

### Выводы

— физические свойства очищенного сахарного сока перед выпариванием требуют уточнения, особенно значение вязкости, которое, по всей видимости, является заниженным по сравнению с расчетными значениями, приведенными в литературе;

— предположение о том, что увеличение потерь давления при загрязнении происходит за счет уменьшения эквивалентного диаметра (высоты гофры) оправданно лишь частично, что отражает непосредственный осмотр загрязненной поверхности;

— в процессе эксплуатации имеет место изменение величины гидравлического трения, которое несет большую ответственность за увеличение потерь давления по мере загрязнения;

— на практике имеет место асимптотический характер роста сопротивления загрязнений в процессе эксплуатации теплообменного аппарата, обусловленный частичным уносом отложений при прокачивании сахарного сока через аппарат;

— увеличение числа каналов при проектировании (запас поверхности) ослабляет действие отложений, так для числа каналов 84 уменьшение высоты гофры до 2,66 мм приводит к потерям давления 80 КПа;

— увеличение числа каналов с другой стороны может привести к снижению скорости в каналах и фактическому уменьшению времени до остановки теплообменника на чистку.

### Литература

1. Гребенюк С.М. Технологическое оборудование сахарных заводов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.- 517 с.
2. Эффективный нагрев продуктов – основа совершенствования теплоиспользования на сахарных заводах / В.А. Колесников, А.Ю. Анисеев, С.А. Захаров, И.В. Овсянников // Сахар, 2007.- №7.- С. 36 - 38.
3. Пластинчатые теплообменники в промышленности //Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Г.Л. ХАВИН, О.П. АРСЕНЬЕВА. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004.- 232 с.
4. Реконструкция тепловой схемы сахарного завода с использованием пластинчатых теплообменных аппаратов // Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, ДЕМИРСКИЙ А.В., ХАВИН Г.Л. Інтегровані технології та енергозбереження //Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: ХДПУ. – 2003, №2.– С.3-9.
5. Демирский А.В., Хавин Г.Л. Реконструкция отделения очистки сахарного сока с применением пластинчатых теплообменников // Інтегровані технології та енергозбереження //Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008, №2.– С. 98 - 102.
6. Модернизация системы последовательно установленных подогревателей сахарного сока / О.П. Арсеньева, Бабак Т.Г., Демирский А.В., Хавин Г.Л. // Наукові праці ОНАХТ.– Одеса: 2011, Вип..39.– Том.2.– С.151 - 155.
7. Арсеньева О.П., Демирский А.В., Хавин Г.Л. Оптимизация пластинчатого теплообменника // Пробл. машиностроения.– 2011.– т.14, №1.– С.23 - 31.
8. Сагань И.И., Разладин Ю.С. Борьба с накипеобразованием в теплообменниках. - Киев: Техника, 1986.- 133 с.

УДК 66.046.8 (088.8)

## АНАЛІЗ І КЛАСИФІКАЦІЯ ІСНУЮЧИХ ТА ОБГРУНТУВАННЯ НОВОГО СПОСОБУ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

Цуркан О.В., к.т.н., доцент, Міщук Т.О., аспірант  
Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця

*Проведено детальний аналіз і класифікація існуючих способів та обладнання для теплової обробки харчової сировини з метою встановлення подальших напрямків їх вдосконалення.*

*The detailed analysis and classification of existing methods and equipment for thermal processing of food raw materials was performed to determine future directions for their improvement.*

**Ключові слова:** харчова сировина, консерви, тепла обробка, автоклав.

**Постановка проблеми.** Основна мета консервного виробництва – вироблення харчових продуктів, що мають тривалі терміни зберігання при збереженні харчових і смакових якостей.

Сировиною для виробництва консервів служать фрукти, овочі, молоко, риба й інші продукти, що за звичайних умов мають обмежені терміни зберігання. В Україні виробляється понад 1000 найменувань консервів з рослинної сировини, риби і рибопродуктів та продуктів тваринництва. Це томатопродукти, соки, компоти, джеми, овочеві, м'ясо-рослинні, рибні, молочні, м'ясні та інші види консервів.

Теплова стерилізація є найбільш розповсюдженим і надійним способом консервування харчових продуктів. Хоча цей спосіб з'явився ще в кінці XVIII – на початку XIX століття, технологія процесу постійно удосконалюється. В основному, зміни направлені на покращення якості готової продукції, яку визначають шляхом зовнішнього огляду банок і за органолептичними, хімічними та бактеріологічними показниками вмісту консервів та збільшення економічної ефективності процесу обробки.

**Аналіз відомих способів та обладнання для автоклавної обробки харчової сировини.**

Стерилізацію герметично закупорених банок з продуктом при температурі понад 100°C здійснюють у вертикальних автоклавах періодичної дії Б6-КАВ-2 та Б6-КАВ-4. З 1987 року їх замінили на АВ-2 і АВ-4 [1]. Стерилізація у цих автоклавах може здійснюватися у паровому та водяному середовищах. Постійний тиск в системі створюється і підтримується повітряним компресором.

Заповнені банками корзини занурюють в автоклав (рис. 1) із попередньо підігрітою до 40 – 50 °C водою [2]. Після щільного закріплення кришки 1 відкривають паровий вентиль. Продувний кран 15 для випуску повітря закривають при появі потоку сконденсованої пари і води.

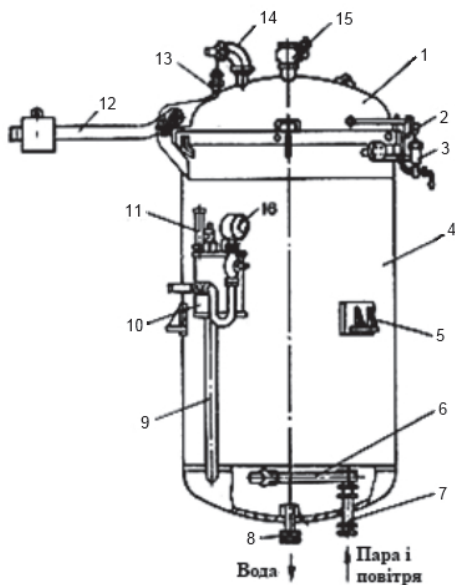


Рис. 1 – Вертикальний автоклав АВ-2

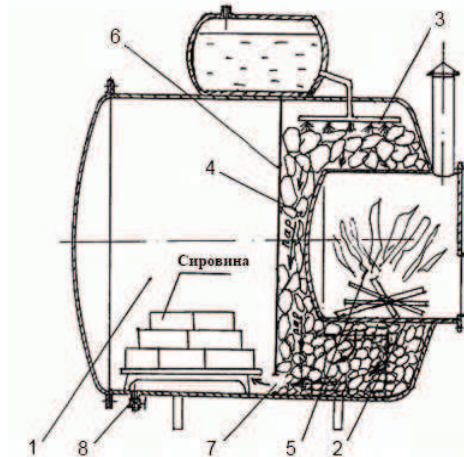


Рис. 2 – Автоклавний пароутворювач

Протягом перших 20 – 25 хв. нагрівання одночасно з підвищенням температури починає підвищуватись тиск, що слугує протидією тиску, який утворюється всередині кожної банки. Величина тиску в автоклаві строго встановлена для кожного виду консервів і розміру банок та запобігає зриву кришок з банок. Регулюють її шляхом випуску чи затримки води в автоклаві.

Охолодження банок з консервами після закінчення стерилізації проводять обережно в самому автоклаві. Для цього в автоклав подають не холодну, а підігріту воду тільки для зниження температури і через 20 – 25 хв. поступово зменшують тиск. При температурі охолоджуючої води 40 – 45°C, що виходить з автоклава, тиск зменшують до нульового значення, відкривають автоклав і вивантажують корзини з банками.

Недоліком таких автоклавів є те, що їх неможливо експлуатувати без стороннього джерела теплової енергії (пари), та мають місце великі втрати тепла при транспортуванні пари від джерела постачання (котельні) до автоклава.

Автоклавний пароутворювач (рис 2) включає герметичну емність автоклава, в яку встановлений парогенератор, що складається з розпилувача рідини, накопичувача теплової енергії та випромінювача. При цьому, випромінювач теплової енергії має випуклу форму, яка входить в емність автоклава. Між емністю автоклава і парогенератором встановлена перекладина з отвором, а накопичувач теплової енергії

розташований між випромінювачем теплової енергії і перекладною. Установка дозволяє більш ефективно використовувати теплову енергію за рахунок ефекта “парової бані”, а також попередити інтенсивне зношування обладнання при його експлуатації [3].

Використання такої установки супроводжується значними втратами теплоти з відпрацьованою парою, що знижує її загальну енергетичну ефективність.

Експлуатація автоклавів можлива і без стороннього джерела теплової енергії, а зменшення втрат енергії досягти за рахунок введення в корпус автоклава теплоелектронагрівачів (ТЕНів). Це забезпечує збільшення і підтримку температури вище 100°C без подачі водяної пари та економію енергії за рахунок зменшення втрат електроенергії в мережі живлення, в порівнянні з втратами теплоти при транспортуванні пари від котельні до автоклава [4]. Автоклави заповнюють консервами, наповнюють водою так, щоб вода повністю закрила банки, і герметично закривають кришкою. Потім вмикають електроживлення і подають напругу на ТЕНи. Вода нагрівається до температури стерилізації. Одночасно з підвищенням температури зростає тиск в автоклаві, що дозволяє досягнути режиму стерилізації, який передбачено згідно технологічного регламенту.

Однак, недоліком відомого автоклава є нерівномірність прогріву нагрівальними елементами його порожнини, а отже, і оброблюваних консервів. Дана конструкція нагрівальних елементів не може забезпечити низькотемпературне нагрівання, а тому для забезпечення технологічного процесу необхідно розігрівати нагрівальні елементи до високої температури. При цьому виникає значна різниця температур між нагрівальним елементом і оброблюваними консервами. Велика кількість теплоти, що виділяється у автоклаві може сприяти створенню пожежонебезпечної ситуації.

Система нагріву у автоклаві (рис. 3) перешкоджає перегріву і відповідає вимогам пожежобезпеки [5]. Вздовж корпусу 1 автоклава встановлені рейкові напрямні з візком для пересування оброблюваних виробів, а також нагрівальні елементи, тепловий екран, теплообмінник і вентилятор.

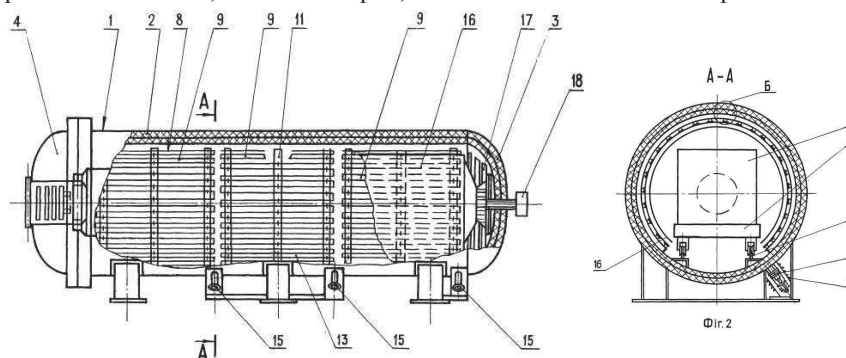


Рис. 3 – Автоклав з нагрівальними елементами

Розташування нагрівальних елементів 8 на внутрішній поверхні по всій довжині циліндричної частини корпусу автоклава дозволяє рівномірно нагрівати автоклав і виріб. Після герметизації автоклава з виробом 7 через герметичні струмоводи 14 подають напругу на нагрівальні елементи 8, які за допомогою конвекції передають тепло на тепловий екран 16. Вентилятор 18 створює циркуляцію потоку повітря у робочій зоні, яка обмежена тепловим екраном 16 і під час нагріву рівномірно передає тепло виробу 7, що встановлений на візку 6. Виріб 7 витримується певний час при заданій температурі. Після закінчення технологічного процесу нагрівальні елементи 8 вимикаються. Потім вмикається теплообмінник 17, який охолоджує повітря. Сконденсована рідина видаляється з автоклава.

Слід зауважити, що значні витрати електроенергії на процеси нагріву та охолодження повітря, металоконструкції автоклава та оброблюваних виробів, які здійснюються за рахунок нагрівальних елементів, теплообмінника та вентилятора, суттєво знижують загальну енергоефективність установки.

За кордоном набули більшого поширення автоклави періодичної дії горизонтального типу, в яких рівномірне прогрівання забезпечується інтенсивною циркуляцією теплоносія (статичний тип) чи обертанням візків (ротатійний тип) в процесі стерилізації. Найбільші переваги демонструє спосіб зрошення водою, вперше запропонований і реалізований французькою фірмою „Steriflow”. Консерви, розміщені у автоклавних корзинах, обробляються струменями гарячої води з повітряним протитиском, яка текучою плівкою покриває кожну упаковку, забезпечуючи інтенсивний і рівномірний прогрів вмісту консервів. Цей метод можна назвати повітряно-крапельним, оскільки він відрізняється від стерилізації в автоклавах занурюваного типу, в яких обробка здійснюється безпосередньо у водному середовищі [6].

Одним з основних елементів конструкції автоклава (рис. 4) є пластинчастий теплообмінник 6, який розташований поза автоклавом і з'єднаний з ним трубопроводом 5. Циркуляційний насос 9 створює рух робочого середовища по трубопроводу через теплообмінник при проведенні процесу стерилізації. У верхній частині автоклава розміщений розподільчий пристрій 3. Завдяки високій кратності циркуляції, що становить близько 400 разів протягом однієї години, забезпечується рівномірна обробка всієї стерилізованої сировини. Використана в процесі вода збирається у піддоні 12. Роликові напрямні 11 призначені для пересування корзин з продукцією при завантаженні і розвантаженні автоклава [1].

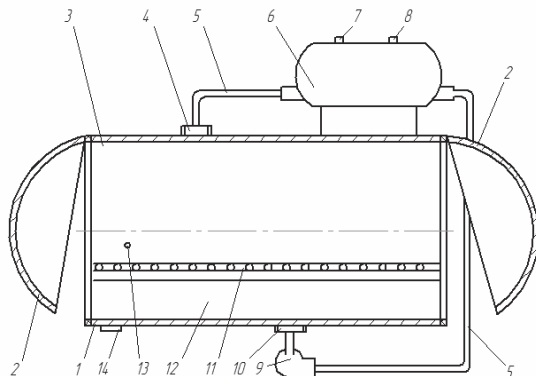


Рис. 4 – Автоклав фірми “Steriflow”

Основними недоліками цього автоклава є значні питомі енерговитрати на багатократну циркуляцію робочого середовища – води, складність регулювання і підтримання заданої температури і тиску в робочій камері, значні габаритні розміри теплообмінника.

В автоклаві фірми “I. Lagarde” (рис. 5) робочим середовищем є пара або пароповітряна суміш. На відміну від автоклава, що показаний на рис. 4, в запропонованій схемі відсутній зовнішній теплообмінник. Однак, за допомогою потужного вентилятора 9 створюються рівні умови теплової обробки по всьому об'єму автоклава. Заданий тиск робочого середовища підтримується за допомогою вентилів подачі 2 і випуску 3 повітря. Подачу пари в автоклав здійснюють за допомогою вентиля 7. При охолодженні холодна вода вентилем 4 подається в розпилюючий пристрій, а вентилем 5 – у розпилювач. Через вентиль 8 з автоклава видаляють конденсат і охолоджуючу воду. Привод 6 забезпечує обертання вентилятора, який створює інтенсивне перемішування пароповітряної суміші, а отже, і вирівнювання температурного поля по всьому об'єму автоклава.

По закінченню процесу стерилізації в автоклаві відбувається заміна пароповітряного середовища на чисто повітряне, після чого починається безпосереднє охолодження консервів холодною або рециркулюючою водою. В другому випадку процес охолодження м'якший, оскільки охолоджувальна вода спочатку змішується з конденсатом у нижній частині автоклава, а потім подається у розподільчий пристрій для зрошення оброблюваних банок з продукцією [1].

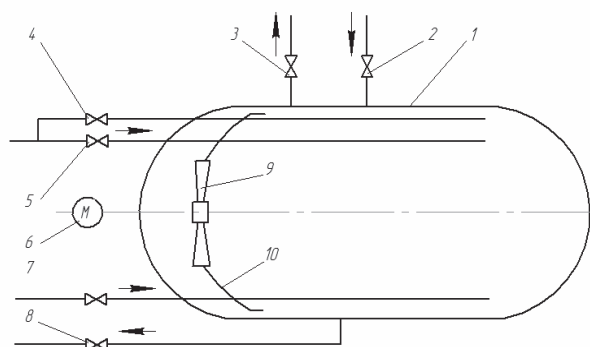


Рис. 5 – Автоклав фірми “I. Lagarde”

Недоліками цього автоклава є необхідність використання зовнішнього парогенеруючого пристрою та відповідного устаткування для дозованої подачі пари і повітря під заданим тиском, що суттєво ускладнює конструкцію і збільшує загальні габаритні розміри основного агрегату та допоміжного обладнання.

Використання на консервних підприємствах різноманітних конструкцій обладнання для завершальної теплової обробки харчової сировини (автоклавів, пастеризаторів та стерилізаторів), застосування різних нагріваючих та охолоджуючих робочих середовищ, які відрізняються за способами впливу на оброблювану продукцію або за принципом роботи, вимагає складання класифікації існуючих апаратів, яка наведена в таблиці.

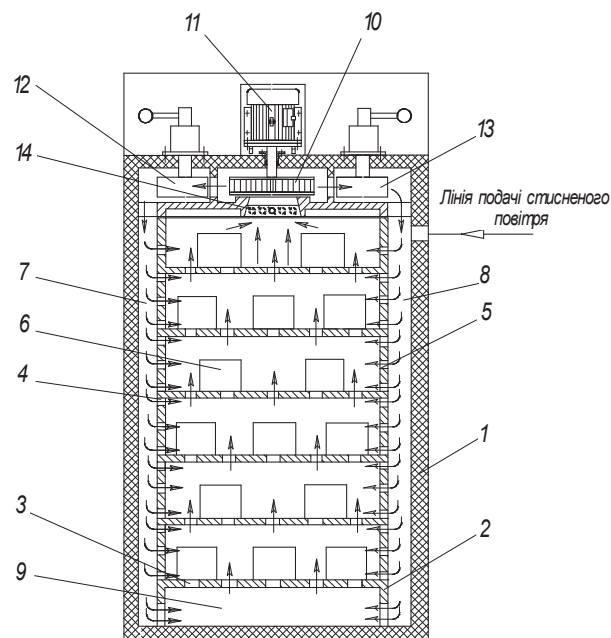
Таблиця 1 – Класифікація обладнання для теплової обробки харчової сировини

№ з/п	Класифікаційна ознака	№ з/п	Тип обладнання
1	За принципом дії	<b>1.1</b>	<b>Періодичної дії</b>
		1.2	Безперервної дії
2	За розміщенням	2.1	Вертикальні
		<b>2.2</b>	<b>Горизонтальні</b>
3	За способом завантаження тари з продуктом	3.1	Насипом
		3.2	В корзинах
		3.3	В сітках
		3.4	На візках
		3.5	У касетах
		<b>3.6</b>	<b>На стелажах</b>
4	За числом корзин, що завантажуються	4.1	З однією корзиною
		4.2	З двома корзинами
		4.3	З чотирма корзинами
5	За тиском середовища, в якому відбувається стерилізація	5.1	Обладнання, що працює при атмосферному тиску (відкритого типу)
		<b>5.2</b>	<b>Обладнання, що працює при тиску, який перевищує атмосферний</b>
6	За видом середовища, в якому відбувається стерилізація	6.1	Водяні
		6.2	Парові
		6.3	Пароповітряні
		6.4	Пароповітряні з водяним зрошенням
		<b>6.5</b>	<b>Повітряні</b>
		6.6	Газові
7	За способом циркуляції теплоносія	<b>7.1</b>	<b>З примусовою циркуляцією</b>
		7.2	З природною циркуляцією
8	За способом герметизації	8.1	З механічним затвором рідини
		8.2	З гідростатичним затвором рідини
9	За способом переміщення тари з сировиною при стерилізації	9.1	Конвеєрне обладнання
		9.2	Роторне обладнання
		<b>9.3</b>	<b>Обладнання, в якому тара з продукцією знаходиться нерухомо</b>
10	За видом теплогенеруючих пристроїв	10.1	Електричні (тенові, електродні)
		10.2	Контактного нагріву
		10.3	Парогенератори
		<b>10.4</b>	<b>Аеродинамічні</b>
11	За способом керування	11.1	З ручним
		11.2	З автоматичним
12	За пристроєм керування	<b>12.1</b>	<b>З керуванням приводним двигуном</b>
		12.2	З дросельним керуванням
		12.3	З комбінованим керуванням
13	За задачею керування	13.1	Стабілізуюче
		13.2	Програмне
		13.3	Слідкуюче

Жирним шрифтом виділені технологічні та конструктивні ознаки обладнання, яке є перспективним для подальшого вдосконалення і набуває розвитку в лабораторії кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв імені професора П.С. Берника Вінницького національного аграрного універ-

ситету. За даною класифікацією його можна віднести до установок періодичної дії з горизонтальним розміщенням робочої камери, яке працює при тиску, що перевищує атмосферний, а тара з продуктом розміщується на стелажах і перебуває в повітряному середовищі з аеродинамічним нагрівом.

В роботах [7–9] нами було розглянуто існуюче обладнання аеродинамічного нагріву та варіанти його використання у технологічних процесах різних галузей промисловості, а також запропоновано розроблене обладнання – автоклав із рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем для теплової обробки харчової сировини (рис. 6).



**Рис. 6 – Автоклав з аеродинамічним нагрівом для теплової обробки харчової сировини**

Відповідно до технології стерилізації в теплоізольованій герметичній робочій камері 1 на протязі визначеного часу створюється та підтримується необхідний температурний режим в результаті використання рециркуляційного аеродинамічного нагріву потоку теплоносія та його тиску за допомогою компресора.

Завдяки спільному застосуванню рециркуляційно-аеродинамічного нагрівача із підтримувачем необхідного тиску – компресорним агрегатом досягається рівномірність нагріву по всьому об'єму робочої камери, можливість точного регулювання температури і необхідного тиску циркулюючого теплоносія. Окрім того, такі автоклави є більш прості у виготовленні, компактні та повністю пристосовані до умов автоматизації у порівнянні з відомими електричними чи паровими теплогенеруючими пристроями [1-6].

#### **Висновки**

В результаті проведення детального аналізу і створення класифікації існуючих способів та обладнання для теплової обробки харчової сировини було встановлено подальші напрямки їх вдосконалення, зокрема, поставлено задачі забезпечення рівномірності нагріву сировини по всьому об'єму робочої камери, отримання можливості точного регулювання температури і необхідного тиску циркулюючого в робочій камері теплоносія. Проведений аналіз надав можливість вибору для подальшого дослідження і вироблення практичних рекомендацій для виробничого застосування автоклавів із аеродинамічним нагрівом для теплової обробки харчової сировини, як таких, що мають технічні переваги у порівнянні із відомим серійним обладнанням для стерилізації консервів.

#### **Література**

1. Верхівкер Я.Г. Стерилізаційне обладнання консервної промисловості та його ексергетичний аналіз / Я.Г. Верхівкер. – К.: НМК ВО, 1991. – 56 с. – (Препринт).
2. Наместников А.Ф. Консервирование плодов и овощей в колхозах и совхозах / А.Ф. Наместников. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 189 с.
3. Пат. 2288259 Российская Федерация, МПК С 11 В 9/00, С 11 В9/02, F 22 В 11/00. Автоклавный паробразователь / заявитель и патентообладатель Ю.П. Благодаров. – № 2005104652/13; заявл. 21.02.2005; опубл. 10.08.2006.

4. Пат. 279, МПК В 01 J 3/04, А 23 L 3/10. Автоклав / П.І. Колінчук, С.П. Колінчук; власник колективне підприємство - Центр ділового та наукового співробітництва "Колін". – № 98041944; заявл. 25.12.1998; опубл. 25.12.1998, Бюл. № 6.
5. Пат. 65058. МПК<sup>6</sup> В 01 J 3/04. Автоклав / Полетун Л. Ю., Резніков М. І., Степанішина Л.Г., Попій О.В., Харченко А.П. – № 2003054652; заявл. 22.05.2003; опубл. 15.03.2004, Бюл. № 3.
6. Микулик Н.Н. Современные автоклавы французской фирмы "Стерифлоу" / Н.Н. Микулик, Т.Н. Крылова // „Рыбпром”. – 2007. – №4. – С. 36-37.
7. Цуркан О.В. Перспективи використання аеродинамічного нагріву для автоклавної обробки харчової сировини / О.В. Цуркан, Т.О Міщук // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Серія "Технічні науки". Випуск 103. – 2010. – С. 136-142.
8. Пат. 63561. МПК В 01 J 3/04. Спосіб автоклавної обробки матеріалів і виробів / Н.Л. Правдюк, О.В. Цуркан, Т.О. Міщук, І.В. Коц; власник Вінницький національний аграрний університет. – № 201103703; заявл. 28.03.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.
9. Пат. 59636. МПК В 01 J 3/00. Установа для баротермічної обробки харчової сировини / Коц І.В., Цуркан О.В., Міщук Т.О.; власник Вінницький національний аграрний університет. – № 201012947; заявл. 01.11.2010; опубл. 25.05.2011, Бюл. № 10.

УДК 536.24.02

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРООБРАЗОВАНИЯ НА ПРОФИЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

<sup>1</sup>Бурдо О.Г., <sup>2</sup>Косой Б.В., <sup>2</sup>Слободенюк М.И., <sup>2</sup>Кондратенко А.А.,  
<sup>1</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий,  
<sup>2</sup>Одесская государственная академия холода

*Приводятся описание экспериментального стенда и методики исследования интенсивности теплоотдачи при парообразовании на профилированных поверхностях. Анализируются возможности создания компьютеризированных комплексов для изучения процессов. Представлены результаты тепловых исследований процессов парообразования на профилированных поверхностях.*

*Description of the experimental setup and the methods of investigation of the intensity of boiling heat transfer on profiled surfaces. Considered possibilities to create computerized systems for studying heat transfer processes. The results of thermal evaporation processes on profiled surfaces are presented.*

**Ключевые слова:** кипение, капиллярная поверхность, автоматизированный эксперимент.

**Введение.** Проблема интенсификации процессов парообразования являются актуальной в различных отраслях техники. Это выпарное оборудование пищевых производств, испарители холодильных машин, системы охлаждения теплонагруженных элементов атомной энергетики, силовой электроники и пр. Особое значение эта проблема имеет при решении задач создания компактных систем охлаждения и термостабилизации для летательных аппаратов, в космических технологиях, в технике тепловых труб.

Известно, что специальная обработка поверхности теплообмена в несколько раз способна повысить коэффициент теплоотдачи в аппаратах с однофазным теплоносителем. Различного рода мелкоребристые, волокнистые, спеченные поверхности используются для совершенствования аппаратов в холодильной технике и тепловых трубах [1]. Среди этого разнообразия конструкций поверхностей теплообмена особые перспективы имеют испарители с регулярной профилированной структурой. Именно такие конструкции испарителей могут иметь предельные теплотехнические и гидравлические характеристики для конкретных режимов работы. Форма и размеры профилированных каналов являются удобными параметрами для тепло-гидродинамической оптимизации конструкции. Вместе с тем, необходимый уровень исследований профилированных испарителей не достигнут, основной их результат сведен в [1]. Это объясняется, вероятно, сложностью экспериментального моделирования процессов, его зависимостью от многочисленных факторов. Исследования данной работы направлены на разработку методов и универсального стендового оборудования для комплексного изучения механизмов и кинетики парообразования на профилированных поверхностях теплообмена.