

**СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ,
АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ
І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ**

10. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. / Добров Г. М. и др. Киев : Наукова Думка, 1974. 160 с.

References

1. Malyh, S. V. & Kotlik, S. V. (2010). Formirovaniye innovatsionnogo processa v mashinostroenii i pishchevoj promy-shlennosti. *Odessa: Astroprint*, 278.
2. Direktiva 2001/83/ES Evropejskogo parlamenta i Soveta ot 15 dekabrya 2010 g. Avialable at: <http://www.dec.gov.ua/site/files>.
3. Danilyak, V. I., Munikov, V. M. & Fedorov, M. V. (1990). Ehrgodizajn, kachestvo, konkurentosposobnost'. *Moskva.: Izdatel'stvo standartov*, 199.
4. Chirkov, V. G. (2005). Ehffektometriya. *Kiev: Feniks*, 233.
5. Ivanova, L. A. & Kotlik, S. V. (2015). Promyshlennoe proektirovaniye v dizajne. *Odessa: Astroprint*, 317.
6. Issledovanie rynka podsolnechnogo masla v Ukraine. Rejting kompanij-proizvoditelej za 2015 god. Avialable at: <https://koloro.ua>.
7. Yerina, A. M. (2004). Orhanizatsiya vybirkovykh obstezhen'. *Kyiv : KNEU*, 128.
8. Malhotra, N. K. (2007). Marketingovyie issledovaniya: prakticheskoe rukovodstvo. *Moskva: Vil'yams*, 1186.
9. Ivanova, L. A., Kotlik, S. V. & Malyh, S. V. (2016). Dizajn v reklame. *Odessa: Astroprint*, 268.
10. Dobrov, G. M., Ershov, Yu V., Levin, E. I. & Smirnov, L. P. (1974). Ehkspertnye ocenki v nauchno-tekhnicheskom progno-zirovanii. *Kiev : Naukova Dumka*, 160.

Cite as

Іванова Л. О., Соколова О. П. Оцінювання рівня дизайну упаковок харчових продуктів кількісним методом // *Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2017. Т. 81, вип. 2. С. 137 — 143.*

Отримано в редакцію 13.09.2017

Прийнято до друку 14.10.2017

Received 13.09.2017

Approved 14.10.2017

УДК: 628.16.045.5—047.58:628.165

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ НА
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВИМОРОЖУВАННЯ БЛОКУ ЛЬОДУ
STUDY OF ULTRASONIC FIELD INFLUENCE ON THE ENERGY EFFICACY
OF THE ICE BLOCK FREEZING PROCESS**

Тришин Ф. А., канд. техн. наук, доцент, Трач О. Р., магістр, Орловська Ю. В., аспірант

Одеська національна академія харчових технологій

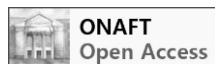
Trishin F. A., Trach O. R., Orlovskaya Yu. V.

Odessa National Academy of Food Technologies

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

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

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Чотири мільярди людей мінімум один місяць в році зустрічаються з дефіцитом прісної води. В 2030 р до 47 % населення світу буде жити під загрозою водного дефіциту. Такі перспективи значно підвищують важливість отримання очищеної води. Існує зростаючий інтерес до технології блочною виморожування для очищення води. Системи цього типу характеризуються простотою дизайну, компактністю та енергоефективністю, завдяки тому, що блочне виморожування усуває системні втрати холоду. Оскільки ефективність процесу безпосередньо залежить від якості управління ним, виникає проблема контролю процесів теплопередачі при направленій кристалізації. Дослідження процесу теплопередачі в реальних умовах пов'язане з великими труднощами, внаслідок складності і нестационарності процесів, тому важливість набуває теоретичний аналіз і

СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

побудова моделей. В ідеальному теплофізичному представленні, процес направленої кристалізації повинен проходити при вищезгаданій двохфазній зоні з нульовою пористістю. Такий консервативний спосіб управління процесом повинен протікати при мінімальній різниці температур, практично при криоскопічній температурі. Теоретично забезпечується нульова пористість, проте швидкість формування блоку льоду буде нескінченно низькою. Будь-які методи інтенсифікації можуть призвести до збільшення швидкості замерзання, однак воно супроводжуватиметься утворенням пористої структури. Під час процесу кристалізації змінюється температура, концентрація та пористість кожного шару субстрату, тому проблематично знайти аналітичне рішення задачі. В даному дослідженні було отримано числову модель процесу теплопередачі. Встановлено, що пористість льодової структури має значний вплив на процеси тепло- та масопереносу. Шляхом вирішення рівнянь матеріального балансу була отримана формула для знаходження концентрації солі в блоці льоду. Проведено дослідження процесу виморожування в ультразвуковому полі. Отримані результати свідчать, що застосування ультразвуку знижує концентрацію солей в блоці льоду, а, отже, і його пористість. Виходячи з результатів дослідів, можна зробити висновок, що застосування ультразвукових інтенсифікаторів в установках блочного виморожування дозволяє поліпшити параметри блоку льоду і збільшити енергетичну ефективність процесу.

Four billion people at least one month a year face the shortage of fresh water. By 2030, 47 % of the world population will live under the threat of water deficiency. Such perspectives considerably increase the importance of receiving purified water. There is a growing interest in the technology of block freezing for water cleaning. This type of systems is characterized by simplicity of design, compactness, and energy efficiency. This is due to the fact that block freezing eliminates systemic loss of cold. The efficiency of the process directly depends on the quality of its management; thus emerges the issue of controlling the processes of heat transfer upon directional crystallization. Investigation of the heat transfer process under real-life conditions is associated with great difficulty due to the complexity and unsteadiness of the processes. That is why the theoretical analysis and model construction becomes important. Ideally, from the thermophysical point of view, the directional crystallization process must take place when the two-phase region of zero porosity is grown. Such a conservative process management method must proceed at a minimum temperature difference, virtually at cryoscopic temperature. Thus, theoretically, zero porosity is provided however, the rate of the ice block formation will be infinitely low. Any methods of intensification can lead to increased rate of freezing; however, it will be accompanied by a porous structure formation. During the crystallization process, the temperature, concentration, and porosity of each substrate layer varies, so it is challenging to find an analytical solution to the problem. In this study, a numerical model of the heat transfer process has been obtained. It has been found that the porosity of the ice structure has a significant effect on the processes of heat and mass transfer. By solving the equations of material balance, the formula for calculating the concentration of salt in a block of ice has been obtained. The study of the freezing process in the ultrasonic field has been conducted. The obtained results indicate that the use of ultrasound reduces the concentration of salts in the block of ice and, thus, its porosity. This will be a prerequisite for a better separation of the solution. Based on the results of the tests, it can be concluded that the use of ultrasonic intensifiers in block freezing units can improve the ice block parameters and increase the energy efficiency of the process.

Ключові слова: моделювання, кристалізація, пористість, концентрація, температура, теплопередача

Keywords: modeling, crystallization, porosity, concentration, temperature, heat transfer

Вступ. У списку найбільших глобальних ризиків для людства на найближчі 10 років за критерієм потенційного впливу, складеному World Economic Forum у 2015 р, проблема нестачі питної води знаходиться на першому місці. Вона вважається більш важливою ніж спроби пом'якшити зміни клімату, посилення екстремальних погодних умов та загрози продовольчій безпеці. Втім, слід зауважити, що всі ці ризики взаємопов'язані.

Вже зараз чотири мільярди людей мінімум один місяць на рік зіштовшуються з дефіцитом прісної води. Найбільше питної води у світі споживають Індія (200 трлн. галонів на рік) і Китай (150 трлн. галонів на рік). І в цих країнах вже відчутний її дефіцит. Згідно із дослідженням, що опубліковане в журналі Science Advances [1], брак питної води відчуває 663 млн. людей, а ще 2,4 млрд. не мають нормальних санітарних умов. Екстраполюючи сьогодишню ситуацію на майбутнє, можна зробити прогноз, що у 2030 р до 47 % населення світу буде жити під загрозою водного дефіциту. Таким чином, проблема отримання чистої прісної води є однією з найважливіших для сучасної людини [2 — 4].

Літературний огляд. З усього обсягу опрісненої води, що отримується у світі, 86 % припадає на частку багатостадійних дистиляційних опріснювальних установок та установок на основі зворотного осмосу. Інші основні технології включають мультиефектну дистиляцію, компресію пари та електродіаліз. Дистиляція та компресія пари використовують, перш за все, теплову енергію, тоді як зворотній осмос — механічну енергію, що витрачається на перекачування води, а для електродіалізу необхідна електрична енергія. Також використовуються

СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

інші технології опріснення, такі як дистиляція з використанням енергії сонця, дистиляція через мембрани, прямий осмос, процеси іонного обміну та виморожування. Сучасний технологічний рівень зумовлює досить обмежене та нішеве використання цих технологій, однак інтерес до них постійно зростає, це пов'язано з не надто високою енергетичною ефективністю дистиляційних опріснювальних установок [5, 6].

Серед альтернативних опріснювальних систем планомірно підвищується інтерес до низькотемпературних технологій водопідготовки. Це пов'язано з їх високою енергоефективністю, оскільки для перетворення води у пару до неї потрібно підвести 2252 кДж/кг тепла, а для перетворення води на лід (виморожування) необхідно відвести 335 кДж/кг тепла. Тобто витрати енергії на утворення льоду в 6,7 рази менші витрат енергії на випарування. Найбільш привабливими виглядають кристалізатори безперервної дії, що пов'язано з наявністю відпрацьованих методів проектування та промислового процесу. Проте висока механічна складність і високі витрати на впровадження, роблять установки неперервної кристалізації занадто дорогими для систем дрібномасштабного очищення води. В такій ситуації можна використовувати установки побудовані на принципі блочного виморожування. Для установок цього типу характерні простота конструкції, компактність та енергетична ефективність. Принцип блочного виморожування усуває системні втрати холоду, які характерні для традиційних установок кріоконцентрування. Як відомо, якість процесу прямо залежить від якості управління ним, внаслідок цього важливе значення отримує вирішення проблеми якісного управління процесами теплопередачі при направленій кристалізації. Виходячи з вищесказаного та опираючись на Закон України «Про енергозбереження» [7] дослідження методик управління процесом теплопередачі при направленій кристалізації представляє велике наукове і практичне значення для вирішення проблем забезпечення чистою водою.

Основна частина. Мета. Завдання. Розглянемо фізику процесу виморожування на прикладі установки блочного типу.

Апаратурно—процесова схема роботи системи представлена на рис. 1. З розчину на кристалізаторах формується блок кристалів льоду, після чого, розчин, що залишився видаляється з концентратору. Утворений блок льоду відокремлюється від кристалізатора та проходить етап гравітаційного сепарування. Нетривалий процес відтавання супроводжується плавленням тонкого поверхневого шару блоку, вода, що утворилася внаслідок цього процесу, змиває розчин солі з поверхні блоку та капілярних об'ємів. Дослідження показують, що динаміка виходу солей з блоку льоду може значно відрізнятись. Іони Na^+ , Cl^- і SO_4^{2-} вимиваються набагато інтенсивніше іонів Mg^{2+} , K^+ і Ca^{2+} . Найменша інтенсивність виходу у гідрокарбонатного іону, концентрація якого знижується найповільніше [8].

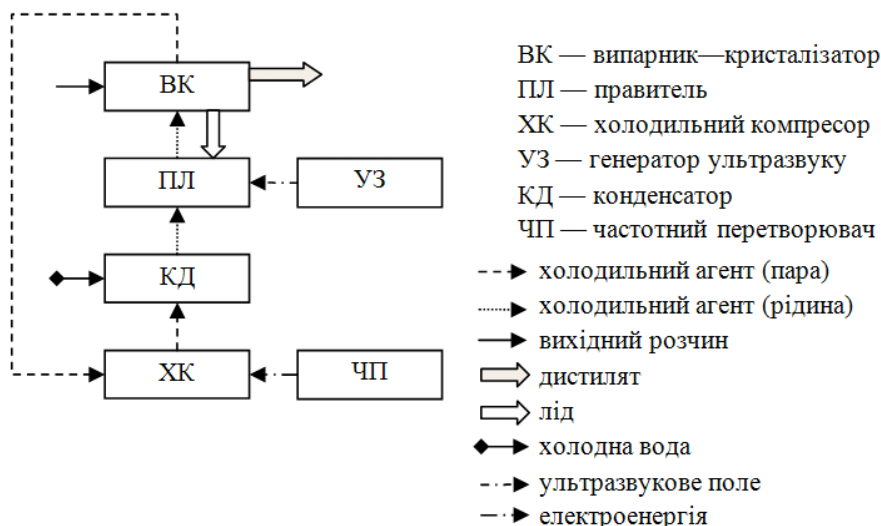


Рис. 1 — Апаратурно—процесова схема установки блочного виморожування

Після цього проводиться розплавлення льоду та отримується очищена вода. Теплота плавлення льоду використовується в холодильному циклі для зниження температури холодинного агента перед дроселюванням. Таким чином, можна забезпечити безперервний процес опріснення, процес легко механізувати, ним легко управляти. В якості охолоджуючого середовища можна використовувати холодинний агент, наприклад, холодне повітря з навколишнього середовища. Технічна ідея схеми полягає у вдосконаленні генератором ультразвукового поля існуючої схеми виморожуючої установки за рециклінгом льоду та частотним перетворювачем. Вплив ультразвуку на розчин дозволяє за певних умов підвищити коефіцієнт тепловіддачі у 5...10 разів, що

СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

благотворно впливає на процеси кристалізації і дозволяє зменшити тривалість процесу у 2...4 рази. Стоячі ультразвукові хвилі значно покращують якість «перемішування» системи колоїдного розчину і дозволяють зменшити концентрацію суспензії у воді більш ніж у 20 разів. Схожі результати були отримані при впливі ультразвуку на сольовий розчин, де вдалося добитися значного зменшення солоності води [9].

Оскільки ефективність процесу безпосередньо залежить від якості управління ним, виникає проблема управління процесами теплопередачі при направленій кристалізації. Виходячи з вимог енергоефективності, дослідження методик управління процесом теплопередачі при спрямованій кристалізації має велике наукове і практичне значення для вирішення проблем забезпечення чистою водою. Дослідження процесу теплопередачі в реальних умовах пов'язане з великими труднощами, внаслідок складності і нестационарності процесів, тому важливість набуває теоретичний аналіз і побудова моделей.

У даній роботі розглянемо підходи до аналітичного і експериментального моделювання процесу виморожування, можливі принципи впливу пористості на процес виморожування та вплив ультразвуку на процес виморожування.

Матеріали і методи досліджень.

При направленій кристалізації на горизонтальній поверхні 1, температура якої нижче криоскопічної температури, формується підкладка у вигляді твердої фази 2. Нижче зростає двофазний шар 3, що складається з льоду і розчину. Поверхню двофазової зони і розчин 5 розділяє приграничний шар 4.

Управління процесом направленої кристалізації базується на забезпеченні необхідних умов формування двофазного шару. Густина теплового потоку і масовий потік льоду визначають різницю температур розчину і поверхні 1. Складність моделювання процесів за схемою (рис. 2) обумовлюється не тільки фазовими переходами, а й зміною структури двофазного шару по висоті.

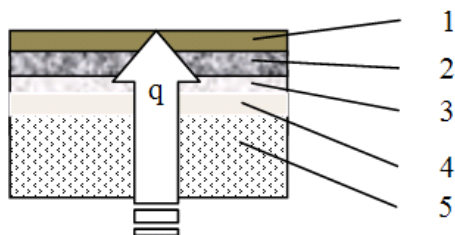


Рис. 2 — Фізична модель процесу виморожування

Кристалічна структура льоду не дозволяє включати домішки, крім дефектів у структурі кристала. Таким чином, коли лід починає рости, будь-які розчинені речовини, що присутні в рідині, будуть виключатись з цього зростаючого льодового фронту. Якщо швидкість зростання кристалу більша, ніж швидкість з якою дифузія може доставляти розчинені речовини до льодового фронту, то градієнт концентрації буде дуже швидко утворюватися в рідині, що оточує лід. Концентрований розчин, в свою чергу, знизить точку замерзання рідини. Коли утвориться певна кількість льоду, то розчин на межі поділу фаз буде мати температуру замерзання, що дорівнює температурі на межі поділу фаз. На цьому етапі зростання льоду буде обмежене швидкістю дифузії розчину від кристалу. Не можна ігнорувати також зміну градієнтів температур, концентрацій і пористості по висоті шару (рис. 3). Більше того, епюри цих параметрів мають нелінійний характер. Від величини температури в точці залежить концентрація розчину і пористість, а ці параметри визначають термічний опір, тобто продуктивність по зростанню льоду і розподіл температур в шарі. Таким чином, задача є нелінійною, нестационарною та ускладненою фазовими переходами [10, 11].

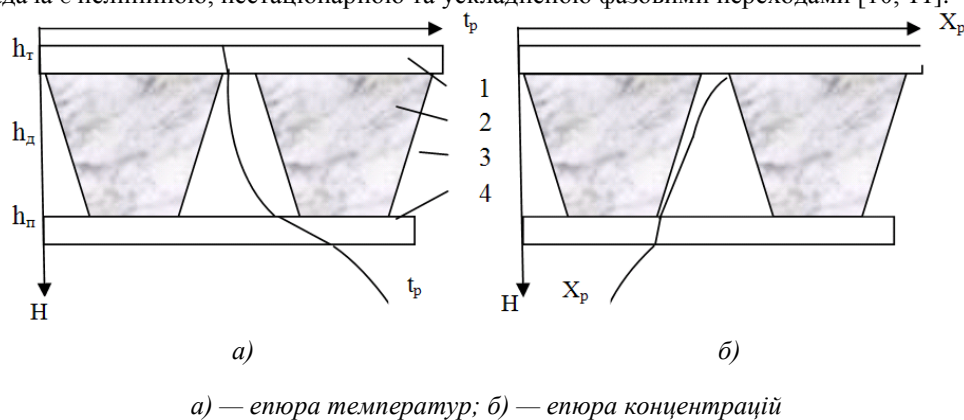


Рис. 3 — Поля температур і концентрацій розчину

СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

В ідеальному теплофізичному представленні, процес направленої кристалізації повинен проходити при виросуванні двохфазної зони з нульовою пористістю. Такий консервативний спосіб управління процесом повинен протікати при мінімальній різниці температур, практично при криоскопічній температурі. Теоретично забезпечується нульова пористість, проте швидкість формування блоку льоду буде нескінченно низькою. Будь-які методи інтенсифікації приведуть до зростання швидкості заморожування, але ціною отримання пористої структури. На рис. 4 представлена фотографія блоку льоду, на якій помітна його пориста структура.



Рис. 4 — Пориста структура блоку льоду отриманого в установці блочного виморожування

Пов'язаним з температурою параметром є пористість двохфазного шару «лід — розчин». Зі збільшенням глибини шару при всіх інших незмінних параметрах пористість зростає. Це призводить до зростання термічного опору двохфазного шару, зниження інтенсивності формування блоку льоду, погіршення якості поділу розчину.

Спрощення розрахункових завдань, перехід до інженерних методів пов'язані з використанням емпіричних моделей при розрахунках теплопередачі. Густина теплового потоку через i -й елемент виражається різницею температур і відповідним термічним опором (табл. 1)

$$q_i = \Delta t_i \cdot (R_i)^{-1} \quad (1)$$

Оскільки товщина дифузійного шару не визначається, термічні опори R_n і R_p замінюються їх сумою — термічним опором конвективної тепловіддачі $R_k = R_n + R_p$, інтенсивність теплопереносу в якій характеризується коефіцієнтом тепловіддачі α . Модель для розрахунку цього коефіцієнта вибирається залежно від гідродинамічної ситуації на межі кристалізації за загальноприйнятими рекомендаціями. Тоді щільність теплового потоку в двофазному шарі знаходиться зі співвідношення

$$q_p = \alpha_p \cdot (t_5 - t_3) \quad (2)$$

Таблиця 1 — Розрахункові співвідношення процесів теплопередачі

Елемент (шар)	Термічний опір, R , К/Вт	Густина теплового потоку, q , Вт/м ²
1	$R_T = h_T / \lambda_D$	$q_T = (t_2 - t_1) \cdot R_T^{-1}$
2	$R_D = (h_D - h_T) / \lambda_e$	$q_D = (t_3 - t_2) \cdot R_D^{-1}$
3	$R_{II} = (h_{II} - h_D) / \lambda_p$	$q_{II} = (t_4 - t_3) \cdot R_{II}^{-1}$
4	$R_P = (h_D - h_T) / \lambda_{ep}$	$q_p = (t_5 - t_4) \cdot R_p^{-1}$

Запишемо послідовний ланцюжок теплопереносу через шари, що аналізуються, з врахуванням, що λ — коефіцієнт теплопровідності відповідного шару, Вт/(м·К), q — густина теплового потоку через відповідний шар, Вт/м² та h — товщина відповідного шару, м

$$\begin{aligned} t_1 - t_2 &= -q_m \frac{h_m}{\lambda_r} \\ t_2 - t_3 &= -q_d \frac{h_m - h_o}{\lambda_e} \\ t_3 - t_5 &= -q_p \frac{1}{\alpha_p} \end{aligned} \quad (3)$$

Підсумуємо термічні опори всіх шарів. Оскільки для поставленого завдання (кристалізація на плоскій поверхні) густини теплових потоків, що проходять через окремі шари, рівні $q_p = q_d = q_T = q$, то

$$\frac{t_5 - t_1}{q} = R_T + R_D + R_P = \frac{h_r}{\lambda_r} + \frac{h_m - h_r}{\lambda_e} + \frac{1}{\alpha_p} \quad (4)$$

Основні проблеми з розрахунком по формулі (4) пов'язані з двофазним шаром. Тут у теплопереносі беруть участь як тверда фаза (лід), так і розчин. Обмежені умови пористої структури цього шару дозволяють вважати,

СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

що конвективні потоки в порах відсутні і теплоперенос проходить паралельно через крижані «ребра» і через розчин. Введемо ефективний коефіцієнт теплопровідності пористої структури, який визначається температурою і пористістю. Природно, для кожного зрізу ці параметри різні, а визначальний вплив буде мати пористість. Будемо рахувати

$$\lambda_e = \varepsilon \cdot \lambda_p + (1 - \varepsilon) \cdot \lambda_{\text{Л}}, \quad (5)$$

де ε — пористість двофазного шару;

λ — коефіцієнт теплопровідності відповідної складової шару.

У процесі кристалізації температура (t_p), концентрація (X_p) і пористість (ε) кожного зрізу шару змінюються, тому

$$\lambda_e(h) = \varepsilon(h) \cdot \lambda_p(t, X_p) + (1 - \varepsilon(h)) \cdot \lambda_{\text{Л}}(t) \quad (6)$$

Оскільки знайти аналітичне рішення проблеми досить проблематично, логічним здається провести чисельне моделювання процесу кристалізації.

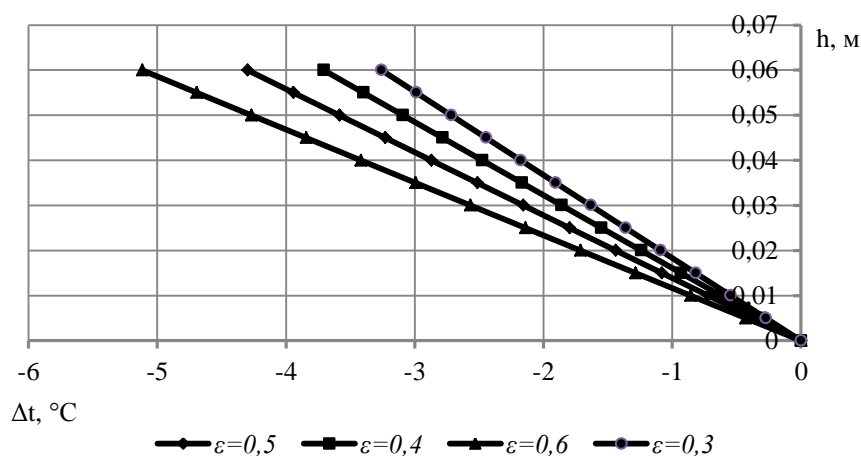


Рис. 5 — Графіки залежності $t(h)$ при $\varepsilon = \text{const}$

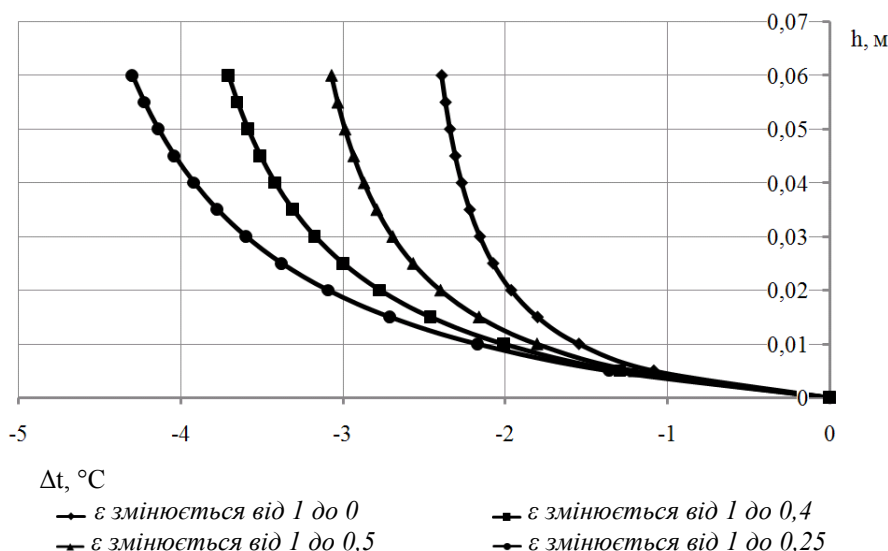


Рис. 6 — Графіки залежності $t(h)$ при ε , що змінюється за лінійним законом

Наведемо результати моделювання процесу кристалізації (рис. 5) при наступних значеннях змінних: товщина двофазного шару (h) змінюється від 0 до 6 см, з кроком 0,5 см, пористість шару (ε) також постійна, щільність теплового потоку (q) приймає значення 100 Вт/м^2 . Використовуючи формулу (6) та задавши, що значення ε змінюється по лінійному закону, отримаємо графіки представлені на рис. 6.

За наведеними графіками можна зробити висновок, що можливість ефективного впливу на процес кристалізації багато в чому визначаються достовірністю уявлень про будову пористої структури льоду, тому актуальною є задача моделювання цієї структури і визначення її впливу на процеси тепло— і масообміну. Як показує огляд літератури, ця проблема ще не вирішена повною мірою, тому подальші висновки можна буде зробити після експериментального моделювання процесу виморожування води.

Передбачається, що організація локального впливу ультразвуковим генератором на поверхню фазового

контакту «лід—вода», дозволить здійснювати формування блоку льоду з більш щільною упаковкою кристалів, а на стадії сепарування — більш ефективну евакуацію розчинів з пористого обсягу блоку льоду. Блок льоду — це своєрідна система з порами (капілярами), під впливом ультразвуку молекули незамерзлого сольового розчи-

СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

ну розкитуються, що полегшує їх вихід з пористої структури блоку, це теоретично дозволяє значно скоротити час сепарування.

Виходячи з результатів математичного моделювання, пористість має значний вплив на тепло— і масообмін в процесах кристалізації і сепарування. В роботі формується гіпотеза, що організація вищезазначених процесів в умовах впливу ультразвукового поля сприятиме більш щільній упаковці кристалів льоду в блоці, а, отже, призведе до зменшення пористості. Це стане передумовою для більш якісного поділу розчину.

Результати експериментальних досліджень. За допомогою блокової виморожуючої установки з ультразвуковим генератором був проведений ряд дослідів по вивченню впливу ультразвукового випромінювача на фізичні параметри процесу блочного виморожування (рис. 7 — 12).

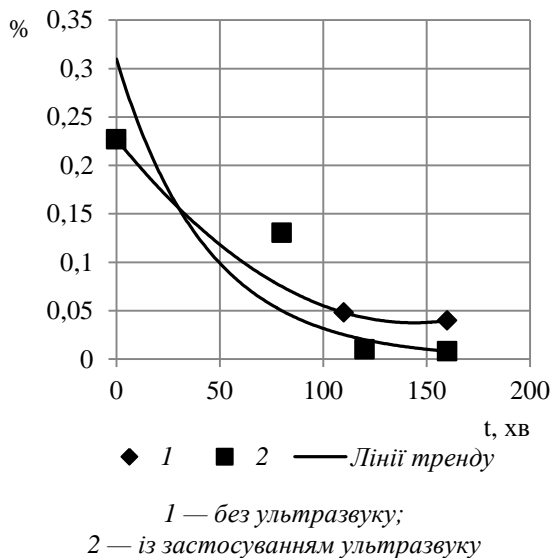


Рис. 7 — Вплив ультразвуку на солемісткість у стоках

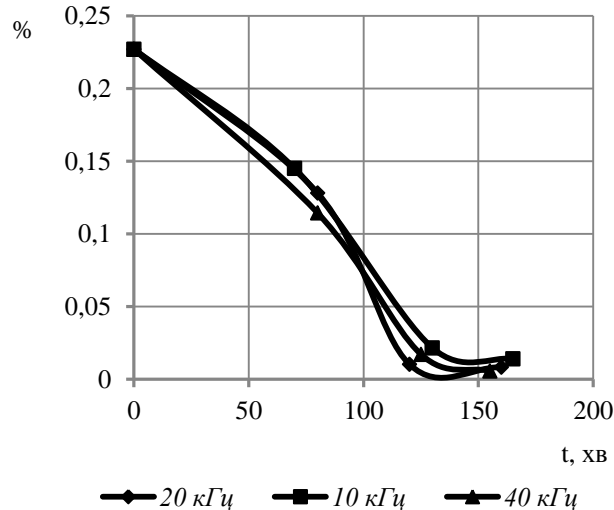


Рис. 8 — Вплив ультразвуку різної частоти на солемісткість у стоках

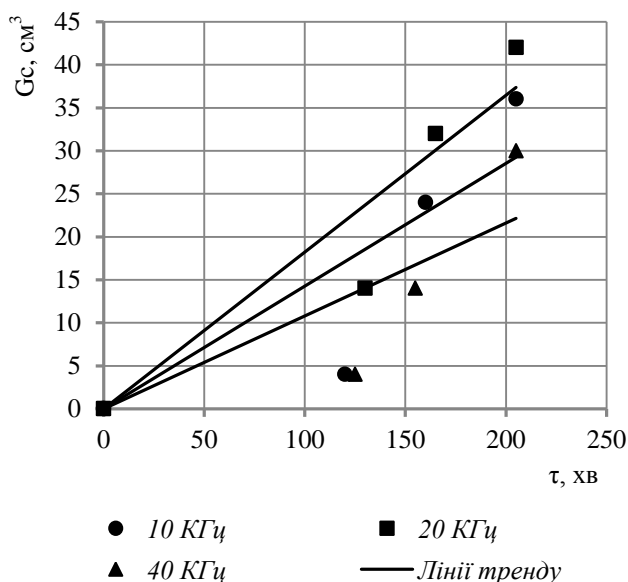


Рис. 9 — Вплив ультразвуку на кількість стоків, евакуйованих із блоку льоду

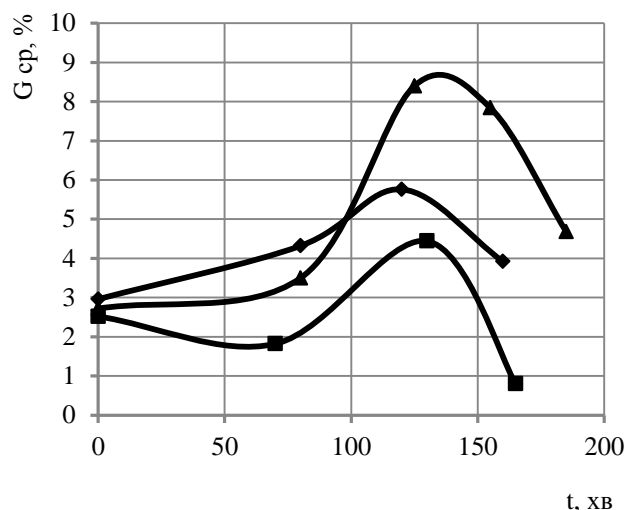


Рис. 10 — Вплив ультразвуку різної частоти на кількість сухих речовин у стоках

Шляхом вирішення рівнянь матеріального балансу була отримана формула для знаходження концентрації солі в блоці льоду

СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

$$X(\tau) = \frac{M_n X_n - M(\tau) X(\tau)}{M_n - M(\tau)}, \quad (7)$$

де M_n — початкова маса розчину з концентрацією солей X_n ;
 $M(\tau)$ — поточна маса розчину з концентрацією солей $X(\tau)$.

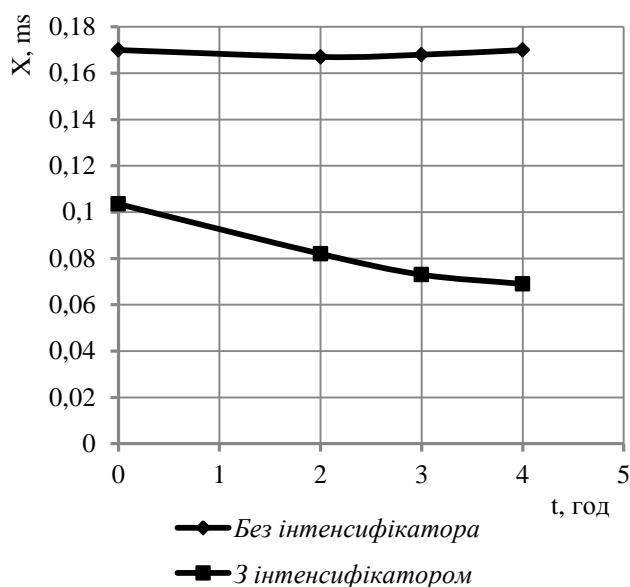


Рис. 11 — Вплив ультразвукового інтенсифікатора на зміну концентрації солі у блоці льоду із плином часу

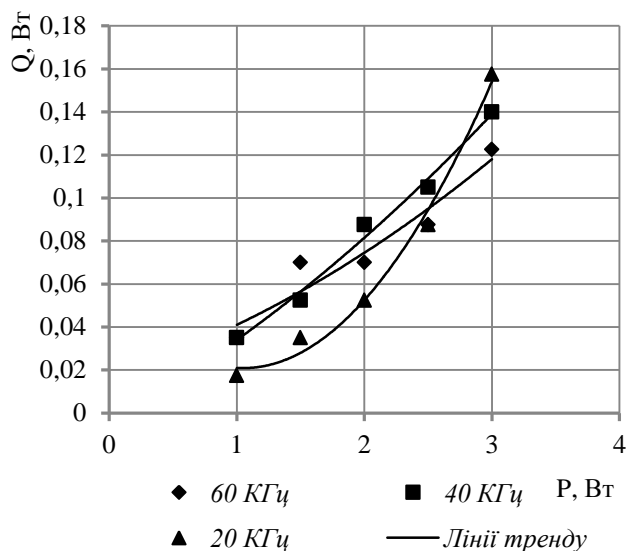


Рис. 12 — Залежність теплового потоку від питомої потужності із застосуванням ультразвуку різної частоти

Проведено дослід з визначення концентрації солей в блоці льоду із застосуванням ультразвукового інтенсифікатора і без. Отримані графіки (рис. 9) свідчать, що застосування ультразвуку знижує концентрацію солей в блоці льоду, а, отже, і його пористість. Виходячи з результатів дослідів, можна зробити висновок, що застосування ультразвукових інтенсифікаторів в установках блочного виморожування дозволяє поліпшити параметри блоку льоду і збільшити енергетичну ефективність процесу.

Висновки. Встановлено, що пористість структури льоду значно впливає на процеси тепло— і масообміну.

Проаналізовано математичну модель впливу пористості блоку льоду на теплофізичні процеси.

Досліджено вплив ультразвуку на процес кристалізації та сепарування блоку льоду, встановлено, що його можна використовувати для прискорення процесу.

Таким чином, застосування ультразвуку в процесі кристалізації і сепарування блоку льоду знижує кількість солей в блоці і підвищує енергетичну ефективність роботи установки блокового виморожування.

Література

1. Mekonnen M. M., Hoekstra A. Y. Four billion people facing severe water scarcity // Science Advances. 2016. Vol. 2, Iss. 2. URL: <http://advances.sciencemag.org/content/2/2/e1500323.full> (viewed on: 22.09.2017) DOI: 10.1126/sciadv.1500323
2. Мидоренко, Д. А., Краснов В. С. Мониторинг водных ресурсов: учеб. пособие. Тверь: Твер. гос. ун—т, 2009. 77 с.
3. Хвесик М. А., Мандзик В. М. Водні ресурси — інвестиція сьогодення і перспектива майбутнього // Інвестиції: практика та досвід. 2009. № 1. С. 2 — 8.
4. Дефицит пресной воды возглавил рейтинг глобальных рисков // Baker Tilly. 2016. URL: <http://www.bakertilly.ua/ru/news/id1113>. (дата звернення: 14.09.2017)
5. Prakash S., Shannon M. A., Bellman K. Water Desalination: Emerging and Existing Technologies // Aqua Nanotechnology. 2014. P. 533—562
6. Мосин О. В. Физико—химические основы опреснения морской воды // Сознание и физическая реальность. 2012. № 1. С. 19—30.

**СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ,
АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ
І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ**

7. Закон України «Про енергозбереження»: [інтернет-портал]. URL: Режим доступу до ресурсу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>. (дата звернення: 14.09.2017)
8. Сосновский А. В., Конторович И. И. К расчёту опреснения минерализованного пористого льда при таянии // Лёд и Снег. 2016. Т. 56, № 4. С. 545—554. DOI: <http://dx.doi.org/10.15356/2076-6734-2016-4-545-554>
9. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / Хмелев В. Н. и др. Бийск: Изд—во Алт. гос. техн. ун—та, 2010. 203 с.
10. Антипов С. Т., Добромиров В. Е., Овсянников В. Ю. Тепло— и массообмен при концентрировании жидких сред вымораживанием. Воронеж: гос. технол. акад. Воронеж, 2004. 208 с.
11. Бурдо О. Г., Тришин Ф. А., Трач А. Р. Процессы кристаллизации воды в ультразвуковом поле // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2014. Вып. 45, Т. 2. С. 80—86

References

1. Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2 (2). Available at: <http://advances.sciencemag.org/content/2/2/e1500323.full> DOI: 10.1126/sciadv.1500323
2. Midorenko, D. A. & Krasnov, V. S. (2009). Monitoring vodnykh resursov. *Tver: Tver. gos. un—t.* 77.
3. Khvesyuk, M. A. & Mandzyk, V. M. (2009). Vodni resursy — investytsiia sohodennia i perspektyva maibutnoho. *Investytsii: praktyka ta dosvid, 1.* 2 — 8.
4. Defitsit presnoy vody vozglavil reyting globalnykh riskov. (2016). *Baker Tilly*. Available at: <http://www.bakertilly.ua/ru/news/id1113>.
5. Prakash, S., Shannon, M. A. & Bellman, K. (2014). Water Desalination: Emerging and Existing Technologies. *Aqua Nanotechnology*. 533—562.
6. Mosin, O. V. (2012) Fiziko—khimicheskie osnovy opresneniya morskoy vody. *Soznanie i fizicheskaya realnost, 1*, 19—30.
7. Zakon Ukrainy «Pro enerhozberezhennia». (1994). Available at: Rezhym dostupu do resursu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>.
8. Sosnovskij, A. V., Kontorovich, I. I. (2016). K raschyotu opresneniya mineralizovannogo poristogo l'da pri tayanii. *Lyod i Sneg, 56* (4). 545 — 554. DOI: <http://dx.doi.org/10.15356/2076-6734-2016-4-545-554>
9. Hmelev, V. N., Slivin, A. N., Barsukov, R. V., Cyganok, S. N. & Shalunov, A. V. (2010). Primenenie ultrazvuka vysokoy intensivnosti v promyshlennosti. *Biysk: Alt. gos. tekhn. un—t.* 203.
10. Antipov, S. T., Dobromirov, V. E. & Ovsyannikov, V. Yu. (2004). Тепло— и массообмен при концентрировании жидких сред вымораживанием. *Voronezh: gos. tekhnol. akad.* 208.
11. Burdo, O. G., Trishin, F. A. & Trach, A. R. (2014). Protsessyi kristallizatsii vody v ultrazvukovom pole. *Naukovi pratsi Odeskoyi natsionalnoyi akademiyi harchovih tehnologiy, 45* (2). 80—86

Cite as

Тришин Ф. А., Трач О. Р., Орловська Ю. В. Дослідження впливу ультразвукового поля на енергоефективність процесу виморожування блоку льоду // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2017. Т. 81, вип. 2. С. 143 — 151.

Отримано в редакцію 27.09.2017

Прийнято до друку 04.11.2017

Received 27.09.2017

Approved 04.11.2017