

# ЦУКОР УКРАЇНИ

№12 (96) 2013

*З Новим роком та Різдвом Христовим!*

*Харьков*  
**Автомат**

ООО «САХАВТОМАТ»



УКРАЇНА, 61001, Харьков, ул. Плехановская, 20-А  
тел./факс: +38 (057) 754-47-92, моб.: +38 (063) 630- 51-02  
info@sakhavtomat.com

[www.sakhavtomat.com](http://www.sakhavtomat.com)

## ЦУКОР УКРАЇНИ

№12(96)'2013

науково-практичний галузевий журнал

## Засновники:

- Національна асоціація цукровиків України
- Український НДІ цукрової промисловості
- Національний університет харчових технологій

## Головний редактор –

Василенко С.М., д.т.н.

## Відповідальний редактор –

Полтораєк В.В.

## Редакційна колегія:

- Бутнік-Сіверський О.Б., д.е.н.
- Борисюк П.Г., к.с.-г.н.
- Зайчківський А.О., д.е.н.
- Загородній Г.Д., акад. АІНУ, гол. Ради НАЦУ «Укрцукор»
- Іванов С.В., д.х.н.
- Мостенська Т.Л., д.е.н.
- Калініченко М.Ф. (заст. гол. ред.)
- Ладанюк А.П., д.т.н.
- Логвін В.М., д.т.н.
- Мирончук В.Г., д.т.н.
- Прядко М.О., д.т.н.
- Рева Л.П., д.т.н.
- Роїк М.В., акад. УААН, д.с.-г.н.
- Сінгаєвський І.О., д.е.н.
- Сичевський М.П., д.е.н.
- Федулова І.В., д.е.н.
- Хоменко М.Д., д.т.н.
- Хомічак Л.М., д.т.н., член-кор. НААНУ
- Чернявська Л.І., д.т.н.
- Штангеев В.О., д.т.н.
- Штангеев К.О., к.т.н.
- Юхновський О.І., к.с.-г.н.
- Ярчук М.М., к.е.н., гол. правл., НАЦУ «Укрцукор»

## Редакція:

Сидоренко Н.В.

## Верстка:

Кондратьєв Д.В.

## Адреса редакції:

вул. Б. Грінченка, 1, оф. 522,  
м. Київ, 01001, Україна  
Тел./факс: (044) 279-54-29  
ukr.sugar.journal@gmail.com

Матеріали номера розглянуті та рекомендовані до публікації Науково-технічною радою УкрНДЦП - протокол №2 від 12.06.2013 р.

Підписано до друку 25.12.2013 р.  
Формат: 60X84 1/8. Друк офсетний.  
Тираж 600 прим. Замовлення №35

Друкарня: ТОВ «Друкарня Вольф», 04073, Україна, м. Київ, вул. Сирецька, 28/2

Редакція не несе відповідальності за зміст рекламних статей та оголошень

Свідотство про державну реєстрацію КВ №16915-5685Р від 19.08.2010 р.

© «Цукор України», 2013

## ЗМІСТ

## НОВИНИ

Україна .....	3
СНД .....	6
Світ .....	7

## ТЕХНІКА &amp; ТЕХНОЛОГІЇ

Вплив повертань на процес попереднього вапнування [Ю.М. Резніченко, Л.М. Хомічак, І.Б. Петриченко, В.Ю. Выговський] .....	8
---	---

Розвиток наукових досліджень кафедри теплоенергетики та холодильної техніки НУХТ в галузі цукрових теплотехнологій [М.О. Прядко, С.М. Василенко, О.С. Бессараб, В.П. Петренко, Я.І. Засядько] .....	11
---	----

Дослідження морфологічної структури різних видів кукурудзяного крохмалю [О.В. Грабовська, В.В. Літвяк] .....	19
--	----

Вплив сортових особливостей на природні комплексні сполуки топінамбура [О.І. Сидорченко, Т.М. Захарченко, М.М. Сакун] .....	25
---	----

## ЕКОЛОГІЯ

Ідентифікація та оцінка екологічних ризиків під час вирощування цукрових буряків [Ю.В. Слива, О.І. Безжон] .....	28
--	----

## СОДЕРЖАНИЕ

## НОВОСТИ

Украина .....	34
СНГ .....	37
МИР .....	38

## ТЕХНОЛОГИИ &amp; ТЕХНОЛОГИИ

Влияние возвратов на процесс предварительной дефекации [Ю.М. Резниченко, Л.М. Хомичак, И.Б. Петриченко, В.Ю. Выговский] .....	39
---	----

## ЭКОЛОГИЯ

Идентификация и оценка экологических рисков при выращивании сахарной свеклы [Ю.В. Слива, А.И. Безжон] .....	42
---	----

Журнал «Цукор України» включено до переліку наукових фахових видань України у галузі технічних наук та економічних наук (економіка та управління підприємствами) відповідно до Постанови ВАК України від 26.01.2011 №1-05/1

# Розвиток наукових досліджень кафедри теплоенергетики та холодильної техніки НУХТ в галузі цукрових теплотехнологій

**М.О. Прядко**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій

**С.М. Василенко**, доктор технічних наук, професор, кафедра теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій, НТУУ «КПІ»

**О.С. Бессараб**, кандидат технічних наук, професор, кафедра технології консервування, Національний університет харчових технологій

**В.П. Петренко**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій

**Я.І. Засядько**, кандидат технічних наук, професор, кафедра теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій

Наведений історично-систематизаційний огляд науково-дослідницької роботи, проведеної науково-педагогічним складом кафедри теплоенергетики та холодильної техніки НУХТ в царині тепломасообмінних та гідродинамічних процесів, що відбуваються в елементах тепломасообмінних апаратів цукрової промисловості.

*Ключові слова:* дослідження, тепломасообмін, гідродинаміка, тепломасообмінні апарати.

Підготовку інженерів-промтеплоенергетиків у Київському технологічному інституті харчової промисловості (сьогодні-Національний університет харчових технологій) розпочато в 1954 році, а перший випуск 43-х інженерів відбувся в 1960 році.

Це стало відповіддю вищої школи на «енергетичну революцію» в буряко-цукровій галузі народного господарства. Вона була обумовлена переходом від низьких параметрів пари після парових котлів та парових машин, як основного джерела механічної енергії, необхідної для приводу насосного парку і обладнання через трансмісійні приводи, і технологічної пари, до середніх параметрів пари після парових котлів і турбогенераторних установок, тобто до ТЕЦ, як основного джерела пари для технологічних потреб заводу та електричної енергії для індивідуальних електроприводів насосів та обладнання.

Практична підготовка інженерів-промтеплоенергетиків в КТІХП була зорієнтована на енергетичну базу цукрових заводів. Її унікальність, з огляду на наявність такого джерела теплової і електричної енергії як ТЕЦ та складної і досконалої системи теплоенерговикористання, забезпечувала належний рівень підготовки.

Створення в 1957 році випускової кафедри теплоенергетики поставило на порядок денний необхідність визначитись з основним напрямом наукової діяльності, який забезпечив би створення і розвиток наукової школи кафедри.

Таким науковим напрямом кафедри стало дослідження робочих процесів в випарниках і підігрівниках харчових виробництв з метою їх удосконалення та створення нових конструкцій, а також оптимізація на їх базі систем теплоенерговикористання цукрової, спиртової та інших галузей промисловості.

Стратегічним напрямком наукової роботи кафедри з приходом до неї в 1957 році Н.Ю. Тобілевича стало дослідження теплогідродинамічних процесів в робочих каналах випарних апаратів (ВА) з багатократною природною циркуляцією.

У науковому багажі Н.Ю. Тобілевича було рівняння М.О.Кичігіна - Н.Ю.Тобілевича [1], одержане в результаті узагальнення осереднених експериментальних даних для оптимальних п'єзометричних рівнів, яким відповідав максимум середньої по висоті труби інтенсивності тепловіддачі від стінки до киплячого розчину (формула 1):

$$Nu = 3,25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0,6} \cdot K_p^{0,7} \cdot Ga^{0,125} \quad (1)$$

$$\text{де: } Pe = \frac{q \cdot l^*}{r \cdot \rho_2 \cdot a}; \quad Ga = \frac{q \cdot l^{*3}}{\nu^2}; \quad Nu = \frac{\alpha \cdot l^*}{\lambda}; \quad K_p = \frac{p \cdot l^*}{c}; \quad l^* = \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_1 - \rho_2)}}$$

$p$  - тиск насичення,  $q$  - тепловий потік,  $a$  - температуропровідність,  $\rho_1$  і  $\rho_2$  - густина, відповідно, ррчину і пари,  $\sigma$  - поверхневий натяг.

Рівняння (1) має таку ж структуру як і запропоноване М.О. Кичигінім і Н.Ю. Тобілевичем рівняння для визначення інтенсивності тепловіддачі при кипінні розчинів у великому об'ємі (формула (2):

$$Nu = 1,04 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0,7} \cdot K_p^{0,7} \cdot Ga^{0,125} \quad (2)$$

Збільшенням постійного коефіцієнта у формулі (1) порівняно з формулою (2) враховано інтенсифікуючий вплив в умовах природної циркуляції руху парорідинного потоку.

Зменшенням показника степені при числі Пекле від 0,7 до 0,6 неявно враховано пригнічення поверхневого кипіння в результаті двофазної конвекції.

В запропонованому рівнянні М.О.Кичигіна-Н.Ю.Тобілевича відсутній вплив швидкості фаз та парорідинної суміші на інтенсивність тепловіддачі в трубах в умовах багатократної природної циркуляції при режимах, відмінних від оптимальних, а також в випарних каналах з істотною швидкістю парорідинного потоку.

Перші дослідження циркуляції і теплообміну в випарних апаратах цукрової промисловості були виконані І.М. Федоткіним під керівництвом Н.Ю. Тобілевича [2]. Тоді ж аспірант І.М. Засядько дослідив вплив швидкості руху рідини та теплового навантаження на інтенсивність відкладання накипу на поверхні нагріву при концентруванні цукрових розчинів в умовах їх примусової циркуляції [3].

С.Й. Ткаченко першим дослідив гідродинамічні характеристики двофазних потоків в циркуляційних контурах з природною циркуляцією, що відповідали умовам роботи промислових випарних апаратів [4].

О.О. Ткаченко виконана серія експериментів з дослідження впливу витрати рідини на інтенсивність тепловіддачі при кипінні води та цукрових розчинів в циркуляційному контурі з довжиною експериментальної труби 3 м у широкому діапазоні зміни температурних напорів та п'єзометричних рівнів [5].

Для узагальнення одержаних результатів був використаний параметр Стюшина, до якого входить дійсна середня швидкість рідкої фази, і запропоноване рівняння (3),

$$\frac{Nu}{Nu_{\text{конв}}} = 2,5 \left[ \frac{q(1-\phi)}{r \cdot \rho_2 \cdot \omega_1} \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^{0,7} \cdot \frac{r}{c \cdot \Delta T} \sqrt{Pr} \right]^{0,62} \quad (3)$$

Воно описує інтенсивність тепловіддачі при кипінні в трубах в широкому діапазоні зміни п'єзометричних рівнів у випарному каналі.

Ю.Г. Поржезінський [6] виконав дослідження режимів опускного руху рідини в кип'ятильних трубах випарників. Ним визначені умови перевернення циркуляції в кип'ятильних трубах, появи та існування напівперевернутого руху фаз та переходу до опускного режиму без кипіння. Досліджені особливості гідродинаміки опускного двофазного потоку та встановлено вплив в'язкості на його витратні характеристики.

Б.А. Матвієнком [7] виконані дослідження впливу гідродинаміки на тепловий режим в багатотрубному вертикальному контурі з природною циркуляцією в діапазоні режимних параметрів, притаманних випарним апаратам цукрової промисловості. За результатами досліджень запропонована методика визначення оптимальної площі перетину циркуляційних труб, а також формули для визначення швидкості циркуляції та корисного напору в циркуляційних контурах з природною циркуляцією.

О.М. Сірим [8] досліджено вплив теплових та гідродинамічних режимів, конструктивних та експлуатаційних факторів на технологічні показники концентрування реальних промислових соків. Було встановлено, що тривалість перебування цукрового розчину у випарному апараті при даній температурі є визначальним чинником, що впливає на технологічні показники концентрування соку на випарних установках (ВУ).

Д.О. Столяром [9] досліджено винесення рідини в пару та її сепарація у випарних апаратах цукрових заводів. Ним розроблена методика визначення малих концентрацій цукру в конденсатах вторинної пари, досліджено вплив на величину винесення розчину в пару висоти надсокового простору, наявності шару розчину над трубною решіткою.

Д.О. Столяром запропонована оптимальна для умов роботи випарних апаратів цукрової промисловості конструкція сепараційного пристрою на базі вертикальної жалюзійної насадки, а також запропонована методика розрахунку його геометричних розмірів та ефективності.

О.О. Дудник [10] дослідив гідродинаміку і теплообмін на моделі однопоточного трьохсекційного випарного апарата. Ним доведена реальна можливість переобладнання промислових випарних апаратів в однопоточні трьохсекційні випарні апарати зі зменшенням часу перебування розчину в них в 6-10 разів.

Ю.К. Пінчуком [11] досліджені теплогідродинамічні процеси у випарних апаратах з підсиленою природною циркуляцією, яка досягалась завдяки надставці над трубним пучком висотою до 3 м.

Подальше удосконалення систем теплоенерговикористання цукрових заводів в основному визначається:

- А) оптимізацією теплотехнологічних процесів на ланці дифузійна установка-випарна установка, зокрема, мінімізацією технологічних потоків, а також на стадії теплотехнології одержання утфелів;
- Б) максимальним використанням теплоти вторинних енергоресурсів;
- В) максимально можливим підвищенням концентрації сиропу після ВУ.

Виконання перелічених вище заходів дозволяє істотно зменшити величини відборів вторинної пари з корпусів ВУ. Забезпечення необхідної продуктивності ВУ пов'язане з необхідністю перенесення відборів з головних корпусів ВУ на наступні. Це можливо при підвищення температурного режиму на корпусах ВУ. Негативний вплив підвищення температури кипіння соку можна компенсувати зменшенням часу його перебування при підвищеній температурі. Такий режим концентрування соку реалізується в однопрохідних випарних апаратах (ОВА). У ОВА час перебування розчину, за відсутності багатократної циркуляції, обмежується часом, необхідним для проходження розчину через нижню і верхню сокові камери та випарні канали. Сумарний час перебування соку в ОВА в десятки раз менший часу перебування в випарних апаратах з багатократною природною циркуляцією

Виходячи з вищезазначеного тематика виконаних на кафедрі подальших досліджень обумовлена потребою створення і впровадження в цукрову промисловість ОВА. Збільшення робочої довжини випарних каналів до 9 м і більше дозволяла створювати випарні апарати з максимально можливою площею поверхні теплообміну. Зокрема, при робочій довжині випарних каналів 8,8 м, з урахуванням допустимих габаритів транспортабельності, максимальна площа поверхні теплообміну ОВА може скласти 4500 м<sup>2</sup> при використанні як робочих каналів труб Ø33×1,5, та до 8000 м<sup>2</sup> при використанні як робочих коаксіальних кільцевих каналів.

М.О. Масліковим [12] та В.М. Філоненком [13] виконані експериментальні дослідження теплогідродинамічних параметрів в трубі та кільцевому каналі довжиною 9 м при підйомному русі двофазного потоку. За цих умов збільшувався вплив руху парової фази на конвективну складову інтенсивності теплообміну при кипінні в умовах вимушеної конвекції. Узагальнення одержаних результатів виконано для осереднених по довжині каналів коефіцієнтів тепловіддачі у формі кореляції В.М.

Боришанського (формула 4):

$$\alpha = \alpha_{\text{во}} \sqrt{1 + 4 \cdot 10^{-9} \left( \frac{\rho_1 - \omega_{\text{сеп}} \cdot r}{q} \right)^{1,5}} \quad (4)$$

Для кільцевих каналів запропонована залежність (5).

$$\alpha = \alpha_q \sqrt{1 + 10^{-3} \left( \frac{\rho_2 \cdot \omega_2 \cdot r}{q} \right)^{1,1}} \quad (5)$$

Створення адекватної моделі теплообміну в кип'ятильних трубах однопрохідних випарних апаратів, істотною особливістю яких, порівняно з короткотрубними випарними апаратами з багатократною природною циркуляцією, є високий об'ємний паровміст двофазного потоку на значній ділянці випарного каналу, вимагало розкриття механізму впливу на інтенсивність тепловіддачі окремих компонентів двофазного потоку.

Таке дослідження виконане В.П. Петренком [14] на експериментальній установці, що дозволяла в режимі автономної генерації компонентів фаз і їх примусового введення в експериментальну ділянку виявити вплив витратних характеристик фаз на інтенсивність тепловіддачі, а також їх взаємозв'язок через дію основного визначального параметра - дотичної напруги на внутрішній стінці труби. Остання визначає величину термічного опору тепловіддачі від стінки в усьому дослідженому діапазоні зміни режимних параметрів потоку незалежно від його структури.

Для узагальнення результатів досліджень запропоновано принцип суперпозиції мікро- та макроконвективного переносу теплоти бульбашковим кипінням та конвекцією.

Одержані розрахункові рівняння для визначення інтенсивності тепловіддачі в випарних каналах з високим об'ємним паровмістом - рівняння (6):

$$Nu = c \cdot Re_s^n \cdot Pr^m, \quad (6)$$

$$\text{де: } Re_s = \sqrt{T_0^2 + Re_*^2},$$

$T_0$  - модифікований параметр В.І. Толубінського, що враховує вплив бульбашкового кипіння:

$$T_0 = \frac{q}{r \cdot \rho_2 \cdot u_0} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1} 10^5.$$

Комплекс  $Re_* = \frac{u^* \cdot l^*}{\nu}$ , враховує вплив конвекції на інтенсивність тепловіддачі.

де:  $u^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho_1}}$  - динамічна швидкість;  $l^* = \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_1 - \rho_2)}}$ ;

$u_0 = 10^{-3} (2,21 \cdot \Pi^{1,01} - 10^{-4} \cdot \Pi^{2,5})$  - за В.І. Толубінським;

Значення коефіцієнта  $C$  та показників степеню  $n$  і  $m$  залежать від впливу того чи іншого механізму теплообміну:

$$c = 0,71 - 0,565 \exp\left(-\sqrt{\frac{Re_*}{T_0}}\right); n = \frac{0,77 \cdot T_0 - 0,55 \cdot Re_*}{T_0 + Re_*}; m = \frac{0,5 \cdot T_0 + 0,3 \cdot Re}{T_0 + Re}$$

Величина  $\tau_0$  визначається (при  $K_\Gamma > 3,2$ ) за формулою:

$$\tau_0 = \tau_{ст} \cdot \left[0,2 + 0,8 \left(\exp(K_\Gamma - 3,2)\right)^4\right]$$

При  $K_\Gamma > 3,2$ ;  $\tau_0 = \tau_{ст}$

14

де:  $\tau_{ст}$  - визначена за результатами дослідження Я.І. Засядька [15].

Значення коефіцієнта  $C$  та показників степеню  $n$  і  $m$  залежать від впливу того чи іншого механізму теплообміну.

Необхідна для розрахунків дотична напруга на стінці труби,  $\tau_{ст}$ , визначалась за методикою, запропонованою Я.І. Засядьком [15], який досліджував гідродинаміку висхідного руху двофазних потоків з великим об'ємним паровмістом. Ним встановлені закономірності розподілу рідкої фази між ядром двофазного потоку і пристінною плівкою.

За допомогою оригінальних пристроїв експериментально визначались складові гідродинамічного опору - на тертя потоку по стінці каналу, на прискорення потоку та гравітаційна складова, які визначають сумарну втрату тиску в каналах і, як наслідок, величину гідродинамічної депресії.

Запропоновані залежності для їх розрахунку, зокрема, формулу (7):

$$\frac{\Delta P_{тер}^{дв}}{\Delta P_{тер}} = 2,58 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)^{0,268} \cdot \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{d^2 \cdot g \cdot \rho_1}{\sigma}\right)^{0,45} \cdot Re_1^{0,58} \cdot \frac{\omega_2 \cdot \sqrt{\rho_2}}{\omega_1 \cdot \sqrt{\rho_1}} \cdot \left(\frac{Fr_{сум}}{Fr_{сума}}\right) \quad (7)$$

С.М. Василенко [16] виконав дослідження дискретно-локальних теплогідродинамічних характеристик процесу конденсації насиченої пари у вертикальній трубі висотою 9 м. Ним одержана залежність інтенсивності теплоперенесення при конденсації від витратних характеристик рідкої фази і міжфазної дотичної напруги. Також запропонована методика розрахунку інтенсивності локальної тепловіддачі в межах ламінарно-хвильового і перехідного режиму руху плівки конденсату, притаманних діапазону режимних параметрів процесу конденсації водяної пари в вертикальних внутрішніх трубах кільцевих каналів.

Результати досліджень В.М. Філоненка і С.М. Василенка покладені в основу запропонованої науково-обґрунтованої методики теплогідродинамічних розрахунків довготрубних ОВА з кільцевими каналами.

В.О. Ардашевим [17] досліджено теплообмін при концентруванні цукрових розчинів у гравітаційно стікаючій плівці в середині труби довжиною 9 м. Ним встановлена залежність інтенсивності теплообміну від швидкості руху плівки в області випаровування з поверхні плівки, а в області розвинутого бульбашкового кипіння - від швидкості руху плівки та теплового потоку.

Використання В.О. Ардашевим методу акустичної діагностики дозволило визначити умови, за яких в плівці рідини існує бульбашкове кипіння. В першому наближенні ним оцінено вплив чинників, від яких залежить величина критичної щільності зрощування внутрішньої стінки труби розчином, що концентрується. Також запропонована методика теплового розрахунку випарних апаратів зі стікаючою плівкою рідини.

У виробничих умовах Носівського цукрового заводу на 4-х моделях довготрубних ОВА трьох гідравлічних схем досліджено закономірності накипеутворення при роботі моделей на промислових робочих середовищах.

Результати виконаних досліджень робочих процесів в випарних каналах ОВА лягли в основу розробленої інтервально-ітераційної методики теплогідродинамічних розрахунків довготрубних ОВА для цукрової промисловості [18].

Таким чином була відкрита дорога до проектування, виготовлення і впровадження в промисловість ОВА.

Це стало можливим завдяки тісній співпраці колективу кафедри з працівниками промисловості як

на стадії створення експериментальних установок і виконання на них запланованих досліджень, так і на стадії впровадження розробок кафедри в промисловість. Особливо слід відзначити допомогу кафедри від її почесних членів: Ю.Ф. Цюкала, Л.В. Котляра, Ю.М. Загинайка (2-ий ім. Петровського цукровий завод), Д.М. Коломійця (Косарський спиртзавод), С.Н. Поліщука (Перегонівський цукрозавод).

Лише творча співпраця з технічним керівництвом Укрголовцукру, зокрема, з головним інженером Укрголовцукру Б.О. Мелентьєвим, начальником технічного відділу Л.І. Зінченко та іншими працівниками Главку, з керівництвом УкрНДІПродмашу та Смілянського машинобудівного заводу, неоціненна допомога головного інженера Кіровоградського об'єднання цукрової промисловості Г.Ф. Могили, керівництва Перегонівського і Долинського цукрозаводів дозволила втілити в життя заплановане.

Разом з УкрНДІПродмашем розроблені конструкції довготрубних ОВА А2-ПВД-1,8 та А2-ПВД-4,5 площею поверхні нагріву, відповідно, 1800 м<sup>2</sup> і 4500 м<sup>2</sup>.

ОВА А2-ПВД-1,8 був встановлений на Перегонівському цукровому заводі, а ОВА А2-ПВД-4,5 - на Долинському цукрозаводі як передвключені до існуючих 4-х корпусних ВУ з концентратором, а фактично – до 5-ти корпусних ВУ.

Така схема приєднання одиночних ОВА як передвключених до існуючих на заводах випарних установок, запропонована спільно кафедрою промислової теплоенергетики та В.І. Довгополом (Цукропромнергоналадка). Вона дозволяє, при збереженні існуючих паровідборів з корпусів, одержати приріст продуктивності ВУ за рахунок збільшення на ній кратності випаровування, що дозволяє ліквідувати надходження пари в барометричний конденсатор та відкриває шлях до максимального використання вторинних енергоресурсів в системі теплоенерговикористання цукрового заводу.

Науковцями кафедри запропонована і досліджена конструкція розподільчого пристрою для ОВА з гравітаційно стікаючою плівкою розчину [19]. Вона лягла в основу розробленого спільно з УкрНДІПродмашем і виготовленого Смілянським машинобудівним заводом дослідного зразка ОВА з гравітаційно стікаючою плівкою розчину площею поверхні нагріву 1500 м<sup>2</sup>.

Одночасно з виконанням наукових досліджень з тематики магістрального напрямку, присвяченого дослідженню робочих процесів і випарних апаратів, науковцями кафедри було виконано великий комплекс робіт. Серед них:

- дослідження теплогідродинамічних процесів в вакуум-апаратах, виконане під керівництвом В.Т. Гаряжі аспірантами В.І. Павелком [20], Ю.Г. Артюховим [21], В.Р. Кулінченком [22], Б.Г. Дідушком [23], за результатами яких розроблені конструкції вакуум апаратів з посиленою циркуляцією;
- дослідження теплообміну при кипінні водно-спиртових розчинів та напівпродуктів спиртових виробництва, результати яких покладені в основу розробленої науково-обґрунтованої методики розрахунку поверхні нагріву кип'ятильників для колон брагоректифікаційних установок (БРУ) та їх широкого впровадження на спиртових заводах [24];
- дослідження роботи підігрівників цукрових заводів в умовах накипоутворення, виконане Ю.С. Разладіним [25], за результатами яких розроблені конструкції і широко впроваджені в цукрову промисловість секційні підігрівники соку.

Наукові результати виконаних досліджень теплогідродинамічних процесів в випарниках і підігрівниках харчових виробництв, розроблені на їх базі нові конструкції випарних апаратів, кип'ятильників, вакуум-апаратів, підігрівників стали науково-технічним підґрунтям подальшого удосконалення систем теплоенерговикористання в цукровій, спиртовій та інших галузях промисловості.

Слід також відзначити виконане в 90-ті роки А.В. Форсюком [26] дослідження дискретно-локальних теплогідродинамічних характеристик процесу концентрування в гравітаційно стікаючій плівці яблуневого соку.

М.М. Масліковим [27] виконані дослідження процесів тепловологопереносу під час зберігання цукру та запропоновано методику прогнозування тепловологопереносу та якості цукру в процесі його зберігання.

Під керівництвом С.М. Василенка [28] виконане комплексне дослідження гідродинаміки та тепломасоперенесення в двофазних парорідинних течіях з фазовими перетвореннями. За їх результатами розроблені методики розрахунку елементів тепломасообмінних апаратів з безпосереднім контактом фаз.

В.О. Бойком [29] виконано роботу зі створення математичних моделей елементів тепло-технологічного комплексу цукрового виробництва, необхідних для розроблення системи оптимального управління ними.

У даний час на кафедрі під керівництвом доц. В.П. Петренка [30] завершено виконання науково-дослідної роботи з вивчення особливостей тепловіддачі до висококонцентрованих плівок розчинів в режимі фазових перетворень. Ця область теплообміну при концентруванні плівок розчину під вакуумом мало досліджена через складність експериментальних досліджень під вакуумом. Існують лише узагальнені, осереднені для всього каналу певної довжини співвідношення для розрахунку інтенсивності теплообміну, справедливі в обмеженому діапазоні теплових потоків та вакууму.

Для цього була створена експериментальна установка, яка дозволяє здійснювати моделювання плівкових течій з незалежним формуванням витрат фаз та теплового потоку в широкому діапазоні зміни концентрацій, режимних параметрів та величини вакууму.

Авторами роботи одержане узагальнююче співвідношення для визначення інтенсивності тепловіддачі при кипінні води і цукрових розчинів в кільцевих низхідних потоках при супутньому русі пари (діапазон зміни швидкості пари 13-50 м/сек) в режимах випаровування з поверхні плівки і кипіння:

$$Nu = 1,1 Re^{\frac{1}{3}} \frac{0,85 + 0,01 Pe^{0,2} + 4,5 \cdot 10^{-4} Pe^{0,86} Pr^{-0,2}}{\exp(-1,2 \cdot 10^{-5} Re_n)} \left[ 1 + 0,4 \left( \frac{\Delta t - \Delta t_{\min}}{\Delta t_{\min}} \right) \right]^{1,2} \left( \frac{L}{L_0} \right)^{0,1} \quad (8)$$

Запропонована також (9) формула для визначення коефіцієнта між фазного тертя в усьому дослідженому діапазоні витратних характеристик фаз для паро-і газорідних потоків:

$$\xi = \xi_1 + \frac{627 \left( \frac{d_0}{d} \right)}{\left\{ Fr_2^{1,26} \exp \left[ \frac{1}{\left( Fr_2 - H^{1,1} \sqrt{\frac{d}{d_0}} \right) \cdot 1,25 \cdot 10^{-2} K_s^{1,5}} \right] - 1 \right\}} \quad (9)$$

Результати цього дослідження також необхідні для визначення критичних густин зрошування, особливо для плівкових випарних апаратів, встановлених як останні корпуси випарних установок. Застосовувані в промисловості схеми рециркуляції сокових потоків здебільшого необґрунтовані та приводять до фактичної ліквідації однопрохідності, як важливої теплотехнологічної переваги плівкових апаратів.

Важливим новим науковим напрямком кафедри є оптимізація енергоспоживання на виробництво штучного холоду в галузях харчової промисловості та в системах кондиціювання повітря. Це досягається шляхом розробки науково-обґрунтованої методики розрахунку акумуляторів теплової енергії (холоду) на базі генерації льоду в період провалу споживання електричної енергії і вивільнення накопиченої теплової енергії під час пікового споживання електричної енергії.

Перша робота в цьому напрямку досліджень виконана О.Ю. Пилипенком і присвячена вивченню динаміки генерації льоду на охолоджуваних поверхнях [31].

Кафедра приймає участь в наукових роботах, що виконуються в Інституті вугільних енерготехнологій НАН України і присвячені диверсифікації енергетичних палив за рахунок залучення біомаси для її спільного факельного спалювання з вітчизняним вугіллем.

Від цих робіт очікуються такі позитивні результати:

- диверсифікація ринку енергоносіїв;
- залучення поновлювальних джерел енергії;
- поліпшення екологічних показників процесу горіння;
- стабілізація горіння низькосортних антрацитів за рахунок доповнення їх леткими речовинами біомаси.

Цій тематиці присвячена захищена М.М. Мирошник дисертаційна робота з дослідження кінетики окремих стадій спалювання біомаси [32].

Результати виконаних наукових досліджень впроваджувались в промисловість, серед них слід відзначити такі:

- запропоновано і широко впроваджено конструкцію випарних апаратів з виносними циркуляційними трубами (співавтор Н.Ю. Тобілевич);
- установки біля колон БРУ для конкретного спиртового заводу та пароконденсатних схем БРУ (разом з проф. П.С. Циганковим запропоновані необхідні поверхні нагріву і бажане конструктивне виконання кип'ятильників для укомплектування ними колон БРУ, що поставлялись з НДР для спиртозаводів СРСР);
- розробка конструкцій та типорозмірів жалюзійних сепараторів, якими оснащувались всі випарні апарати, що виготовлялись Смілянським машинобудівним заводом починаючи з 1975 року;
- промислове випробування ОВА площею поверхні нагріву 1800 м та 4500м на Перегонівському і Долинському цукрозаводах з позитивними висновками Державних комісій;
- надання близько 150 цукровим заводам конкретної науково-технічної допомоги з удосконалення систем виробництва і використання теплової енергії (з 1993 року - через створене при кафедрі науково-технічне підприємство «Енерготехнологія»);



- здійснення в 1977 р. першого промислового випробування на Збараському цукрозаводі підігрівника соку, що використовував вторинну пару вакуум-апаратів;
- розробка конструкцій вакуум-апаратів з посиленою циркуляцією;
- розробка впровадження установок для видалення аміаку з конденсату;
- розробка та впровадження серії конструкцій теплообмінних апаратів з коаксіальними кільцевими каналами;
- енерготехнологічний аудит всіх цукрових заводів України, виконаний на замовлення Міністерства харчової промисловості України створеним при кафедрі в 1998 р. Інститутом проблем енергетики в харчовій промисловості.

### Висновок

Наукові розробки вчених кафедри теплоенергетики та холодильної техніки Національного університету харчових технологій дозволили розробити комплексне наукове підґрунтя розробки тепломасообмінної апаратури цукрової промисловості.

### Список використаних джерел

1. *Тобилевич Н.Ю.* Исследование рабочих процессов при выпаривании сахарных растворов: дис. докт.техн.наук. - Киев, 1968. - 920 с.
2. *Федоткин И.М.* Исследование циркуляции и теплообмена в выпарных аппаратах сахарной промышленности: Автореф. дис...канд.техн.наук: - К. : КТИПП, 1961. - 23 с.
3. *Засядько И.Н.* Исследование накипеобразования в выпарных аппаратах с усиленной циркуляцией: Автореф. дис...канд.техн.наук: - К. : КТИПП, 1961. - 25 с.
4. *Ткаченко С.Й.* Исследование циркуляционных характеристик выпарных аппаратов сахарной промышленности: Автореф. дис...канд.техн.наук: 273-пром.теплоэнергетика - К. : КТИПП, 1966. - 31 с.
5. *Ткаченко О.А.* Исследование влияния скорости циркуляции и гидродинамики двухфазного потока на теплообмен при кипении в трубах выпарных аппаратов сахарных заводов: Автореф. дис...канд.техн.наук: 273-пром.теплоэнергетика - К. : КТИПП, 1968. - 28 с.
6. *Поржезинский Ю.Г.* Исследование режимов опускного движения жидкости в кипятильных трубах выпарных аппаратов и испарителей: Автореф. дис...канд.техн.наук: 273-пром.теплоэнергетика - К. : КТИПП, 1968. - 31 с.
7. *Матвиенко Б.А.* Исследование влияния гидродинамики на тепловой режим выпарных аппаратов сахарной промышленности: Автореф. дис...канд.техн.наук: №273-пром. теплоэнергетика - К. : КТИПП, 1968. - 27 с.
8. *Сирый О.Н.* Влияние тепловых, гидродинамических режимов, конструктивных и эксплуатационных факторов на качественные показатели при выпаривании сахарных растворов: Автореф. дис...канд.техн.наук: 273-пром.теплоэнергетика - К. : КТИПП, 1969. - 28 с.
9. *Столяр Д.А.* Исследование вынесения и сепарации пара вы выпарных аппаратах сахарных заводов: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : КТИПП, 1975. - 27 с.
10. *Дудник А.А.* Исследование гидродинамики и теплообмена трехсекционного выпарного аппарата: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : КТИПП, 1977. - 28 с.
11. *Пинчук Ю.К.* Исследование гидродинамических процессов в вертикальных выпарных аппаратах с усиленной естественной циркуляцией: Автореф. дис...канд.техн.наук: 273-пром.теплоэнергетика - К. : КТИПП, 1971. - 26 с.
12. *Масликов М.А.* Исследование теплообмена при кипении сахарных растворов в вертикальных трубах длиннотрубных выпарных аппаратов: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : КТИПП, 1980.- 22 с.
13. *Филоненко В.Н.* Исследование гидродинамики и теплообмена при кипении жидкости в кольцевых каналах с двухсторонним обогревом: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : КТИПП, 1982. - 23 с.
14. *Петренко В.П.* Теплообмен в двухфазных потоках с высоким объемным паросодержанием: Автореф. дис...канд.техн.наук:05.14.04 - К. : КТИПП, 1986. - 24 с.
15. *Засядько Я.И.* Исследование гидродинамики двухфазных потоков с высоким объемным паросодержанием: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : КТИПП, 1984. - 23 с.
16. *Василенко С.М.* Теплообмен при конденсации пара внутри вертикальной трубы: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : КТИПП, 1986. - 28 с.
17. *Ардашев В.А.* Исследование теплообмена при испарении гравитационно стекающей пленки жидкости в вертикальных трубах: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : КТИПП, 1983. - 25 с.
18. *Прядко Н.А.* Совершенствование теплообменных аппаратов и установок: дис...докт.техн.наук: 05.18.12 - К. : КТИПП, 1986.- 405 с.
19. *Распределительное устройство для пленочного выпарного аппарата* /В.Н. Филоненко, О.А. Ткаченко, Н.А. Прядко, Я.И. Засядько, Н.А. Макаренко и А.Н. Земляной/ Авторское свидетельство

№1669469 от 10 июля 1989 г.

20. *Павелко В.И.* Исследование процессов теплообмена и гидродинамики при кипении в трубах кристаллизующихся сахарных растворов: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : КТИПП, 1972.- 28 с.

21. *Артюхов Ю.Г.* Исследование гидродинамики потоков утфеля и смесей его с воздухом в вертикальных трубах: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04-К. : КТИПП, 1972. - 29 с.

22. *Кулнченко В.Р.* Исследование теплообмена при кипении сахарных растворов и утфелей в условиях свободной конвекции: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : КТИПП, 1974. - 30 с.

23. *Дидушко Б.Г.* Тепло- и массообмен при течении кипящего шара утфеля в прямоточном элементе вакуум-апарата непрерывного действия: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : КТИПП, 1981. - 28 с.

24. *Прядко Н.А.* Исследование теплообмена при кипении водно-спиртовых смесей и полупродуктов спиртового производства: Автореф. дис...канд.техн.наук: 273-пром.теплоэнергетика- К. : КТИПП, 1968. - 30 с.

25. *Разладин Ю.С.* Исследование работы подогревателей сахарных соков в условиях накипеобразования: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : КТИПП, 1973. - 26 с.

26. *Форсюк А.В.* Теплообмін при випаровуванні з поверхні гравітаційно-стікаючих плівок яблучних соків: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : УДУХТ, 1996. – 24 с.

27. *Масліков М.М.* Розробка методів дослідження, розрахунку і прогнозування тепловологопереносу під час зберігання цукру-піску: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : НУХТ, 1999.- 28 с.

28. *Василенко С.М.* Теплообмін в парорідинних течіях теплообмінних апаратів харчових виробництв: Автореф. дис...докт.техн.наук: 05.18.12 - К. : НУХТ, 2003. - 38 с.

29. *Бойко В.О.* Моделювання елементів теплотехнологічного комплексу цукрового виробництва: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : УДУХТ, 2012. - 23 с.

30. *Петренко В. П.* Ефективність застосування плівкових випарних апаратів та розрахунок інтенсивності тепловіддачі до киплячих цукрових розчинів в них / В.П. Петренко, М.О. Прядко, О.М. Рябчук // Цукор України. – 2013. – № 6(90). – С. 21-25.

31. *Пилипенко О.Ю.* Динаміка кристалізації льоду на вертикальних охолоджуваних трубах в елементах акумуляторів теплової енергії систем охолодження та кондиціонування повітря: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : УДУХТ, 2012. - 26 с.

32. *Мирошник М.М.* Кінетика термічної деструкції окремих видів біомаси як альтернативного палива: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.14.04 - К. : УДУХТ, 2013. - 26 с.