

УДК 621.575.932:621.565.92

РОЗРОБКА НОВИХ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СПОСОБІВ УПРАВЛІННЯ ХОЛОДИЛЬНИКА З ВАХА, ПРАЦЮЮЧОГО В ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ ТЕМПЕРАТУР НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Іщенко І.М., асистент

Інститут холоду, кріотехнології і екоенергетики ім. проф. В.С. Мартиновського
Одеської національної академії харчових технологій, м. Одеса

У статті вперше запропоновані нові енергозберігаючі способи управління холодильника з ВАХА за рахунок: а) зміни рівня тиску інертного газу в системі; б) зміни складу циркулюючого між абсорбером і генератором водоаміачного розчину.

У роботі отримав подальший розвиток термодинамічний аналіз циклів ВАХА і методи інтенсифікації процесів теплообміну за рахунок застосування теплових труб і вентиляторів.

This work the first time some new energy-conserving control methods for refrigerator with WARP have been proposed by (a) changing pressure level of inert gas in the system and by (b) changing the composition of water-ammonia solution circulating between absorber and generator.

The thermodynamic analysis of WARP cycles and intensification methods of heat exchange processes by using heat pipes and fans have been progressed in this work.

Ключові слова: водоаміачний абсорбційний холодильний агрегат, енергетична ефективність, способи управління, робочі параметри, діапазон температур навколишнього середовища, абсорбер, випарник, генератор, теплова труба, вентилятор, тиск, склад робочого тіла, вимушений обдув.

Закон «Про продовольчу безпеку України» [1] передбачає формування мереж заготівельних пунктів, створення умов для розширення чисельності об'єктів торгової інфраструктури, покращення транспортного доступу віддалених територій для гарантованого забезпечення основними видами харчових продуктів. Реалізація цих заходів передбачає створення безперервного холодильного ланцюга, елементом якого є і транспортні холодильники.

Застосування компресійних холодильників в усіх випадках передбачає наявність електричної енергії і певних температурних умов при експлуатації. Також для надійної роботи компресійних холодильників потрібна і певна температура навколишнього середовища, яка виключає загустіння мастила в компресорі. Наприклад, сучасні нормативні документи [2] допускають роботу компресорів у складі холодильних агрегатів тільки при температурі навколишнього повітря вище плюс 10 °С.

Цікаві рішення завдань низькотемпературного зберігання в транспортних умовах можуть бути знайдені за допомогою тепловикористовуючих холодильних машин, які можуть працювати на неелектричних джерелах теплової енергії, у тому числі і на непридатних джерелах тепла, а найбільші перспективи серед них мають водоаміачні абсорбційні холодильні агрегати безнасосного типу — далі ВАХА [3].

ВАХА працюють на широкодоступному природному робочому тілі — водоаміачному розчині (ВАР) з інертним газом — воднем. Транспортні умови (тряска, нахили) не чинять несприятливої дії на робочі характеристики ВАХА [4,5].

В той же час ВАХА, незважаючи на ряд переваг при роботі у транспортних умовах, мають підвищене, у порівнянні з компресійними аналогами, енергоспоживання при експлуатації через недосконалість тепловикористовуючого абсорбційного холодильного циклу і наявності дифузійних процесів тепломасообміну у випарнику і абсорбері.

Сучасні ВАХА також як і їх компресійні аналоги мають обмеження по нижній межі температури повітря навколишнього середовища [2], що може стримувати їх широке використання у складі безперервного холодильного ланцюга.

Таким чином, актуальними стають роботи з удосконалення режимних параметрів ВАХА, працюючих у широкому діапазоні температур навколишнього середовища.

Для оцінки перспектив використання ВАХА при роботі в широкому діапазоні експлуатаційних параметрів, проведено моделювання і аналіз циклів абсорбційних водоаміачних холодильних машин і процесів тепло- і масообміну в основних їх елементах.

Для вивчення перспектив вимушеного обдуву теплорозсіюючих елементів ВАХА (абсорбера і конденсатора) були проведені відповідні експериментальні дослідження. Слід зазначити, що нині енергети-

чна доцільність застосування вимушеного обдування теплорозсіюючих елементів холодильників з ВАХА недостатньо очевидна [6]. Відомі не лише дослідження, що підтверджують перспективність зовнішнього вимушеного обдуву, але і роботи, застосування вентиляторів, що заперечують користь, у ВАХА.

В об'єкті дослідження вентилятор встановлювався в повітряний розтруб, який кріпився в зоні абсорбера і конденсатора. Підйомна ділянка дефлегматора охолоджувалася в режимі природної конвекції.

Результати випробувань об'єкту дослідження з обдуванням теплорозсіюючих елементів приведені на рис. 1 і рис. 2.

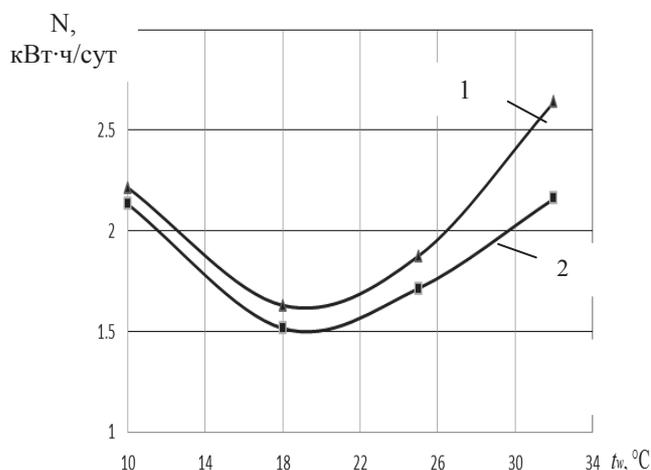


Рис. 1 - Залежність добового енергоспоживання об'єкту дослідження від температури повітря в приміщенні. Робочий тиск в системі 20 бар. Режим роботи позиційний: 1 - робота без обдуву теплорозсіюючих елементів; 2 - робота з обдувом теплорозсіюючих елементів

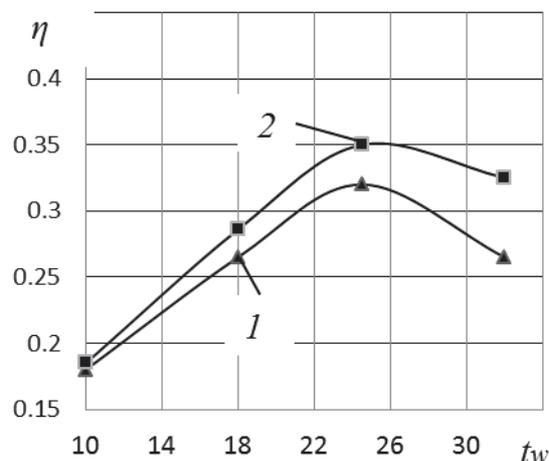


Рис. 2 - Залежність середньодобового теплового коефіцієнта об'єкту дослідження від температури повітря в приміщенні при номінальному тепловому навантаженні 110 Вт і позиційному управлінні. Робочий тиск в системі 20 бар: 1 - робота без обдуву теплорозсіюючих елементів; 2 - робота з обдувом теплорозсіюючих елементів

При аналізі енергетичної ефективності використовувався середньодобовий тепловий коефіцієнт (η), що дозволяє враховувати позиційний режим управління об'єктом дослідження, тобто непостійність відведення теплової потужності в генераторі ВАХА

Аналіз результатів, представлених на рис. 3 і рис. 4, показав, що в діапазоні температур повітря навколишнього середовища від 10 до 32 °C має місце мінімум енергоспоживання ВАХА з традиційним робочим тілом. Як у разі обдування, так і без нього, мінімум енергоспоживання лежить в діапазоні температур повітря навколишнього середовища від 18 до 21 °C.

Зростання енергоспоживання в області низьких температур зовнішнього повітря пов'язане зі значними втратами аміаку при його додатковій конденсації в транспортному каналі, незважаючи на зниження теплоприпливів в охолоджуючих камерах і сприятливі умови для відведення тепла від абсорбера і конденсатора. Окрім цього мають місце і додаткові витрати енергії в період запуску ВАХА для прогрівання елементів генераторного вузла і транспортних магістралей. Так, при температурі зовнішнього повітря 10 °C енергоспоживання, в порівнянні з оптимальним діапазоном температур від 18 до 22 °C, зростає до 47 %.

Зростання енергоспоживання в зоні підвищених температур зовнішнього повітря пов'язане з додатковим випарюванням пари води через зростання температури генерації, зі зниженням ефективності процесів тепловідводу на теплорозсіюючих елементах (дефлегматорі, абсорбері і конденсаторі) і зростанням теплоприпливів в охолоджувані камери із навколишнього середовища. При температурі зовнішнього повітря 32 °C енергоспоживання зростає до 76 %, в порівнянні з оптимальним діапазоном температур від 18 до 22 °C, за відсутності зовнішнього обдуву і до 46 % — при зовнішньому обдуві.

При аналізі слід зазначити, що максимальний ефект від вимушеного обдуву має місце при підвищених температурах зовнішнього повітря, що узгоджується з результатами інших дослідників [7]. Так, в діапазоні температур зовнішнього повітря від 10 °C до 26 °C корисний енергетичний ефект від вимушеного обдуву складає 7...11 %, а при підвищених температурах повітря збільшується до 22 %.

На наступному етапі експериментальних досліджень проводилася перевірка результатів математичного моделювання по впливу рівня тиску в системі на енергетичну ефективність ВАХА.

Були проведені випробування об'єкту дослідження з різними рівнями тиску робочого тіла в системі: $20 \pm 0,1$ бар (традиційна заправка для кліматичних умов України); $17,5 \pm 0,1$ бар і $15 \pm 0,1$ бар. Початкова масова доля аміаку у ВАР не змінювалася і складала 35 %.

У діапазоні температур зовнішнього повітря $17 \dots 19$ °С в об'єкті дослідження з тиском 17,5 бар зафіксовано мінімальне добове енергоспоживання 1,420 кВт·год, що на 7 % менше, ніж при цих же самих умовах у моделі з традиційним базовим тиском 20 бар (рис. 3). Середньодобовий тепловий коефіцієнт склав 0,36 (рис. 4).

Вимушений обдув додатково понизив добове енергоспоживання до 1,350 кВт·год, що в порівнянні з базовою моделлю склало економію енергоспоживання до 10 %.

Дослідження також показали, що ВАХА з початковим (заправним) тиском 17,5 бар припиняв роботу при температурах зовнішнього повітря понад 27 °С без зовнішнього обдуву теплорозсіюючих елементів, а при обдуві — з 29 °С.

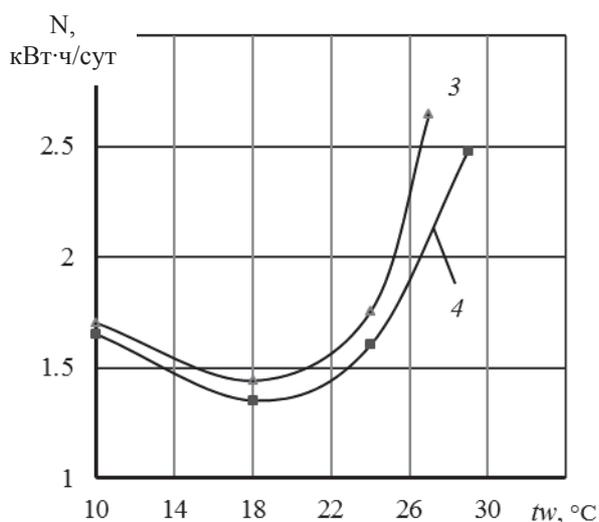


Рис. 3 - Залежність добового енергоспоживання об'єкту дослідження від температури повітря в приміщенні. Робочий тиск в системі 17,5 бар. Режим роботи позиційний: 3 - робота без обдуву теплорозсіюючих елементів; 4 - робота з обдувом теплорозсіюючих елементів

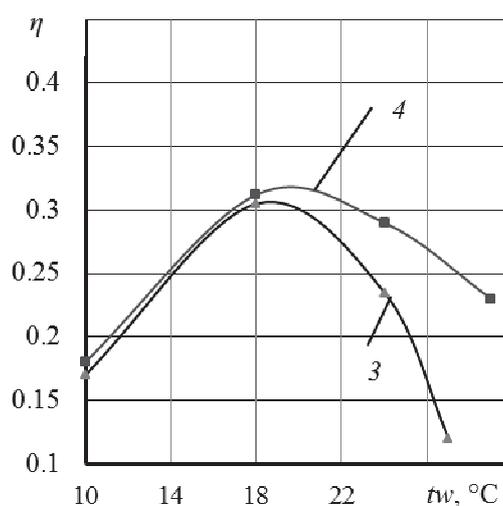


Рис. 4 - Залежність середньодобового теплового коефіцієнта об'єкту дослідження від температури повітря в приміщенні при номінальному тепловому навантаженні 110 Вт і позиційному управлінні. Робочий тиск в системі 17,5 бар: 3 - робота без обдуву теплорозсіюючих елементів; 4 - робота з обдувом теплорозсіюючих елементів

Така ситуація пов'язана з недостатньою мірою стискування пари аміаку в конденсаторі. Робочий тиск в системі (17,5 бар) не забезпечує умови конденсації (температурний напір) пари аміаку з відповідним відведенням теплоти фазового переходу в навколишнє середовище. В цьому випадку пари аміаку виходить за межі конденсатора у випарник і порушує циркуляцію ПГС в КПЦ.

Наявність вимушеного обдуву збільшує температурний напір і робоча зона ВАХА дещо зміщується у бік підвищених температур зовнішнього повітря — при тиску 17,5 бар до 29 °С.

При температурі зовнішнього повітря 10 °С в об'єкті дослідження з тиском 15 бар зафіксоване мінімальне добове енергоспоживання 1,275 кВт·год, що на 77 % менше, ніж в цих же умовах у моделі з традиційним базовим тиском 20 бар (рис. 5). Середньодобовий тепловий коефіцієнт склав 0,26 (рис. 8).

Вимушений обдув додатково знизив добове енергоспоживання до 1,215 кВт·год, що в порівнянні з базовою моделлю склало економію енергоспоживання до 81 %. Максимальне чисельне значення середньодобового теплового коефіцієнта мало місце в діапазоні температур зовнішнього повітря $15 \dots 17$ °С і склало 0,32 (рис. 6).

У цій серії експериментальних досліджень ВАХА з початковим (заправним) тиском 15 бар не працював вже при температурі повітря навколишнього середовища, починаючи з температури 22 °С — без обдуву теплорозсіюючих елементів і з температури 24 °С — з обдувом.

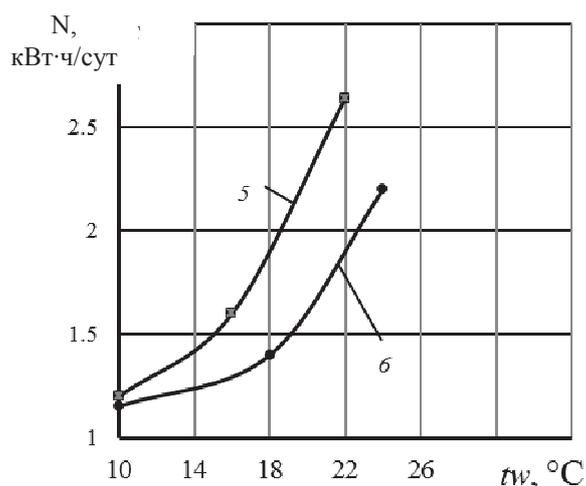


Рис. 5 – Залежність добового енергоспоживання об'єкту дослідження від температури повітря в приміщенні. Робочий тиск в системі 15 бар. Режим роботи позиційний: 5 – робота без обдуву теплорозсіюючих елементів; 6 – робота з обдувом теплорозсіюючих елементів

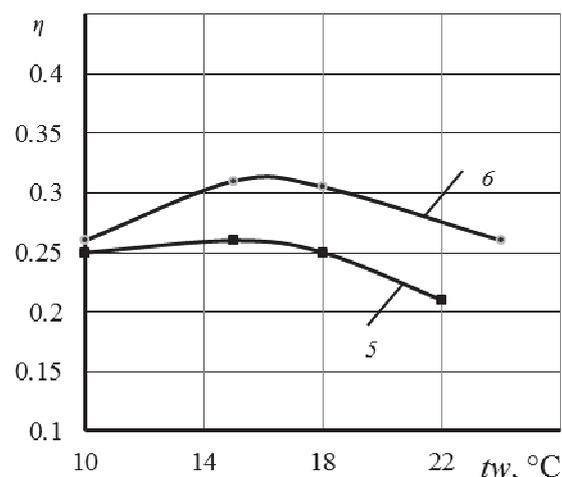


Рис. 6 – Залежність середньодобового теплового коефіцієнта об'єкту дослідження від температури повітря в приміщенні при номінальному тепловому навантаженні 110 Вт і позиційному управлінні. Робочий тиск в системі 15 бар: 5 – робота без обдуву теплорозсіюючих елементів; 6 – робота з обдувом теплорозсіюючих елементів

Запропонований оригінальний спосіб управління ВАХА, в якому додатково контролюють температуру зовнішнього повітря і залежно від її чисельного значення змінюють тиск парогазового компонента робочого тіла у ВАХА, причому зі зменшенням температури зовнішнього повітря тиск знижують за рахунок відбору з ВАХА і наступного окремого блокування частини парогазового компоненту робочого тіла, а при збільшенні температури зовнішнього повітря тиск збільшують за рахунок повернення заблокованого парогазового компонента робочого тіла у ВАХА, при цьому тиск у ВАХА контролюють побічно по тиску окремо заблокованого парогазового компонента робочого тіла, враховуючи при цьому і температуру заблокованого парогазового компонента робочого тіла.

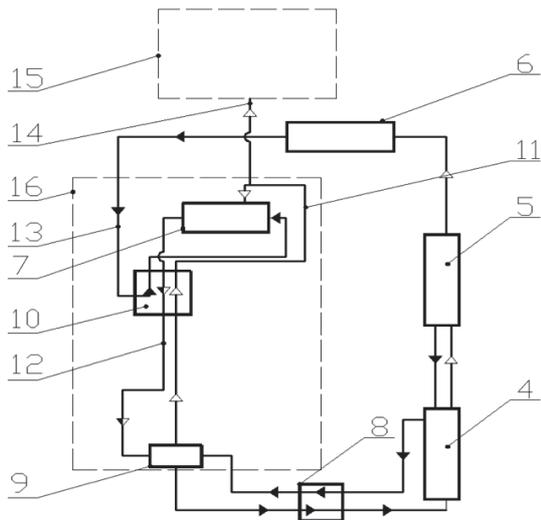
Джерелом високої температури у ВАХА може служити генераторний вузол з робочою температурою до $170\text{ }^\circ\text{C}$, а джерелом низької температури — зовнішнє повітря або конструктивні неенергонавантажені елементи ВАХА, наприклад, корпус ХК. Зміст запропонованого способу управління ілюструється рис. 7, 8.

Для повної автономності роботи ВАХА 3 система регулювання тиску (СРТ) 15 запропоновано оснастити термоелектричним генератором 25, працюючим на різниці температур між зовнішнім повітрям і генератором ВАХА 4.

Позитивним моментом при використанні запропонованого способу управління стане зниження енергоспоживання при роботі ВАХА в широкому діапазоні температур зовнішнього повітря за рахунок зниження теплових втрат при транспортуванні потоків робочого тіла між елементами ВАХА 3 і за рахунок зниження необоротності при інтенсифікації внутрішніх процесів тепломасообміну у разі зниження тиску.

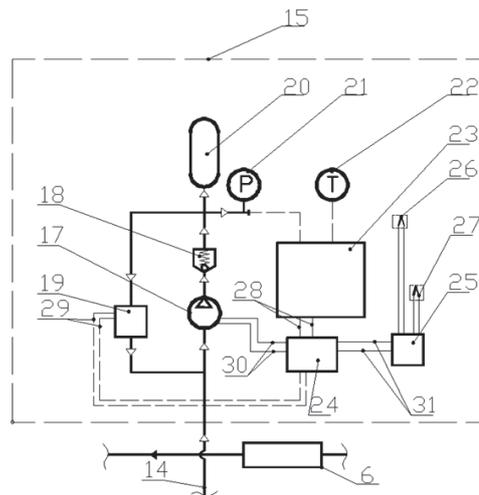
Як показує термодинамічний аналіз циклів ВАХА, для енергоефективної роботи ВАХА в широкому діапазоні температури зовнішнього повітря потрібно не лише змінювати рівень тиску в системі, але і змінювати склад рідкого робочого тіла. У сучасній конструкції ВАХА зробити неможливо.

В зв'язку з цим був запропонований оригінальний спосіб енергозберігаючого управління ВАХА шляхом регулювання складу рідкої фази ВАР. Пропонується в зоні транспортного каналу рідкого аміаку між конденсатором і випарником встановити мембранний ресивер, який може змінювати свій внутрішній об'єм. Змінюючи об'єм ресивера рідкого аміаку, можна регулювати склад ВАР, циркулюючого між генератором і абсорбером ВАХА. Це дозволяє при зниженні температурах навколишнього середовища і тисках в системі збільшувати долю аміаку в ВАР. У цьому випадку знижується теплове навантаження на генератор ВАХА при незмінних умовах роботи випарника, не менше, ніж на 30 %.



4 – генератор ВАХА; 5 – дефлегматор; 6 – конденсатор; 7 – випарник; 8 – регенеративний рідинний теплообмінник; 9 – абсорбер; 10 – регенеративний трьох поточний теплообмінник; 11, 12 – відповідно підйомний і опускний канали парогазової суміші; 13 – канал рідкого аміаку; 14 – канал регулювання тиску; 15 – СРТ

Рис. 7 - Загальний вигляд ВАХА для реалізації запропонованого способу



14 – канал регулювання тиску; 15 – СРТ; 17 – компресор газу; 18 – зворотний клапан; 19 – запірний вентиль; 20 – ресивер газу; 21 – датчик тиску; 22 – датчик температури; 23 – управляючий блок СРТ; 24 – блок живлення; 25 – джерело електричної енергії; 26, 27 – холодний і гарячий спай; 28-31 – силові магістралі

Рис. 8 - Приклад системи управління для реалізації запропонованого способу

Висновки

1. Проведені дослідження абсорбційного холодильника АШ-160 з П-подібною аміачною ТТ в НТВ підтвердили перспективність напрямку застосування теплових труб для підвищення енергетичних і експлуатаційних характеристик холодильників з ВАХА — знижується рівень температур в НТВ до мінус 21... мінус 18 °С, а в ЖК — до мінус 2,7 °С при температурі навколишнього повітря 32 °С, а холодильний прилад переходить з класу «**» в клас «***».

2. Показано, що застосування систем вимушеного обдуву теплорозсіюючих елементів дає енергетичний ефект тільки при охолодженні конденсатора і абсорбера ВАХА, при цьому необхідно виключити попадання повітряних потоків на підйомну ділянку дефлегматора і елементи генераторного вузла. Найбільший енергетичний ефект обдув теплорозсіюючих елементів дає при підвищених температурах навколишнього середовища — від 7 до 39 %.

3. Проведені дослідження абсорбційного холодильника «Київ-410» АШ-160 показали енергетичну ефективність способу зміни тиску у ВАХА при відповідній зміні температури зовнішнього повітря. Такий спосіб дозволяє підтримувати практично на однаковому рівні тепловий коефіцієнт апаратів з ВАХА в усьому діапазоні робочих температур (від 10 до 32 °С).

4. Запропонований спосіб підвищення енергетичної ефективності ВАХА за рахунок зміни складу циркулюючого між абсорбером і генератором ВАР, що знизить кількість баластного аміаку в ПГС і підвищить холодопродуктивність випарника.

Література

1. Закон України. Про продовольчу безпеку України [Текст] / закон Верховн. Ради України від 28.04.2011 р. № 8370-1. – 2011.
2. ДСТУ 3023-95 (ГОСТ 30204-95, ISO 5155-83, ISO 7371-85, ISO 8187-91). Прилади холодильні побутові. Експлуатаційні характеристики та методи випробувань [Текст]: – введ. 1995-07-20. – К. : Держстандарт України, 1996. – 22 с. – (Національний стандарт України).
3. Титлов, А. С. Разработка холодильников для непрерывной холодильной цепи в условиях фермерских и крестьянских хозяйств Украины [Текст] / А.С. Титлов, В. В. Завертаны, Р. Н. Проць // Молочна промисловість. – 2008. – № 1. – С. 60-64.

4. Очеретяный, Ю. А. Исследование влияния качки судна на процессы гравитационного пленочного течения рабочего тела в теплообменных элементах абсорбционных холодильных агрегатов (АХА) [Текст] / Ю. А. Очеретяный, В. Х. Кирилов, А. С. Титлов // Наукові праці ОНАХТ/ Мін-во освіти і науки України. – Одеса, 2010 – Вип.38 – Т.2. – С.365-372.
5. Очеретяный, Ю. А. Исследование влияния качки судна на работу абсорбционных холодильных агрегатов (АХА) [Текст] / Ю. А. Очеретяный, А. С. Титлов // Вибрації в техніці та технологіях. – 2011. – № 1. – С.157-167.
6. Smirnov H. F. Heat pipe technology for refrigeration and cooling (principles and practical appliance) / H. F. Smirnov //International workshop "Non Compression Refrigeration and Cooling", June 7-11, 1999, Odessa, Ukraine, 1999. – P. 51–60.
7. Завертаный, В. В. Разработка низкотемпературных камер с абсорбционно-диффузионными холодильными машинами [Текст] : дисс. канд. техн. наук. : 05.04.03 / Владимир Вячеславович Завертаный. – Одесса, 1995. – 223 с.

УДК 62-533.6:62-541.2:681.5.013:681.542.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОЗИРОВАННОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ НАСАДОК

Пищанская Н.А., ассистент

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В статье проведено экспериментальное исследование процессов увлажнения воздуха при использовании дозированного увлажнения воздуха с помощью регулярных пленочных насадок. Акцентировано внимание на наиболее важных, на данный момент, вопросах обеспечения комфортной воздушной среды и создания микроклимата для большинства современных технологических процессов. На базе экспериментальных исследований установлено время полного испарения влаги для рабочего диапазона скоростей, что определяет рабочий режим увлажнителя с импульсным орошением насадки.

The experimental study of the air humidification processes at using of metered air humidification using regular film nozzles is carried out in this article. The attention is focused on the most significant issues of providing a comfortable air environment and microclimate creation for the latest modern technological processes. On the experimental studies basis the full evaporation moisture time for the working range of velocities was determined, that defines the humidifier with nozzle impulse irrigation operating mode.

Ключевые слова: регулярные пленочные насадки — дозирование — импульсное увлажнение — время испарения.

При выборе увлажнителя важно понимать, какая именно модель лучше подойдет под конкретные требования. Как показывает опыт, наилучшие результаты достигаются при выборе не столько наиболее выгодной с экономической точки зрения модели — что вовсе не означает ее более низкую стоимость, — сколько наиболее оптимальной с точки зрения эффективности кондиционирования воздуха, точности регулирования увлажнения и, в значительной степени, качества исполнения и периодичности обслуживания [1]. Основные критерии, которыми следует руководствоваться при выборе увлажнителя и которые подходят для большинства объектов и технологических процессов:

- производительность увлажнения (максимальная производительность в кг/ч и возможность регулирования производительности);
- схема помещения и тип системы кондиционирования воздуха;
- предпочтительный источник энергии и физический процесс (изотермический/адиабатический);
- конкретные требования объекта эксплуатационные расходы;
- объем первоначальных инвестиций.

Для обеспечения комфортной воздушной среды и создания микроклимата для большинства современных технологических процессов неизбежными являются затраты на увлажнение воздуха. Например, для условий г. Киева эта величина составляет 53,5 % годового времени или 4690 часов. К рассмотрению предлагается пленочное увлажнение, характеризующееся малым энергопотреблением. Для решения вопроса повышения эффективности и снижения эксплуатационных затрат исследовались несколько типов насадок [2].