy consumption in systems for obtaining water from atmospheric air.

The scheme of system of receiving water from atmospheric air on the basis of absorption water-ammonia thermotransformers (AVTT) and solar collectors with water as the heat carrier which can solve a problem of receiving water with a heat source from 85 ° C is developed. The numerical values of the minimum required temperatures of the heat source, as well as the dependence of the heat coefficient and power of the circulating pump on the characteristic operating temperatures are obtained.

The simulation of heat exchange processes at the gravitational flow of the liquid film and the ascending flow of steam for the case of purification of steam-ammonia mixture under conditions of variable wall temperatures is performed.

Experimental researches of the absorption refrigerating device for adjustment of mathematical models of AVTT are carried out.

Systems for obtaining water from atmospheric air on the basis of pump and pumpless AVTT, designed to work in the field in autonomous mode.

Simulation of thermal modes of the air cooler of the system of receiving water from atmospheric air is performed. The original scheme of the air cooler as a part of systems of reception of water from atmospheric air with the regenerative heat exchanger on the basis of two-phase thermosyphons is offered.

An analysis of typical climatic zones with a shortage of water resources, which showed that the process of obtaining water from the air is the most energy-intensive in the winter, and the most energy-efficient - in the summer.

Keywords: water production, absorption thermal transformer, ammonia solution, solar collector, reflux condenser, air cooler, thermodynamic analysis, climate, energy saving