

УДК 663:664.8.037.1

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-48-54

## ПЛІВКОВИЙ ОХОЛОДЖУВАЧ НАПОЇВ

Стручаєв М. І., к. т. н.,

Тарасенко В. Г., к. т. н.,

Бондар Д. В., магістрант

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** – стаття присвячена удосконаленню технології охолодження напоїв і наведено запропонований нами варіант вдосконалення способу з використанням плівкового теплообмінника швидкого охолодження, який можна використовувати для продажу фруктових, овочевих, плодоовочевих соків та інших напоїв таких як пиво, квас, лимонад.

**Ключові слова** – технологія охолодження напоїв, плівковий охолоджувач напоїв, яблучний сік, ефективність теплообміну.

*Постановка проблеми.* В даний час активно проводяться дослідження нових напрямків розробки охолоджувачів напоїв, що відповідають сучасному рівню розвитку харчової промисловості. Один з них - створення технології швидкісного охолодження [1, 2]. Ефективним способом охолодження напоїв є плівковий теплообмін. Цей спосіб дозволяє максимально прискорити процес у поєднанні з підвищеною простотою санітарно-гігієнічної обробки обладнання. [3, 4, 5, 6, 7].

*Аналіз останніх досліджень.* Все більшої популярності набувають ресторани і пункти швидкого харчування, в яких пропонують не тільки гарячі напої - чай, кава, а й охолоджені: які приготовані в охолоджувачах напоїв для фруктових, овочевих і плодоовочевих соків та інших напоїв, таких як пиво, квас, лимонад. В даний час спостерігається зацікавленість до досліджень із створення технологій швидкісного, проточного охолодження напоїв [8, 9, 10].

При звичайному охолодженні напоїв їх наливають в ємності, для прискорення процесу використовують мішалки [11]. Недоліком цього способу є тривалий час очікування. В апаратах іншого типу напій пропускають крізь змішувик [11, 12], що скорочує час очікування, однак різко погіршує якість санітарно-гігієнічної обробки обладнання, крім того, виникає небажана мікрофлора, пригнічується

дія ферментів, що різко знижує біологічну цінність соку або іншого напою.

Звичайний охолоджувач напоїв [9] рідини складається з теплоізольованого резервуара, в який вбудований змійовик випарника холодильної машини насоса, труби для подачі напою і розливного вентиля. Однак охолоджувач напоїв об'ємного типу має кілька недоліків: складна конструкція, наявність проміжного теплоносія, низька ефективність теплообміну через те, що теплопередача здійснюється в обсязі, а коефіцієнт теплопровідності води дуже незначний (0,45...0,51 Вт/(м·К)), що знижує коефіцієнт корисної дії і надійність установки в цілому, вони потребують складної санітарно-гігієнічної обробки обладнання.

*Постановка завдання.* Метою даної роботи є аналіз процесу теплообміну в охолоджувачах напоїв і способів швидкого зниження температури в охолоджувачах напоїв проточного типу для фруктових, овочевих і плодоовочевих соків та інших напоїв таких як пиво, квас, лимонад.

Завдання статті: удосконалення способу охолодження напоїв з використанням швидкого зниження температури соків, в якому шляхом введення в систему нових конструктивних елементів спрощується конструкція, усувається проміжний теплоносіє, підвищується ефективність теплообміну, збільшується коефіцієнт корисної дії і надійність установки в цілому, спрощується санітарно-гігієнічна обробка обладнання.

*Основна частина.* Запропонований нами охолоджувач напоїв проточного типу складається з теплоізольованого корпусу, в ньому змонтовані: змійовик випарника холодильної машини в циліндричній оболонці з харчової нержавіючої сталі і верхня кільцева камера для напою, яка встановлена із щільним зазором відносно циліндричної оболонки. Окремо розташований насос, труби для подачі напою, розливний вентиль.

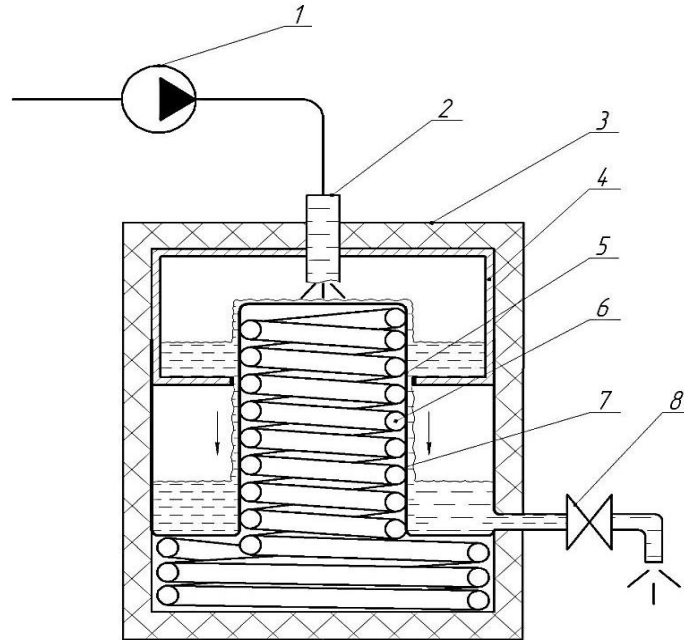
Функціональна схема плівкового охолоджувача напоїв проточного типу показана на рис.1.

Принцип дії запропонованого пристрою полягає в наступному. Напій, який необхідно охолодити, насосом 1 через трубу 2 для подачі напою, подається у встановлену в теплоізольованому резервуарі 3, верхню кільцеву камеру 4 для напою. У верхній кільцевій камері 4, яка охоплює циліндричну оболонку 7 змійовика 6 випарника холодильної машини, підтримується постійний рівень напою вище верхньої кришки циліндричної оболонки 7.

Визначимо критерії плівкового теплообміну та основні конструктивні параметри охолоджувача напоїв проточного типу.

В якості охолоджувальної рідини, для прикладу, виберемо яблучний сік. Температура яблучного соку: на вході  $t_1 = 35$  °С, на

виході  $t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Витрата яблучного соку  $-G_C = 31 \text{ кг / год}$  або  $0,52 \text{ л / хв}$ . Питома теплоємність яблучного соку  $c = 3,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ . Щільність яблучного соку  $\rho = 1051 \text{ кг/м}^3$ . Коефіцієнт теплопровідності яблучного соку  $\lambda = 0,554 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$  [10].



1 – насос, 2 – труба для подачі напою, 3 – теплоізолюваний корпус, 4 – верхня кільцева камера для напою, 5 – щілинний зазор, 6 – змійовик випарника холодильної машини, 7 – циліндрична оболонка змійовика, 8 – розливний вентиль.

Рис. 1. Функціональна схема плівкового охолоджувача напоїв.

Теплове навантаження для відводу теплоти від охолоджуваного яблучного соку [13]

$$Q_{я.с.} = G_{я.с.} \cdot c (t_1 - t_2) = 31 \cdot 3,2 \cdot (35 - 20) = 1488 \text{ кДж.} \quad (1)$$

Питома холодопродуктивність установки

$$q_0 = h_1 - h_4 = 340 - 268 = 72 \text{ кДж / кг.} \quad (2)$$

Коефіцієнт корисної дії плівкового теплообмінника -  $\eta = 0,9$ .

Тепловий баланс плівкового охолоджувача:

$$Q_{я.с.} = Q_{охл.}, \text{ или } G_{я.с.} \cdot c (t_1 - t_2) = G_{охл.} q_0 \eta. \quad (3)$$

З виразу теплового балансу [14] отримуємо значення витрати охолоджувача

$$G_{охл} = \frac{G_{я.с.} \cdot c \cdot (t_1 - t_2)}{\eta \cdot (h_1 - h_4)} = 31/3600 \cdot 3,2 \cdot (35-20)/(0,9 \cdot 120) = 0,038 \text{ кг/с.} \quad (4)$$

За значенням масової витрати визначаємо швидкість потоку яблучного соку, при діаметрі циліндричної оболонки зміювика випарника холодильної машини  $D = 0,2$  м:

$$W = \frac{G_{я.с.}}{\pi \cdot D^2 / 4} = (31/3600) \cdot 4 / (3,14 \cdot 0,2^2) = 0,27 \text{ м/с.} \quad (5)$$

Розрахуємо поверхню теплообміну:

$$F = \frac{Q_0}{k \cdot \Delta t} \cdot \tau, \quad (6)$$

де  $F$  – площа поверхні теплообміну,  $\text{м}^2$ ;  $Q_{охл}$  – витрата теплоти,  $\text{Дж/с}$ ;  $k$  – коефіцієнт теплопередачі,  $\text{Дж} / (\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\Delta t$  – різниця температур,  $\text{К}$ ;  $\tau$  – час охолодження,  $\text{с}$ .

$Q_{охл}$  тепловий ефект плівкового випарника, розраховуємо за спрощеною формулою:

$$Q_{охл} = G_{охл} q_0 \eta = 0,038 \cdot 72 \cdot 0,9 = 2,46 \text{ кДж/с.} \quad (7)$$

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{я.с.}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_o}}, \quad (8)$$

де  $\alpha_{я.с.}$  – коефіцієнт тепловіддачі яблучного соку.

Критерій Рейнольдса для потоку яблучного соку:

$$Re = \frac{W \cdot D \cdot \rho}{\mu} = 0,27 \cdot 0,2 \cdot 1051 / (109 \cdot 10^{-6}) = 502679 \quad (9)$$

де  $\rho_{я.с.}$  – щільність яблучного соку,  $1051 \text{ кг} / \text{м}^3$ ;

$\mu_{я.с.}$  – динамічна в'язкість яблучного соку,  $109 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

За значенням критерію Рейнольдса визначаємо критерій Прандтля і критерій Нусельта:

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\mu \cdot c \cdot \rho}{\lambda} = (109 \cdot 10^{-6}) \cdot 3,2 \cdot 1051 / 0,554 = 0,69. \quad (10)$$

$$Nu = 0,021 \cdot (Re^{0,3} \cdot Pr^{0,4}) = 0,021 \cdot 502679^{0,3} \cdot 0,69^{0,4} = 66,369. \quad (11)$$

Звідси, знаходимо коефіцієнт тепловіддачі від плівки яблучного соку до стінки  $\alpha_1$  знаходимо за спрощеною формулою для плівкового випарника:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda}{\delta_{nl}} = 0,554/0,0002 = 2770 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (12)$$

де  $\delta_{nl}$  – товщина плівки яблучного соку на циліндричній оболонці зміювика випарника холодильної машини,  $\delta_{nl} = 0,002$  м.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до охолоджуючої рідини  $\alpha_2$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda \cdot Nu}{D} = 0,0730 \cdot 400/0,2 = 145 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (13)$$

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою (7):

$$k = 1/(1/2770 + 0,002/62 + 1/145) = 147 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Тоді площа поверхні теплообміну циліндричної оболонки зміювика випарника холодильної машини за формулою (6), буде:

$$F = \frac{Q_0}{k \cdot \Delta t} \cdot \tau = 2460/(147 \cdot 45) \cdot 1 = 0,277 \text{ м}^2.$$

Висота циліндричної оболонки зміювика випарника холодильної машини

$$H = (F - \pi \cdot D^2/4) / \pi \cdot D = (0,277 - 3,14 \cdot 0,2^2/4) / (3,14 \cdot 0,2) = 0,39 \text{ м}. \quad (14)$$

*Висновки.* Аналіз рівняння (8) показує, що для плівкового випарника коефіцієнт тепловіддачі від плівки яблучного соку до стінки на порядок вище, ніж при об'ємній теплопередачі від соку до охолоджуючої рідини, тому доцільно використовувати охолоджувачі напоїв пропонованого типу.

Методика визначення критеріїв плівкового теплообміну і основних конструктивних параметрів охолоджувача напоїв проточного типу може бути використана при проектуванні обладнання.

Запропонований варіант удосконалення способу підготовки напоїв до продажу з використанням плівкового випарника для швидкого охолодження фруктових, овочевих, плодоовочевих соків та інших напоїв таких як пиво, квас, лимонад, на прикладі охолодження яблучного соку і пристрої охолоджувача напоїв проточного типу мають практичне значення і можуть бути використані у виробництві.

Література:

1. The Research of Heat Transfer Process During Freezing of Berries / I. A. Skrupskis, U. Gross, M. Rucins, A. Aboltins // Foodbalt-Proceedings-2008. P. 79-83.

2. Стручаєв М. І., Загорко Н. П., Тарасенко В. Г. Формування заморожених соків // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Вип. 18, т. 1. С. 246-252.

3. Heat-Mass Transfer in Layer of Berries During Freezing Process. Refrigeration for Sustainable Development / A. Aboltins, S. Voca, R. Galoburda, U. Gross, I. Skrupskis. Book of Abstracts, Czech Republic, Prague, 2011. 342 p.

4. Ялчак В. Ф., Стручаєв М. І., Тарасенко В. Г. Експериментальне визначення коефіцієнта теплопровідності при заморожуванні // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 1. С. 113-118.

5. Стручаєв М. І., Постол Ю. О. Підвищення енергоефективності охолоджувача молока // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2017. Вип. 7, т. 1. С. 243-247.

6. Стручаєв М. І., Змеєва І. М. Вплив коефіцієнтів місцевих опорів розливної системи на продуктивність // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2013. Вип. 13, т. 7. С. 21-27.

7. Шобингер У. Плодово-ягодные и овощные соки / пер. с нем. Ф. И. Шубич. Москва: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. 472 с.

8. Охолоджувач напоїв : пат. 129465 Україна : МПК А47J 31/50 (2006.01). № u201806145; заявл. 01.06.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20.

9. Устройство для охлаждения жидкости: пат. 2161290 Россия: МПК А01J9/04, В67D5/62; заявл. 16.03.2000; опубл. 27.12.2000.

10. Гинзбург А. С., Громов, А. И., Красовская Г. И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Москва: Пищевая промышленность, 1980. 356 с.

11. Iljins U., Kampuse S., Aboltins A. Third Nordic-Baltic agrometrics conference // Proceedings of the Conference. 2001. 70-75.

12. Heat Transfer Process Investigation in Frozen Berries with Changing Storage Temperature / S. Voca, A. Aboltins, I. Skrupskis, U. Gross, R. Ziedins // Journal of Agricultural Engineering. 2010. Vol. XLVII. P. 3-8.

13. Дідур В. А., Стручаєв М. І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві / за ред. В. А. Дідура. Київ: Аграрна освіта, 2008. 233 с.

14. Лабораторний практикум з холодильного устаткування для підготовки фахівців зі спеціальності обладнання переробних і харчових виробництв: навчальний посібник / В. Ф. Ялчак, М. І. Стручаєв, В. Г. Тарасенко, В. Г. Циб. Мелітополь.: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 203 с.

## ПЛЕНОЧНЫЙ ОХЛАДИТЕЛЬ НАПИТКОВ

Стручаев Н. И., Тарасенко В. Г., Бондарь Д. В.

*Аннотация* – статья посвящена усовершенствованию технологии охлаждения напитков, предложен вариант усовершенствования способа с использованием пленочного теплообменника быстрого охлаждения, который можно использовать для продажи фруктовых, овощных, плодоовощных соков и других напитков, таких как пиво, квас, лимонад: приведена методика определения критериев пленочного теплообмена и основных конструктивных параметров охладителя напитков проточного типа.

### FILM BEVERAGE COOLER

M. Struchaiev, V. Tarasenko, D. Bondar

#### *Summary*

The article is devoted to the improvement of the technology of cooling drinks, a variant of the improvement of the method using a fast-film heat exchanger for sale of fruit, vegetable juices and other beverages, such as beer, lemonade is proposed. At present, research on new trends in the development of beverage coolers, which corresponds to the current level of development of the food industry, is being actively pursued.

One of them is the creation of high-speed cooling technology. An effective way of cooling beverages is film heat exchange. This method allows to accelerate the process as much as possible in combination with the increased simplicity of sanitary-hygienic processing of equipment.

The purpose of this work is to analyze the process of heat exchange in the beverage coolers and the methods for rapidly reducing the temperature in the coolers of the flow type drinks for fruit, vegetable and fruit juices and other beverages such as beer or lemonade.

Improvement of the method of cooling beverages with the rapid reduction of juice temperature, in which the design is simplified by introducing into the system of new structural elements, eliminating the intermediate heat carrier, increasing the efficiency of heat transfer, increasing the efficiency and reliability of the installation as a whole, simplifies the sanitary and hygienic treatment of equipment.

The proposed improvement of the method of preparation of beverages for sale with the use of a film evaporator for the rapid cooling of fruit, vegetable, fruit and vegetable juices on an example of cooling apple juice and devices of a coolant of beverage of a flow type are practical and can be used in production.