

1 – крива прогрівання автоклава; 2 – крива прогрівання банки; 3 – крива летальності

Рис. 1. Характеристика режиму дробової стерилізації напівконсервів з використанням принципів термо-стабілізації $\frac{20-40-15}{109\text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{30}{50\text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{20-40-20}{109\text{ }^{\circ}\text{C}}$ «Плов з мідій та морської капусти», $F_0=1,79$ ум. хв

$\frac{20-30-15}{109\text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{30}{50\text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{20-30-10}{109\text{ }^{\circ}\text{C}}$ «Мідії дієтичні «Чорноморські».

На рис. 1 представлені теплофізичні характеристики та летальність режиму дробової термо-стабілізації напівконсервів «Плов з мідій та морської капусти».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Сафронова, Т. М. Сырье и материалы рыбной промышленности [Текст]. - М.: Агропромиздат, 1991.–191с.
- Щеникова Н.В. Технология кулинарной продукции из нерыбного сырья водного происхождения [Текст] / Н.В. Щеникова, И.В. Кизветтер – М.: Агропромиздат, 1989.–166 с.
- Добробабина Л.Б. Современные технологии пищевых продуктов из гидробионтов [Текст] / Л.Б. Добробабина, А.Т. Безусов // Монография. – Одеса: Изд-во „Optimum”, 2008. – 322 с.

УДК 628.165:66.045.5

ВАСИЛІВ О.Б., канд. техн. наук, доцент, ТІГЛОВ О.С., д-р техн. наук, професор, ЩЕНКО С.В., аспірант
Одеська національна академія харчових технологій

ОПРИСНЕННЯ ВОДИ ВИМОРОЖУВАННЯМ В УСТАНОВЦІ ЗІ ЗМІННОЮ В ЦИКЛІ ТЕМПЕРАТУРОЮ ХОЛОДОНОСІЯ

В статті представлена експериментальна установка, методика та результати експериментальних досліджень процесу опріснення води у виморожуючій установці із змінним в циклі виморожування температурним режимом кристалізатора. Підтверджена ефективність запропонованого способу опріснення та визначені напрямки подальших досліджень.

Ключові слова: опріснення, виморожування, змінний температурний режим кристалізатора.

In the article presented experimental setup, methodology and results of experimental researches of the process of desalination in the installation with variable temperature conditions of crystallizer in freezing cycle. Confirmed the effectiveness of the proposed method of desalination and directions for further research.

Keywords: desalination, freezing, variable temperature condition of crystallizer.

В сучасних виморожуючих установках процес розділення розчинів з метою їх опріснення, концентрування чи фракціонування здійснюється різними способами. Найбільш відомими серед них є: розділення розчину шляхом виморожування з нього тонкого шару льоду на поверхні барабанних кристалізаторів з подальшим зіскоблюванням, рекристалізацією та сепаруванням твердої фази в промивних колонах чи центрифугах; виморожування розчинника в умовах безпосереднього контакту розчину з летючим рідким холодоагентом, який надалі видаляється, а отримана

Загальна тривалість процесу теплової обробки обумовлена матеріалом, ємністю тари (понад 200 г) та необхідністю використання водяного обігрівального середовища, яке значно пасивніше, ніж парове або повітряно-парове і має низькі теплофізичні показники.

Однак такі параметри дробової термостабілізації ніяким чином не відбилися на якісних та біохімічних показниках якості готової продукції.

Проведена дегустація дозволила встановити відмінний смак, природний колір та специфічний аромат напівконсервів. За своєю консистенцією вони нічим не відрізнялися від відповідних кулінарних виробів.

Доцільність використання дробової термостабілізації була доведена при визначенні таких біохімічних показників, як перетравлюваність білків. Так, для «Плову з мідій та морської капусти» вона склала відповідно 57,5 %, для «Мідій дієтичних «Чорноморських» – 63,2 %

Впровадження запропонованих технологій дозволить виробляти консервовані рибні продукти з високими органолептичними показниками, подібними до продуктів, виготовлених у домашніх умовах, отримати не тільки соціальний, але й суттєвий економічний ефект.

Поступила 10.2011

тверда фаза сепарується зазначеними вище способами; виморожування води з розчину на поверхні пластинчастих чи трубчастих кристалізаторів з формуванням твердої фази різної товщини, яка після відтаювання від поверхні кристалізатора і вилучення із ємності для виморожування, подрібнюється і сепарується різними способами, або сепарується в не подрібненому вигляді в умовах гравітації [1-4]. Зазначені способи мають як ряд переваг, так і недоліків. Але загальною проблемою всіх існуючих на сьогодні способів виморожування є значний вміст розчинних речовин у вимороженій твердій фазі. Це і викликає необхідність застосування в технологіях низькотемпературного розділення етапу сепарування твердої фази, який підвищує і енергоємність і тривалість технології. В ідеальному випадку процес виморожування краще було б проводити таким чином, щоб виключити необхідність етапу сепарування. Але отримати в процесі кристалізації води із розчину тверду фазу, яка б складалася лише з кристалів води і не містила домішок, не можливо. В цій ситуації актуальним є пошук технічних рішень, застосування яких дозволить мінімізувати насиченість вимороженої фази розчинними речовинами розчину, які розділяється. Одним

із напрямків вирішення цієї проблеми може бути проведення процесу низькотемпературного розділення розчину при змінному в циклі температурному режимі кристалізатора. Такий спосіб запропоновано на кафедрі теплохолодотехніки ОНАХТ. І саме він покладений в основу створення нової експериментальної виморожуючої установки.

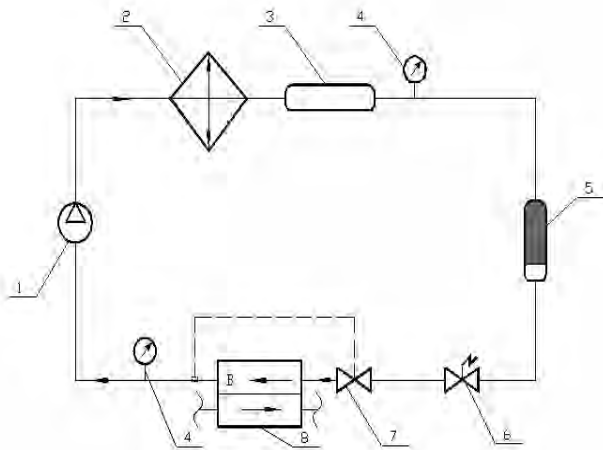


Рис. 1. Холодильна машина з пластинчатим випарником (модуль 1):

- 1 – компресор; 2 – конденсатор; 3 – ресивер;
4 – датчик тиску; 5 – фільтр; 6 – дросельний вентиль;
7 – ТРВ; 8 – пластинчатий теплообмінник (випарник)

Схема експериментальної установки наведена на рис.1 – 2 [5]. Основним принципом при створенні установки було максимальне наближення конструкції до промислового зразка і промислових умов експлуатації. При цьому важливими умовами при проектуванні установки ставилися наступні: відсутність вібрації кристалізаторів для забезпечення їх герметичності і витіканні з них холодоносія; відхід від застосування в кристалізаторі фреонів у зв'язку з їх небезпекою потрапляння в харчовий продукт; незалежність роботи холодильної машини для здійснення її легкої заміни у разі виходу із строю чи необхідності в підключенні до холодильної машини більшої потужності; здійснення автоматичного регулювання температурними режимами в установці; ефективне використання матеріалів; використання нержавіючої сталі для виготовлення кристалізаторів і ємності для розчину з метою запобігання небажаних хімічних реакцій між поверхнею металу і розчином; інші вимоги. Тому, був використаний модульний підхід: I-й модуль – холодильна машина (ХМ) (рис. 1); II-й модуль кристалізатор з блоком регулювання температури проміжного холодоносія (рис. 2). Кристалізація води із розчину відбувається одночасно на зовнішній поверхні семи вертикальних трубчастих кристалізаторів, герметично закріплених в дні циліндричної ємності для розчину. Зовнішній діаметр кристалізаторів дорівнює 12 мм, а висота – 350 мм. Конструктивно кожен кристалізатор виконаний у вигляді трубки Фільда. Відвід теплоти здійснюється проміжним холодоносієм, який з регульованою швидкістю рухається в середині кристалізатору. Швидкість руху проміжного теплоносія підібрана такою, щоб вона забезпечувала ізотермічність поверхні кристалізатора (тобто температура на зовнішній поверхні кристаліза-

тора по всій його висоті була однаковою). Подача і відвід проміжного холодоносія здійснюється знизу. Злив відпрацьованого розчину з ємності здійснюється через кран в днищі ємності. Трубчато-блочний лід, після короткотривалого відтаювання від поверхні кристалізатора, вилучається за допомогою механічного пристрою із ємності. Необхідна температура

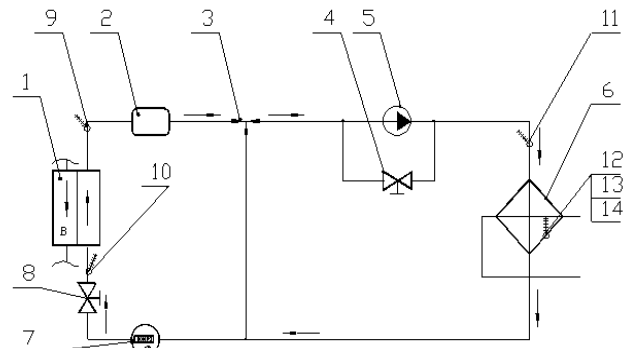


Рис. 2. Кристалізатор з блоком регулювання температури (модуль 2): 1 - пластинчатий теплообмінник; 2 - ресивер; 3 - триходовий електроклапан; 4 – байпасна магістраль з вентилем; 5 – циркуляційний насос; 6 - кристалізатор; 7 - лічильник; 8 - ручний вентиль; 9 - датчик температури на виході із теплообмінника; 10 - датчик температури на вході в теплообмінник; 11 - датчик температури на вході в кристалізатор; 12,13, 14 – термопари

проміжного холодоносія забезпечується низькотемпературною холодильною машиною (модуль 1, рис.1), яка працює в позиційному режимі і незалежно від модуля 2 (рис. 2). При цьому, температурний режим в кристалізаторі встановлюється за допомогою комп'ютера в SCADA-системі та передається через інтерфейс на ПІД-регулятор, який забезпечує підтримання заданої температури проміжного холодоносія шляхом зміни положення триходового клапану за допомогою виконуючого механізму. В якості регулятора використовується ТРМ212, параметри якого визначаються за допомогою автоналаштування. Крім них, також вводяться параметри виконавчого механізму, зокрема повний час ходу засувки. Такий підхід забезпечує точність підтримання значення уставки регулятора на рівні $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$, як в постійному, так і змінному температурних режимах в кристалізаторі. В даному випадку температурний режим – це заданий алгоритм, згідно якого здійснюється автоматичне регулювання температури проміжного холодоносія протягом циклу виморожування.

Створена нова експериментальна установка дозволяє досліджувати вплив заданої постійної і змінної протягом циклу виморожування температури проміжного холодоносія на процеси тепло- і масообміну при виморожуванні розчинника з різних розчинів з метою їх опріснення, очищення, концентрування чи фракціонування. Крім того, мобільність установки дозволяє досліджувати ці процеси як на одиночній трубці, так і в умовах пучка труб, а також у умовах інтенсифікації процесів тепло- і масообміну різними способами.

Метою першого етапу експериментальних досліджень на створеній установці було підтвердження ефективності запропонованого способу виморожу-

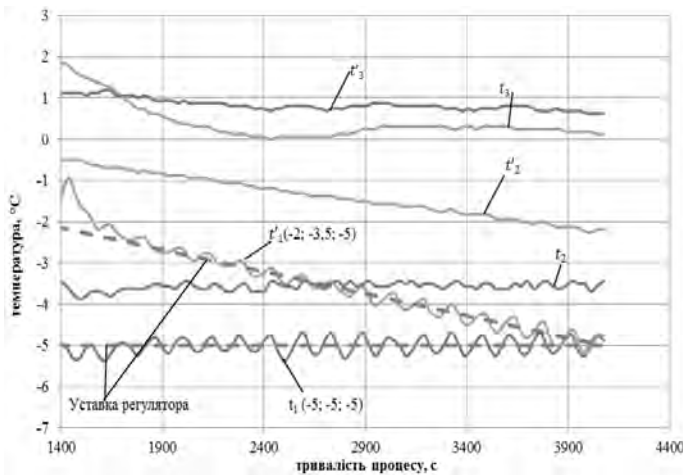
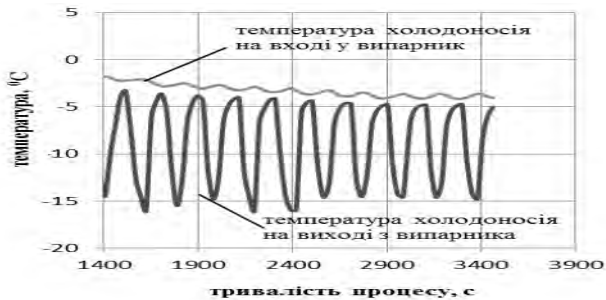
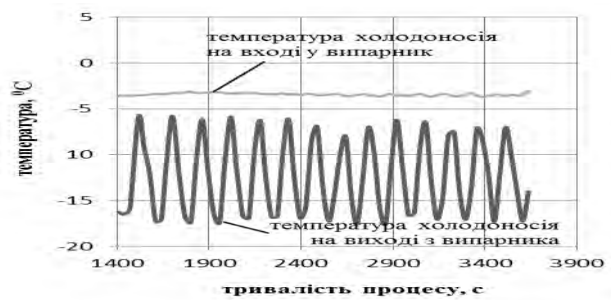


Рис. 3. Зміна температури розчину в часі при змінній і постійній температурі холодоносія

вання. Тому в даній статті представлені результати вивчення впливу температурного режиму проміжного холодоносія на зміну параметрів рідкої і твердої (вимороженої фази), а також енергетичних характеристик процесу опріснення води. Для оцінювання ефекту від запропонованого способу, отримані результати порівнювались з результатами, отриманими при проведенні процесу виморожування в умовах постійної протягом циклу температури проміжного холодоносія.



а)



б)

Рис. 4. Температура проміжного теплоносія на вході (1) і на виході (2) з пластинчастого теплообмінника холодильної машини: а) змінний температурний режим ($t_x = \{-2; -3,5; -5\}^{\circ}\text{C}$); б) постійний температурний режим ($t_x = -5^{\circ}\text{C}$)

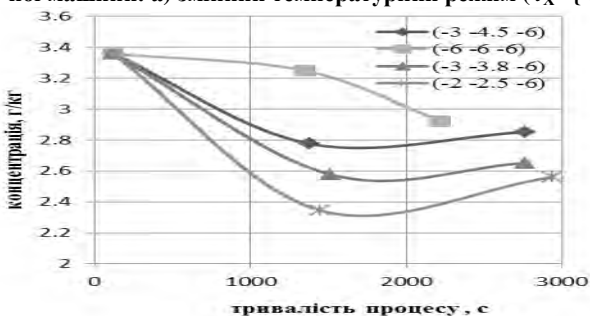


Рис. 5. Зміна концентрації солі в розплаві твердої фази

Дослідження проводились на модельних розчинах хлориду натрію з початковими концентраціями 2 г/кг, 4 г/кг, 8 г/кг, 20 г/кг і 40 г/кг. Початковий об'єм розчину в усіх дослідах становив 2,3 л, а початкова температура розчину – 18 °С.

Під час експериментальних досліджень використовувались наступні засоби вимірювання. Розхід проміжного холодоносія в установці визначався за допомогою лічильника. Температури проміжного хо-

лодоносія, твердої фази та розчину на різних відстанях від поверхні кристалізаторів визначалися за допомогою термопар, які є складовими автоматичної системи вимірювання температури [6]. Масова концентрація розчиненої речовини в розчині вимірювалась кондуктометром. Маса вихідного розчину, концентрату, розплаву твердої фази (опрісненої води) визначалася за допомогою технічних ваг, а маса наважок хімічно чистого хлориду натрію, необхідного для приготування модельних розчинів – за допомогою аналітичних ваг. Всі засоби вимірювання, які використовувалися в дослідженнях, є повіреніми.

На рис. 3 наведені графіки, що відображають вплив температури проміжного холодоносія на зміну температури розчину, який опріснюється. Цифри в дужках відповідають температурному режиму проміжного холодоносія. На рис.3 використанні наступні позначення: t_1, t_1' – температури проміжного холодоносія на вході в кристалізатор; t_2, t_2' – температури твердої фази на відстані два міліметри від поверхні кристалізатора; t_3, t_3' – температури розчину на відстані 12 мм від зовнішньої поверхні кристалізатора. Індекс «штрих» відповідає температурам, визначеним для змінного температурного режиму проміжного холодоносія.

Криві, що відображають зміну в циклі виморо-

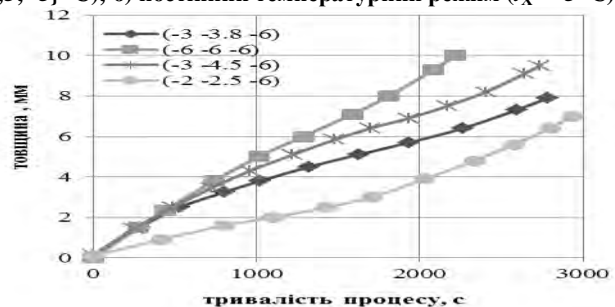


Рис. 6. Зміна товщини шару твердої фази

жування температури проміжного холодоносія на вході і на виході з пластинчастого теплообмінника холодильної машини для різних режимів наведено на рис. 4. Характер зміни масової концентрації солі в опрісненій воді (розплаві твердої фази), отриманій за певні проміжки часу при різних температурних режимах проміжного холодоносія, представлено на рис. 5. На рис. 6 показано вплив температури проміжного холодоносія на ріст твердої фази.

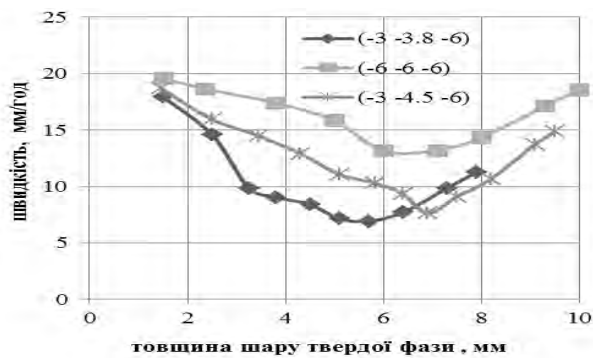


Рис. 7. Зміна швидкості росту вимороженої фази

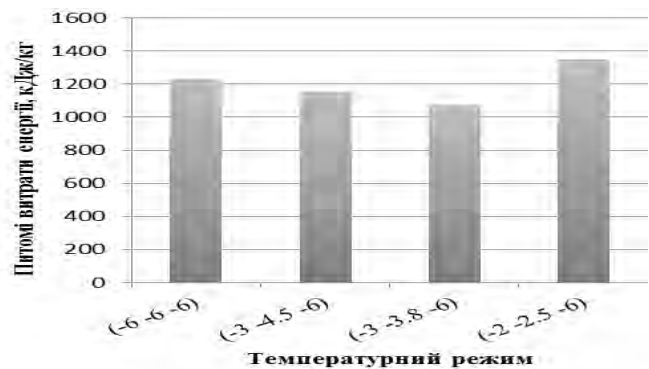


Рис. 8. Питомі витрати енергії на процес опріснення води виморожуванням

Графіки, представлені на рис. 3 - 6 відображають залежності, отримані при дослідженні процесу опріснення розчинів з початковою масовою концентрацією 4 г/кг.

На основі експериментальних даних були розраховані швидкість росту твердої фази та питомі витрати енергії на процес отримання 1 кг опрісненої води. Розрахунки здійснювались за рівняннями:

$$v = \frac{\delta}{\tau}, \quad (1)$$

де v - швидкість росту твердої фази, мм/год; σ - товщина шару твердої фази, мм; τ - тривалість процесу виморожування, год.

$$Q = \frac{G \cdot c_p \cdot (t'' - t') \cdot \tau}{m \cdot \omega}, \quad (2)$$

де Q - питомі витрати енергії на процес отримання 1 кг опрісненої води, кДж/кг; G - витрати проміжного холодоносія, кг/с; c_p - питома теплоємність проміжного холодоносія за постійного тиску, кДж/(кг·К). Значення показника c_p визначалося при середній температурі холодоносія із довідкової літератури [7]; t' , t'' - температури проміжного холодоносія на вході у випарник холодильної машини та на виході з нього, °С; τ - тривалість процесу опріснення розчину виморожуванням, с; m - маса опрісненої води, кг; ω - частка води (від загальної маси опрісненої води), що не містить домішок розчиненої речовини, в частках від одиниці.

Залежності, отримані на основі розрахунків за рівняннями 1 і 2, наведені на рис. 7 - 8.

Аналіз отриманих графічних залежностей дозволяє зазначити, що менша інтенсивність охолодження розчину і твердої фази при всіх змінних за різними алгоритмами температурних режимів (рис.3) забезпечує кращий ступінь опріснення води (рис.5) (тобто розплав твердої фази містить менше солі), в порівнянні з процесом виморожування при постійній в циклі виморожування температурі проміжного холодоносія. Разом з тим, товщина вимороженого шару твердої фази і швидкість її формування є більшими для

останнього температурного режиму (рис.6 та 7). Такий протилежний характер впливу температурних режимів, що порівнюються, на зміну важливих характеристик процесу ускладнює вибір алгоритму, за яким доцільно змінювати температуру проміжного холодоносія в процесі виморожування, щоб забезпечити як якісне опріснення води, так і більший її вихід при мінімальних витратах енергії. Більш зрозумілим стає вплив різних температурних режимів при порівнянні питомих витрат енергії. На основі результатів, представлених на рис. 8 можна зробити висновок, що застосування деяких змінних температурних режимів дозволяє досягнути бажаного ефекту. Але для визначення найбільш ефективного (по впливу на результат процесу опріснення) алгоритму зміни температури в кристалізаторі слід виконати оптимізацію температурних режимів.

Висновки

1. Розроблена нова експериментальна установка, яка дозволяє досліджувати вплив заданих змінних і постійних температурних режимів кристалізатора на процеси тепло- і масообміну при розділенні розчинів виморожуванням.

2. Виконані експериментальні дослідження по вивченню впливу змінних температурних режимів кристалізатора на процес опріснення розчину виморожуванням підтвердили ефективність такого способу проведення процесу. При цьому, ступінь опріснення розчинів можна підвищити на (12...18) %, а питомі витрати енергії зменшити на (10...13) % в порівнянні з базовими способами (при постійних температурних режимах).

3. Визначення алгоритмів зміни температури проміжного холодоносія в циклі виморожування для умов опріснення розчинів з різними початковими технологічними параметрами потребує виконання оптимізації температурних режимів. Важливою умовою для цього є створення адекватної математичної моделі процесів обміну енергією, теплотою і масою у створеній виморожуючій установці.

Поступила 11.2011

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Плотников, В.Т. Разделительные вымораживающие установки [Текст] / В.Т. Плотников, В.П. Филаткин - М.: Агропромиздат, 1987. - 352 с.
- Холодильні установки: Підручник [Текст] / І.Г. Чумак, В. П. Чепурненко, С. Ю. Ларьяновский та ін.; за ред. І.Г. Чумака. - 6-е вид. перероб. і доп. -О.: Рефпринтінфо, 2006. -560 с.
- Техника блочного виморожування [Текст] /О.Г. Бурдо, С.И. Милинчук, В.П. Мордынский, Д.А. Харенко. -О.: «Полиграф», 2011. -294 с.
- Коваленко, О.О. Дослідження процесів низькотемпературного опріснення природної та технічної води [Текст] / О.О. Коваленко, О.О. Євдокимова, О.Б. Василів //Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр.: -Донецьк, ДонНУЕТ. 2009. - Вип.21. - С. 243-248.
- Василів, О.Б. Розробка опріснювальної виморожуючої установки з регульованою температурою на межі розділу фаз [Текст] / О.Б. Василів, С.В. Іщенко //Сучасні проблеми холодильної техніки і технології: зб. тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції. -О.: ОДАХ, 2011. Ч.1. -2011. -С.159-161.
- Василів, О.Б. Програмно-апаратний комплекс для вимірювання й реєстрації температури в процесі опріснення води [Текст] / О.Б. Василів, Д.С. Тюхай //Наук. пр. /ОНАХТ. - О., 2009. - Вип. 36. Т. 2. -С.235-239.
- Богданов, С. Н. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ. [Текст] / Под ред. С. Н. Богданова. 4-е изд., перераб. и доп. - СПб.: СПбГАХИП, 1999. - 320 с.