

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 621.565.945

Моделирование работы воздухоохлаждателей холодильных установок**П.Ф. Стоянов¹**, **Н.А. Биленко¹**, **Я.А. Стоянов²**¹ Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039, Украина✉ e-mail: palfomich@gmail.com² Национальный университет «Одесская морская академия», ул. Дидрихсона, 8, Одесса, 65029, Украина

В статье представлены результаты исследования работы воздухоохлаждателей методом компьютерного моделирования. Специфические условия работы низкотемпературных воздухоохлаждателей связаны с инееобразованием на поверхности теплообмена в процессе эксплуатации. Автором проведен анализ процесса инееобразования в воздухоохладителе при изменении режимных параметров эксплуатации теплообменного аппарата и параметров воздуха в холодильной камере. Исследование работы воздухоохлаждателя проведено для следующих условий: температура кипения хладагента $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$, температура воздуха в холодильной камере $t_{\text{кам}} = -2, -3; -4; -5; -6; -7^{\circ}\text{C}$ и относительная влажность $\varphi = 95; 90, 80, 70\%$. Результаты исследования показывают влияние на динамику нарастания слоя инея на поверхности воздухоохлаждателя вышеуказанных параметров, а также энергетические характеристики теплообменника при замене рабочего тела холодильной установки. Использование описанного в статье алгоритма обработки результатов подбора серийного теплообменного оборудования позволяет оперативно оценить эксплуатационные характеристики воздухоохлаждателей.

Ключевые слова: моделирование; воздухоохладитель; иней; оттайка; относительная влажность воздуха; плотность теплового потока.

Моделювання роботи повітроохолоджувачів холодильних установок**П.Ф. Стоянов¹**, **Н.О. Біленко¹**, **Я.О. Стоянов²**¹ Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна✉ e-mail: palfomich@gmail.com² Національний університет «Одеська морська академія», вул. Дідрихсона, 8, Одеса, 65029, Україна

У статті представлено результати дослідження роботи повітроохолоджувачів методом комп'ютерного моделювання. Специфічні умови роботи низкотемпературних повітроохолоджувачів пов'язані з інєєутворенням на поверхні теплообміну в процесі експлуатації. Автором проведено аналіз процесу інєєутворення в повітроохолоджувачах при зміні режимних параметрів експлуатації теплообмінного апарату та параметрів повітря в холодильній камері. Дослідження роботи повітроохолоджувача проведено для наступних умов: температура кипіння холодильного агента $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$, температура повітря в холодильній камері $t_{\text{кам}} = -2; -3; -4; -5; -6; -7^{\circ}\text{C}$ та відносна вологість $\varphi = 95; 90; 80; 70\%$. Результати дослідження показують вплив на динаміку наростання шару инею на поверхні повітроохолоджувача вищезазначених параметрів та енергетичні характеристики теплообмінника при заміні робочого тіла холодильної установки. Використання описаного в статті алгоритму обробки результатів підбору серийного теплообмінного обладнання дозволяє оперативно оцінити експлуатаційні характеристики повітроохолоджувачів.

Ключові слова: моделювання; повітроохолоджувач; иней; відтайка; відносна вологість повітря; щільність теплового потоку.

© The Author(s) 2018. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>**1 Вступ**

Для успішного розвитку економіки країни необхідно забезпечити комплексний розвиток холодильного господарства з безперервним розширенням сфери застосування штучного холоду при обробці і зберіганні харчової продукції. У зв'язку з цим важливо зосередити

увагу на розробці і впровадженні в промисловість прогресивних технологічних процесів, що забезпечують інтенсифікацію холодильної обробки та оптимізацію режимів зберігання швидкопсувних продуктів, на створенні нових конструкцій холодильних машин та теплообмінних апаратів. Вище зазначені заходи сприяють економії енергоресурсів та підвищенню

ефективності виробництва харчових продуктів, збереженню їх високої якості та зниження природних втрат при холодильній обробці та зберіганні.

Теплообмінні апарати багато в чому визначають ефективність експлуатації всієї холодильної установки, тому створенню та дослідженню характеристик теплообмінників приділяється незмінно велика увага дослідників. У наш час випарники з примусовою циркуляцією повітря (повітроохолоджувачі) знаходять широке застосування в холодильній промисловості не тільки в камерах термічної обробки продуктів, але і в камерах зберігання морожених та охолоджених вантажів, системах комфортного кондиціонування повітря.

В якості випарників холодильних установок на сучасних холодильних об'єктах найбільш часто використовують поверхневі повітроохолоджувачі, котрі складаються з оребрених труб або каналів, усередині яких кипить холодильний агент (хладон або аміак). При цьому на конструкцію та масогабаритні характеристики повітроохолоджувачів великий вплив здійснюють умови та режими роботи апарату. Повітроохолоджувачі з проміжним холодоносієм переважно використовуються в середньотемпературних холодильних системах та системах кондиціонування повітря. Сучасний тренд переходу на системи з проміжним холодоносієм пов'язано з питаннями підвищення безпеки експлуатації та зменшення загальної агентомісткості холодильної системи. Виключенням з цього тренду є низькотемпературні холодильні установки.

Вимога інтенсифікації процесів теплообміну призвела до появи нових конструкцій повітроохолоджувачів та розробки нових методик їх розрахунку та підбору. Складність процесів тепломасообміну та аеродинаміки, що протікають в повітроохолоджувачах, ускладнює пошук аналітичного рішення і призводить до необхідності проведення експериментальних досліджень. Процеси, що протікають при обробці повітря в поверхневих повітроохолоджувачах в умовах інеутворення досліджено в багатьох дослідницьких роботах [1-8,11].

Аналіз робіт [1,2,5,6,11] дозволяє зробити висновок, що температура поверхні, температура повітря, швидкість повітря, час і відносна вологість і маса, товщина, щільність, термічний опір та теплопровідність шару інею знаходяться в складному взаємозв'язку.

Складність постановки експерименту, різноманіття взаємопов'язаних факторів (температур холодоагенту, повітря, продукту; вологості повітря; швидкості потоків повітря в камері і повітроохолоджувачі; усушки продуктів і випадіння інею на теплообмінній поверхні, необхідність проведення відтайки апаратів, нестационарність задачі та інш.) обумовлюють вузький інтервал застосування отриманих емпіричних залежностей і рекомендацій [1]. Тому більшість досліджень направлено традиційно на вивчення тільки деяких особливостей протікання теплофізичних процесів, що відбуваються в системі повітроохолоджувач-повітря. Крім того, слід зазначити істотний вплив геометричних параметрів оребреної поверхні теплообміну, її компонування і конструктивних особливостей самого апарату на тепловологістні процеси.

Розвиток сучасної науки і техніки дозволяє застосувати автоматизовані системи проектування. Для забезпечення функціонування систем автоматизованого

проектування необхідне створення відповідних методик і прикладних програм для розрахунку конкретних конструкцій теплообмінників, моделювання зміни його характеристик при зміні режимних параметрів експлуатації. Автоматизовані програми підбору теплообмінного обладнання відомих світових фірм-виробників (наприклад, Гюнтнер, Альфа Лаваль та інш.) доступні у вільному доступі та суттєво полегшують роботу інженерів-проектувальників.

В даній роботі, використовуючи розроблену фірмою Гюнтнер програму підбору теплообмінників з повітряним охолодженням, оцінено роботу серійного обладнання в умовах інеутворення при зміні типу хладону та режимних параметрів експлуатації.

2 Методика та програма дослідження

Динаміка осадження інею на теплообмінній поверхні, взаємозв'язок цього процесу з фізичними параметрами повітря в камері, усиханням продукту, характеристиками теплообмінної поверхні, а також невивченість цих взаємозв'язків в комплексі часто ускладнюють проблему вірного вибору конструкції повітроохолоджувача.

При створенні апаратів конструктори вносять корективи, збільшуючи теплообмінну поверхню і потужність енергоустаткування, що в умовах утворення інею доволі часто не призводить до істотного поліпшення умов роботи системи. Збільшення зазначених параметрів може призвести до зростання маси, габаритів, вартості апаратів та погіршення експлуатаційних показників повітроохолоджувачів.

Для формування виборки теплообмінного обладнання було прийнято наступні вихідні величини:

- температура кипіння холодильного агента – $t_0 = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- температура повітря в холодильній камері – $t_k = (-2) \div (-7) \text{ } ^\circ\text{C}$
- відносна вологість повітря в холодильній камері $\phi = 70; 80; 90; 95\%$.

При виборі холодильного агента, якими буде запроваджено холодильну установку, було враховано сучасні тенденції в сфері застосування робочих тіл холодильних установок та діючі законотворчі документи. В якості робочих тіл холодильної установки було прийнято наступні хладони: R600a, R1270, R 22, R290, R507a. В даній роботі було проаналізовано вплив типу холодильного агента холодильної установки на питомі показники повітроохолоджувачів.

Фірма-виробник теплообмінного обладнання Гюнтнер розробила програму підбору апаратів GPC.EU Customer. Розробник програмного забезпечення розмістив програму в режимі вільного доступу. Функціонал програми дозволяє доволі швидко підібрати необхідну лінійку повітроохолоджувачів різного конструктивного виконання.

Метою підбору теплообмінників в програмі GPC.EU Customer та наступного аналізу виступало:

1. аналіз динаміки зміни характеристик повітроохолоджувача в залежності від температурного напору в апараті ΔT (різниці між середньою температурою повітря в холодильній камері та температури кипіння холодильного агента);

- вивчення зміни характеристик повітроохолоджувача в залежності від робочого тіла холодильної установки;
- вивчення динаміки інеєутворення в серійному апараті фірми Гюнтнер.

В якості об'єкта для проведення дослідження процесу інеєутворення було обрано повітроохолоджувач фірми Гюнтнер модель S-GHN 071.2E/210-AND50.E

При проведенні розрахунків щільність інею на поверхні теплообміну повітроохолоджувача приймалася рівною $\rho_{in}=350 \text{ кг/м}^3$ відповідно до результатів експериментальних досліджень та рекомендацій робіт [8,9].

Загальний об'єм інею, який осідає при заданій товщині шару інею δ_{in} , на поверхні повітроохолоджувача визначається за рівнянням:

$$V_{in} = \delta_{in} \cdot F_{по} \quad (1)$$

де $F_{по}$ – площа теплообмінної поверхні повітроохолоджувача, м^2 .

Сумарна вага інею, який осідає на поверхні повітроохолоджувача, при заданій товщині шару інею δ_{in} , розраховуємо за рівнянням:

$$M_{in} = V_{in} \cdot \rho_{in} \quad (2)$$

Загальна кількість інею, що нарастає на 1 м^2 площі поверхні теплообміну повітроохолоджувача визначаємо по відомому рівнянню [8] для визначення осушуючої здатності повітроохолоджувача :

$$g_{in} = q \cdot 3600 \cdot \tau_x / \varepsilon \quad (3)$$

де q – щільність загального (сухого та вологого) теплового потоку, Вт/м^2 ; τ_x – тривалість процесу наростання шару інею, год; ε – тепловологісне відношення охолодження повітря, кДж/кг [8].

Альтернативно величину g_{in} можна обчислити за рівнянням:

$$g_{in} = M_{in} / F_{по} \quad (4)$$

Виражаємо з рівняння (3) цікаву для нас тривалість процесу наростання шару інею τ_x заданої товщини δ_{in} :

$$\tau_x = \varepsilon \cdot g_{in} / (q \cdot 3600) \quad (5)$$

Зважаючи на той факт, що величина тепловологісного відношення охолодження повітря ε є функцією виду $\varepsilon = f(t_{кам}, \varphi)$ [8], цікавим виступає аналіз роботи повітроохолоджувачів серійного виробництва при різних значеннях вологості повітря в камері φ . Величину ε в залежності від температури повітря в камері $t_{кам}$ та відносної вологості повітря φ приймаємо за рекомендаціями наведеними в роботі [8].

3 Аналіз отриманих результатів моделювання роботи повітроохолоджувача

На рисунку 1 представлено залежність щільності теплового потоку $q_{F_{вн}}$ в залежності від температури в камері при різній товщині шару інею на теплообмінній поверхні повітроохолоджувача фірми Гюнтнер (модель S-GHN 071.2E/210-AND50.E). Щільність теплового потоку при збільшенні товщини інею зменшується у зв'язку з деяким підвищенням коефіцієнту оребрення поверхні за рахунок шару інею. Однак, також слід зазначити, що шар інею представляє собою додатковий термічний опір передачі тепла від повітря до киплячого холодильного агента.

Збільшенні товщини інею до 2 мм призводить до зменшення щільності теплового потоку на 12% у всьому діапазоні зміни температурного напору в апараті. Відповідно і потужність апарату зменшується на 12%.

Цікавим є той факт, що програмне забезпечення фірми Гюнтнер не аналізує навіть роботу апарату за умови утворення шару інею завтовшки більше 2 мм. Ця особливість роботи програмного продукту для підбору теплообмінників зберігається навіть для поверхонь теплообміну апаратів з доволі великим кроком оребрення (наприклад, 12 мм). Очевидно, це пов'язано з різким погіршенням умов роботи теплообмінника у зв'язку з різким зростанням аеродинамічного опору апарату та зростанням тривалості процесу відтайки поверхні теплообміну повітроохолоджувача.

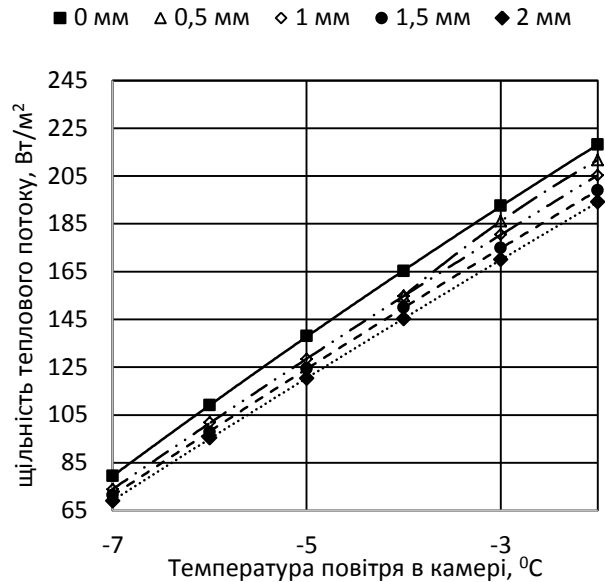
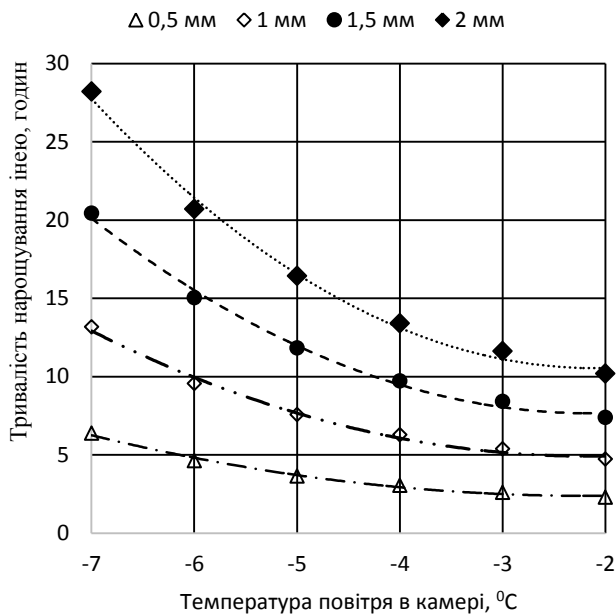


Рисунок 1 – Залежність питомого теплового потоку $q_{F_{вн}}$ від температури в камері при різній товщині шару інею на теплообмінній поверхні (температура кипіння холодильного агента $t_0 = -10^\circ\text{C}$ та є незмінною).

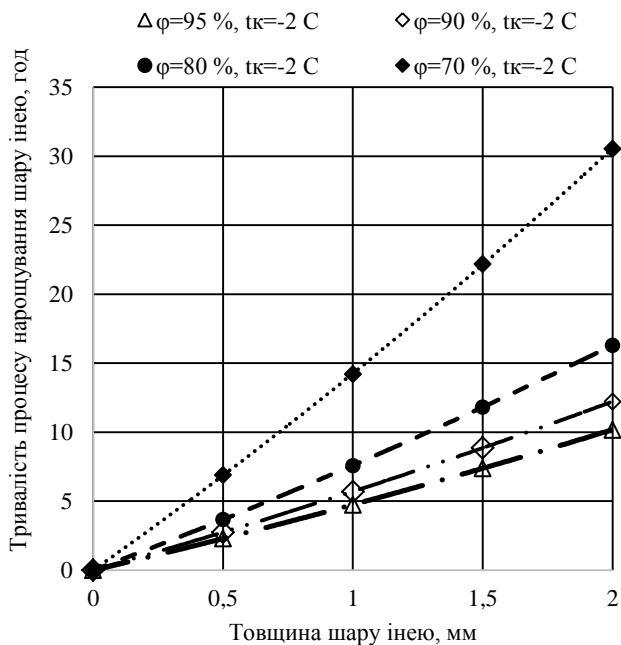
На рисунку 2 представлено тривалість нарощування шару інею при фіксованій відносній вологості повітря в холодильній камері $\varphi = 95\%$ і температурі кипіння холодильного агента $t_0 = -10^\circ\text{C}$. З графіка видно, що при зменшенні температурного напору в апараті тривалість висадження вологи з повітря на поверхні теплообміну збільшується. Динаміка наростання інею відповідає даним приведеним в роботі [1]. Аналізуючи рис.2 видно, що при налаштуванні системи автоматичного контролю процесу відтайки повітроохолоджувача на товщину шару інею 2 мм апарат може пропрацювати без необхідності відтайки приблизно 28 год при мінімально можливому температурному напорі в апараті 3°C . При збільшенні температурного напору в повітроохолоджувачі до 8°C тривалість роботи без необхідності відтайки буде складати лише 10 годин. Таким чином, температурний напір в апараті суттєво впливає на висадження вологи з повітря. Більш високі значення температурного напору рекомендовано для приміщень в яких необхідно підтримувати низьку відносну вологість повітря. Слід також приймати до уваги, що підвищення температури в камері при незмінній температурі кипіння холодильного агента призводить до суттєвого підвищення холодовидатності теплообмінника.

Динаміка зміни товщини шару інею при зміні температури в камері та відносної вологості повітря (тем-

пература кипіння холодильного агенту $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$) представлена на рисунку 3. В ході аналізу було розрахованим шляхом змодельовано різноманітні умови експлуатації повітроохолоджувача. Тривалість наростання шару інею найменш швидко була для відносної вологості повітря в камері 70%. Шар інею завтовшки 2 мм при $\varphi=70\%$ утворюється за 30 годин, а при $\varphi=95\%$ - за 10 годин. Крок ребер для всіх розрахунків складав 10 мм.



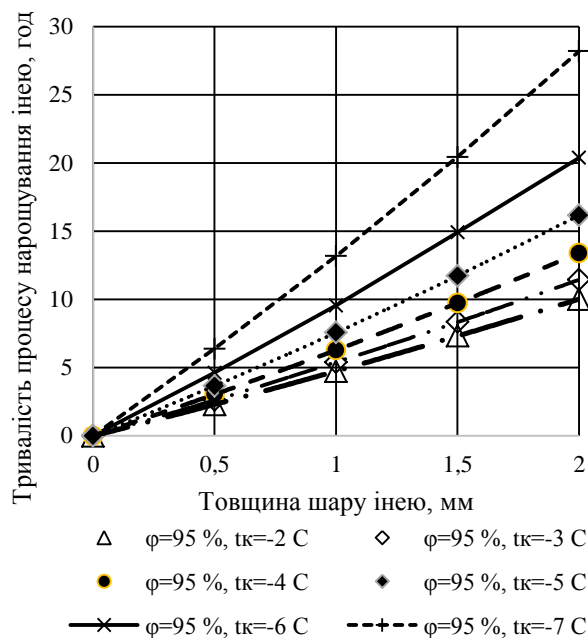
Рисунку 2 – Тривалість нарощування шару інею при фіксованій відносній вологості в камері $\varphi=95\%$ і температурі кипіння холодильного агенту $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$



Рисунку 3 – Динаміка зміни товщини шару інею при $t_k = -2^{\circ}\text{C}$ та різній відносній вологості повітря (температура кипіння холодильного агенту $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$)

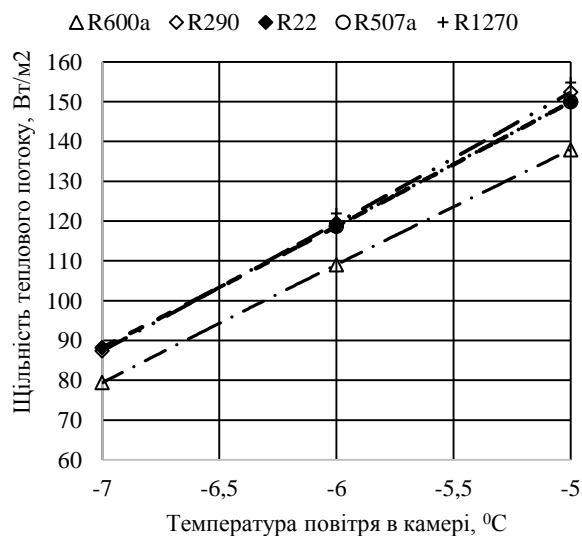
На рисунку 4 представлена динаміка зміни товщини шару інею при зміні температури в камері та відносній вологості повітря

(температура кипіння холодильного агенту $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$). При зменшенні температурного напору в повітроохолоджувачі динаміка осадження інею на теплообмінній поверхні сповільняється. Результати по швидкості наростання шару інею на теплообмінній поверхні збігаються з результатами роботи [10]. Товщина шару інею на теплообмінній поверхні за цих умов за 5 годин буде не більше 1 мм.



Рисунку 4 – Динаміка зміни товщини шару інею при зміні температури в камері та відносній вологості повітря (температура кипіння холодильного агенту $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$)

Цікавим, з точки зору можливості перезавантаження холодильної установки іншим холодильним агентом, було здійснити порівняльний аналіз зміни щільності теплового потоку повітроохолоджувача в залежності від заправленого хладону (рис. 5).



Рисунку 5 – Динаміка зміни щільності теплового потоку повітроохолоджувача в залежності від заправленого хладону (температура кипіння хладону $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$)

З рис. 5 видно, що щільність теплового потоку для більшості агентів рівнозначна. Винятком є лише випадок використання хладону R600a, щільність теплового потоку в разі його використання на 10% нижча за інші хладони, які було проаналізовано. У зв'язку з цим при роботі на хладоні R600a необхідно на 10 % більше теплообмінної поверхні для забезпечення необхідної потужності апарату при інших рівних умовах експлуатації повітроохолоджувача.

Висновки

В роботі запропоновано та розглянуто методику проведення дослідження характеристик сучасних серійних повітроохолоджувачів. За результатами проведеного моделювання роботи випарників для охолодження повітря було проаналізовано вплив на процеси інеутворення режимних параметрів експлуатації теплообмінників та параметрів повітря в холодильній камері.

Інеутворення на поверхні повітроохолоджувача та енергетичні характеристики теплообмінника залежать від великої кількості параметрів, таких як: швидкість повітря в живому перетині апарату, відносна вологість та температура повітря в холодильній камері, температура кипіння холодильного агента та інші.

На відміну від існуючих складних алгоритмів моделювання умов інеутворення в повітроохолоджувачах холодильних установок [1] в даній статті запропоновано методику проведення оперативного дослідження інеутворення з використанням програмного продукту фірми-виробника. Отримані результати моделювання роботи повітроохолоджувачів в умовах інеутворення дають змогу виконати попередню оцінку особливостей роботи серійного обладнання при гнучкій зміні режимних параметрів експлуатації.

Література

1. Лагутин А. Е., Козаченко И. С., Желиба Ю.А. Моделирование формирования инея на оребренной

поверхности воздухоохлаждителя// Problemele energeticii regionale 2 (34) 2017, с.63-71

2. **Tao, Y.-X., Mao, Y. and Besant, R. W.** "Frost Growth Characteristics of Heat Exchanger Surfaces: Measurement and Simulation Studies." *Fundamentals of Phase Change: Sublimation and Solidification*. ASME HTD- Vol. 286: 29-38, 1994.

3. **Coles, W. D.** "Experimental Determination of Thermal Conductivity of Low Density Ice," NACA Tech. Note, Paper No. 3143, 1954

4. **Ostin, R. and Andersson, S.** "Frost Growth Parameter in a Forced Air Stream." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 34: 1009-1017, 1991.

5. **Hayashi, Y., Aoki, K. and Yuhura, H.** "Study of Frost Formation Based on a Theoretical Model of the Frost Layer." *Trans. Japan Soc. Mech. Eng.* 40: 885-899, 1976

6. **Aoki, K., Katayama, K., and Hayashi, Y.** "A Study on Frost Formation (The Process of Frost Formation Involving the Phenomena of Water Permeation and Freezing)." *JSME* 26(211): 87-93, 1983

7. **Niederer, D. H.**, 1976, Frosting and defrosting effects on coil heat transfer, *ASHRAE Transactions*, vol. 82, pt. 1, pp. 467-473.

8. Интенсификация теплообмена в испарителях холодильных машин А.А. Гоголин, Г.Н. Данилова, В.М. Азарсков, Н.М. Медникова. –М.: Легкая промышленность, 1982. –224 с.

9. **Алексеев В.П., Олейниченко В.Г.** Выбор температуры кипения хладагента при расчете воздухоохлаждителя // *Холодильная техника*, - 1979.- №7,- С.30-31.

10. **Данилова Г.Н.** Теплообменные аппараты холодильных установок. Ленинград «Машиностроение» Ленинградское отделение. 1986. – 303 с.

11. **C. M. Robinson and A. M. Jacobi** A Study of Frost Formation on a Plain Fin// *Air Conditioning and Refrigeration Center A National Science Foundation/University Cooperative Research Center, University of Illinois at Urbana-Champaign*, 2001, p. 52

Отримана в редакції 02.02.2018, прийнята до друку 06.03.2018

Modeling of Air Coolers Operation for Refrigeration Systems

P.F. Stoianov¹, **N.O. Bilenko¹**, **Y.O. Stoianov²**

¹Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaya St., Odessa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: palfomich@gmail.com

²National University "Odessa Maritime Academy", 8 Didrikhson str. Odessa, 65029, Ukraine

Air coolers are widely used in refrigerated chambers for storing vegetables, fruits, juices, drinks, milk and dairy products. It is not economically feasible to reduce the size of the heat exchangers (HE) by increasing the temperature pressure. The optimal technical problem solution of heat transfer intensification is to increase the heat transfer coefficient for HEs. This enables to increase HE efficiency, reduce its weight and size. The study for air coolers characteristics in the frost formation conditions. It is related with the issues of capital and maintaining costs reducing, high and stable energy characteristics of air-cooled HE. The natural food products shrinkage at their refrigeration is connected with performance efficiency for air coolers. Given parameters are purposed for air coolers modeling: refrigerant evaporating point - $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$; air temperature in the freezing room - $t_{\text{кам}} = (-2) \div (-7)^{\circ}\text{C}$; air relative humidity in the freezing room - $\varphi = 70; 80; 90; 95\%$. Increasing the thickness of the frost to 2 mm leads to the heat flow density decreasing up to 12%. With the temperature pressure decreasing in the HEs, the duration of frost deposition from the air on the HEs surface increases. When the control system switch on defrosting mode (frost thickness of 2 mm) the HE can work non-stop approximately 28 hours at minimum possible temperature pressure in the air coolers 3°C . With an increase in the air cooler temperature pressure up to 8°C , HEs operates about 10 hours without defrosting process. The maximum

frost layer offered by Guntner software developers no more than 2 mm. It works even for heat exchangers with a large fin pitch (12 mm). The frost formation on the air-coolers surface as well as energy characteristics of heat exchanger depend on: the air velocity in the intersection of the apparatus, relative humidity and air temperature in the frizzling room, refrigerant evaporating point and other parameters. Guntner software lets to analyze air coolers operation features by changing operating parameters for the selection of heat exchangers in short time.

Keywords: Modeling; Air Cooler; Frost; Defrost; Air Relative Humidity; Density of Heat Flow.

References

1. **Lagutin A.E., Kozachenko I.S., Zheliba U.A.** Modelirovanie formirivaniya ineya na orebrennoy poverkhnosti vozdykhookhladitelya// Problemele energeticii regionale 2 (34) 2017, S. 63-71
2. **Tao, Y.-X., Mao, Y. and Besant, R. W.** "Frost Growth Characteristics of Heat Exchanger Surfaces: Measurement and Simulation Studies." *Fundamentals of Phase Change: Sublimation and Solidification*. ASME HTD- Vol. 286: 29-38, 1994.
3. **Coles, W. D.** "Experimental Determination of Thermal Conductivity of Low Density Ice," NACA Tech. Note, Paper No. 3143, 1954
4. **Ostin, R. and Andersson, S.** "Frost Growth Parameter in a Forced Air Stream." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 34: 1009-1017, 1991.
5. **Hayashi, Y., Aoki, K. and Yuhura, H.** "Study of Frost Formation Based on a Theoretical Model of the Frost Layer." *Trans. Japan Soc. Mech. Eng.* 40: 885-899, 1976
6. **Aoki, K., Katayama, K., and Hayashi, Y.** "A Study on Frost Formation (The Process of Frost Formation Involving the Phenomena of Water Permeation and Freezing)." *JSME* 26(211): 87-93, 1983
7. **Niederer, D. H.**, 1976, Frosting and defrosting effects on coil heat transfer, ASHRAE Transactions, vol. 82, pt. 1, pp. 467-473.
8. Intensifikatsiya teploobmena v isparitelyakh kholodil'nykh mashyn A.A. Gogolin, G.N. Danilova, V.M. Azarskov, N.M. Mednikova. –M.: Legkay promyshlennost', 1982. –224 S.
9. **Alekseev V.P., Oleynichenko V.G.** Vybory temperatury kipeniya khladagenta pri raschete vozdykhookhladitelya // *Kholodil'naya tekhnika*, - 1979.- №7,- S.30-31.
10. **Danilova G.N.** Teploobmennyye apparaty kholodil'nykh ystanovok. Leningrad «Mashinostroenie» Leningradskoe otdelenie. 1986. – 303 S.
11. **Robinson C. M., Jacobi A. M.** A Study of Frost Formation on a Plain Fin// *Air Conditioning and Refrigeration Center A National Science Foundation/University Cooperative Research Center, University of Illinois at Urbana-Champaign*, 2001, p.52

Received 02 February 2018

Approved 06 March 2018

Available in Internet 30 April 2018