



ЦУКОР УКРАЇНИ

№ 3 (135) 2017

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ
ПО РЕКОНСТРУКЦИИ
САХАРНЫХ ЗАВОДОВ

ПРОИЗВОДСТВО
БИОЭТАНОЛА

 **Техинсервис™**

www.techinservice.com.ua

Украина, 04114, г. Киев, переулок Макеевский, 1
тел./факс: (+38 044) 468-93-11, 464-17-13
e-mail: net@techinservice.com.ua



ЦУКОР УКРАЇНИ

№ 3 (135) '2017

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:

Дикун А.Є., голова редколегії, гол. правл. НАЦУ «Укрцукор»
Бутнік-Сіверський О.Б., д.е.н.
Борисюк П.Г., к.с.-г.н.
Грабовська О.В., д.т.н.
Заїнчковський А.О., д.е.н.
Загородній Г.Д., акад. АІНУ, гол. Ради НАЦУ «Укрцукор»
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.
член-кор. НААНУ
Українець А.І., д.т.н., проф., ректор НУХТ
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.

Редакція:

Сидоренко Н.В.

Верстка:

Кондратьєв Д.В.

Адреса редакції:

вул. Б. Грінченка, 1, оф. 532,

м. Київ, 01001, Україна

Факс: (044) 279-57-42**ukr.sugar.journal@gmail.com**

Матеріали номера розглянуті та рекомендовані до публікації Науково-технічною радою УкрНДІЦП – протокол №2 від 16.11.2016 р.

Підписано до друку 17.04.2017 р.
Формат: 60X84 1/8. Друк офсетний.
Тираж 600 прим. Замовлення №2

Друкарня: ПП «Санспарель»,
01014, Україна, м. Київ,
вул. Струтинського, 6

Редакція не несе відповідальності за зміст рекламних статей та оголошень

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

ЗМІСТ**НОВИНИ**

Україна	5
Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку цукрової галузі України»	6
СНД	7

АНАЛІТИКА ВІД НАЦУ «УКРЦУКОР»

Огляд ринку цукру: аналіз, прогнози та перспективи [Р. Бутило]	8
• Експорт-імпорт	8
• Цукор білий	9
• Меляса	9
• Кондитерські вироби з цукру без вмісту какао	9
• Жом буряковий	10
• Країни СНД	11
• Світовий ринок	12

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

Теплообмін під час сушіння бурякового жому перегрітою парою [В.В. Шутюк, Т.П. Василенко, С.А. Бут]	16
Особливості теплового розрахунку теплообмінних апаратів, що споживають розріджену пару хвостової частини випарної установки [В.П. Петренко, М.О. Прядко, О.М. Рябчук, М.М. Мирошник]	20
Звіт фірми «Сахавтомат» за ремонтно-будівельний період 2016 року по цукровим заводам України та Росії	23
Алгоритм визначення оптимальних рівнів напруги цехового трансформатора [С.М. Балюта, В.Д. Йовбак, Л.О. Копилова]	29
Інтенсифікації процесу підготовки утфелю останньої кристалізації до центрифугування шляхом електронагріву [Ю.М. Журбицький, В.О. Бойко В.А. Мельник, М.О. Прядко, Л.М. Хомічак, М.Ф. Калініченко, С.П. Баскевич Т.А. Суховій]	37
Автоматизована система управління станції дефекосатурації з модулем координатії [В.В. Полупан, В.М. Сідлецький]	41
Японская точность: рефрактометры, поляриметры, вискозиметры [Виктор Аршинец]	47

Увага, номери телефонів редакції змінено!**Зв'язатися з нами можна за телефонами:****(098) 467-53-32, факс (044) 279-57-42**

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

Теплообмін під час сушіння бурякового жому перегрітою парою

В.В. Шутюк, доктор технічних наук, доцент кафедри технології консервування,

Національний університет харчових технологій

Т.П. Василенко, асистент кафедри менеджменту та адміністрування,

Національний університет харчових технологій

С.А. Бут, кандидат технічних наук, кафедра технології консервування,

Національний університет харчових технологій

В статті наведено результати експериментального дослідження сушіння жому цукрових буряків перегрітою парою. В результаті досліджень встановлено, що основний вплив температури сушильного агента на швидкість сушіння спостерігається в період сталої швидкості сушіння. Водночас період спадної швидкості сушіння жому неоднорідний, що зумовлено видаленням з матеріалу вологи з різними видами енергії зв'язку. В рамках аналізу розмірностей отриманих результатів розроблено комплексний параметр спільного тепломасообміну – відносний об'ємний коефіцієнт теплопередачі.

Ключові слова: сушіння, жом цукрових буряків, аналіз, перегріта пара, коефіцієнт теплопередачі

В статтє приведенє результати експериментального дослідження сушки жома сахарной свеклы перегретым паром. В результате исследований установлено, что основное влияние температуры сушильного агента на скорость сушки наблюдается в период постоянной скорости сушки. В то же время период убывающей скорости сушки жома неоднороден, что обусловлено удалением из материала влаги с различными видами энергии связи. В рамках анализа размерностей полученных результатов разработан комплексный параметр общего теплообмена – относительный объемный коэффициент теплопередачи.

Ключевые слова: сушка, жом сахарной свеклы, анализ, перегретый пар, коэффициент теплопередачи

The article contains the results of experimental research on sugar beet pulp drying with superheated steam. The research allowed us to conclude that the major influence of temperature of drying agent on the drying rate is observed at the stage of sustained drying rate. At the same time the stage of receding pulp drying rate is heterogeneous, which is caused by extracting of moisture from the materials with different kinds of binding force. In the course of analysis of the received values we have calculated the complex parameter of the general heat and mass exchange, i.e. the relative volumetric heat transfer coefficient.

Key words: drying, sugar beet pulp, analysis, superheated steam, heat-transfer coefficient.

У більшості розвинених країн світу від 7 до 15% споживаної промисловістю енергії використовується на сушіння, тому, з огляду на значне споживання енергії в процесі зневоднення харчових продуктів, проблема впровадження енергоощадних технологій сушіння є пріоритетною у вітчизняній харчовій промисловості. Одним із шляхів вирішення даного питання є перехід від конвективного сушіння жому цукрових буряків до сушіння перегрітою парою. Так, для зневоднення пресованого жому цукрового буряку [2, 4] в умовній високотемпературній сушарці на випаровування вологи необхідно витратити теплової енергії майже 5000 кДж/кг, тим часом як німецька високонапірна парова сушарка ВМА АГ споживає 2900 кДж/кг.

Результати експериментальних досліджень кінетики сушіння жому цукрових буряків показують, що вологовміст інтенсивніше змінюється у разі сушіння перегрітою парою, ніж гарячим повітрям за однакових температур [1]. Водночас, кінетична швидкість сушіння жому цукрових буряків при сушінні перегрітою парою вища, ніж при сушінні гарячим повітрям і швидкості пари.

Збільшення температури та швидкості пари призводить до зменшення тривалості сушіння [3].

Адаптація сушарок до умов сушіння перегрітою парою вимагає непростієї реалізації додаткових умов, тому виготовляють парові сушарки менше десяти високотехнологічних підприємств у світі. Перевага сушіння перегрітою парою окрім низького споживання енергії ще й в наступному: відсутність реакцій окиснення та згоряння, безпечність вибуху та, як правило, вища якість продукту [5].

Мета досліджень – проаналізувати процеси перенесення під час сушіння жому цукрових буряків перегрітою парою та розробити методики визначення впливу характеристик процесу зневоднення на його інтенсивність.

Матеріали і методи. Для дослідження як продукт використовували свіжий жом цукрових буряків у вигляді екстрагованої січки від 50 мкм до 1 мм з вологовмістом 76...80 %. Сухі речовини

20...27; лігнін - 1...6; уронові кислоти - 21,5...23; білок - 7...12; залишкову сахарозу - до 0,5; золу - 4. Зразки жому заморожували ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) для зберігання і розморожували до кімнатної температури перед кожним експериментом сушіння.

Зразки жому брали з ПАТ «Кагарлицький цукровий завод» та ВАТ «КРИСТАЛ-М» з початковим вологовмістом 5,25 кг/кг. Дослідні партії жому відбирали безпосередньо після жомових пресів перед їх подачею в жомосушильні барабани або жомові ями. Розміри дослідних партій становили 20...25 кг кожного виду. Зразки сортували і розфасовували в окремі місткості. При цьому хімічні методи оброблення не використовували. Жом сушили в умовах лабораторії до кінцевого вологовмісту 10...13 %.

Для дослідження кінетики сушіння колоїдних капілярно пористих тіл використовували експериментальну установку кафедри теплоенергетики та холодильної техніки, яка має широкий діапазон регулювання температури сушіння і швидкості руху перегрітої пари.

Результати досліджень. Дослідження кінетики сушіння процесу бурякового жому проводили за таких змінних параметрів: тиск пари 0,12 МПа; температура перегрітої пари на вході в робочу камеру 120...180 $^{\circ}\text{C}$; швидкість перегрітої пари в робочій камері 1...3 м/с; початкова вологість жому 5,25 кг/кг.

В усіх дослідженнях значення вихідних параметрів підтримувалися постійними. Аналіз отриманих даних зневоднення бурякового жому (рис. 1) показує, що на інтенсивність сушіння найбільше впливає температура перегрітої пари. Так, при швидкості 1 м/с підвищення температури сушильного агента на 60 $^{\circ}\text{C}$ із 120 до 180 $^{\circ}\text{C}$ призводить до збільшення швидкості сушіння у 2,3 рази, відповідно час сушіння скорочується з

540 до 240 с (рис. 1, а). На швидкість зневоднення менше впливає зміна швидкості сушильного агента (рис. 1). Так, зі збільшенням швидкості з 1 до 3 м/с (за температури перегрітої пари 140 $^{\circ}\text{C}$) швидкість сушіння зростає на 40 %, відповідно час сушіння скорочується з 420 до 300 с.

Прогрівання матеріалу в середовищі перегрітої пари відбувається значно швидше, ніж у середовищі повітря. Проте у початковий період сушіння (упродовж перших 30 с) значення швидкості зневоднення майже не змінюється (див. рис. 1). Вплив окремих режимних параметрів на інтенсивність сушіння в початковому періоді у цілому не змінюється. Як видно з графіків, матеріал прогрівається швидко - за кілька хвилин. Це зумовлено тим, що сушиться продукт з малим розміром частинок і високою інтенсивністю теплообміну.

Кінетичні криві, за визначенням, характеризують процес зневоднення безвідносно до інтенсивності його перебігу та процесів перенесення, які під час цього відбуваються. Тому проаналізовано процеси перенесення під час зневоднення жому цукрових буряків з метою розроблення методики визначення впливу характеристик процесу зневоднення на його інтенсивність.

За визначальний параметр вибрали об'ємний аналог коефіцієнта теплопередачі, який входить до рівняння теплопередачі з визначення густини теплового потоку - «об'ємний коефіцієнт теплопередачі», як коефіцієнт пропорційності, що характеризує кількість теплоти, витраченої на випарування вологи з 1 м³ за одиницю часу при різниці температур між теплоносіями 1 $^{\circ}\text{C}$. Вибір пояснюється тим, що для вільно насипаного бурякового жому, без механічного пресування, за незначної висоти насипного шару (до 8 см), який забезпечує кращий обдув матеріалу, але не припускає утворення зв'язаного шару, не можна з відповідною

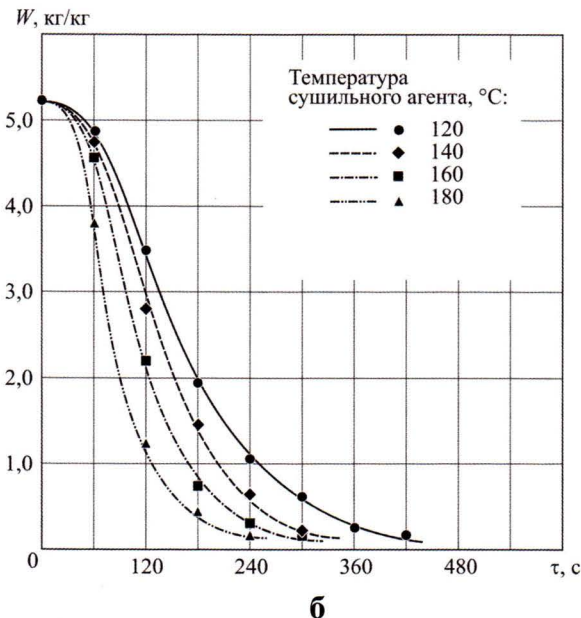
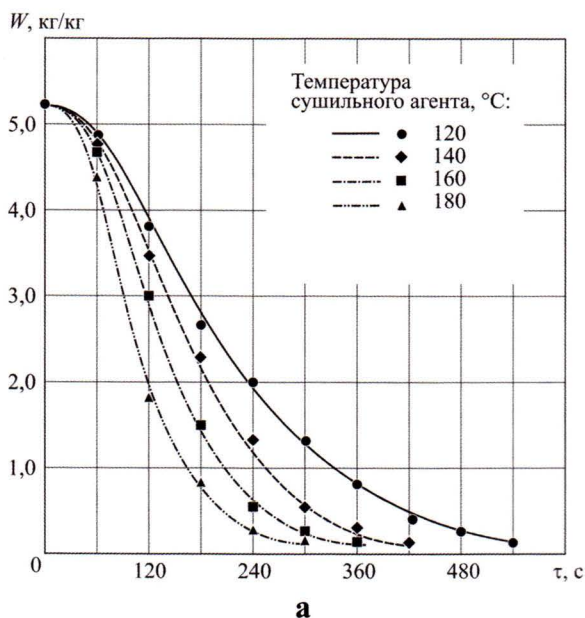


Рис. 1. Графіки залежності зневоднення бурякового жому перегрітою парою

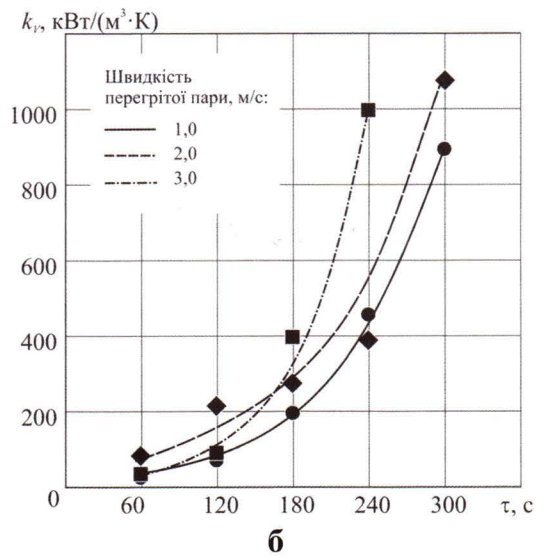
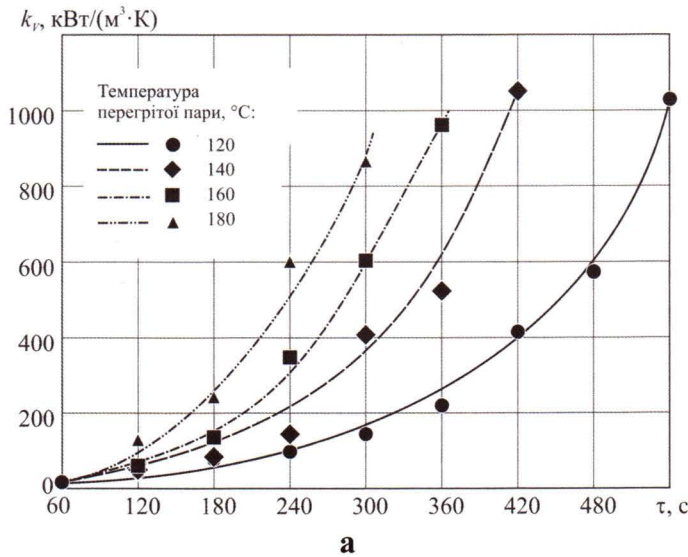


Рис. 2. Залежність зміни об'ємного коефіцієнта теплопередачі від тривалості сушіння перегрітою парою за початкового вологовмісту $W = 5,25$ кг/кг: а - швидкості 1 м/с; б - температури 140 °С

точністю визначити активну поверхню всіх частинок бурякового жому, які беруть участь у процесі сушіння.

У разі низькотемпературного сушіння зразка об'ємний коефіцієнт теплопередачі розраховували так:

$$k_v = \frac{\Delta W r}{\tau(t_{ca} - t_{ж\text{cp}})V_{ж}} \quad (1)$$

де ΔW - кількість видаленої вологи за час сушіння, кг; r - теплота пароутворення, кДж/кг; τ - час сушіння, с; t_{ca} - температура сушильного агента, °С; $t_{ж\text{cp}}$ - середня температура зразка під час сушіння, °С; $V_{ж}$ - об'єм зразка, м³.

Результати аналізу дослідних даних для сушіння жому перегрітою парою також мають подобу до процесу сушіння гарячим повітрям – побудова залежностей у вигляді $k_v = f(\tau)$ показує що збільшення температури перегрітої пари з 120 до 180 °С приводить до зменшення часу сушіння та одному

характері зміни об'ємного коефіцієнта теплопередачі (рис. 3, а, б). Приклад отриманих кривих для швидкості перегрітої пари 1 м/с та діапазону температур від 120 до 180 °С наведено рис. 2, а. Відповідно зміна швидкості руху перегрітої пари має незначний вплив на зміну значення k_v (рис. 2, б).

Аналіз кривих зміни об'ємного коефіцієнта теплопередачі від вологовмісту жому показує, що сушіння перегрітою парою в діапазоні температур 120...180 °С, як і гарячим повітрям, практично не залежить від температури сушильного агента. На відміну від сушіння гарячим повітрям незначна розбіжність значень спостерігається й у разі зміни швидкості перегрітої пари в діапазоні 1...3 м/с. Це можна пояснити незначною зміною швидкості такого сушильного агента, як перегріта пара.

Тому криві, отримані для різних режимів сушіння перегрітою парою, мають загальний характер функціональної залежності $k_v = f(W)$ і апроксимовані рівнянням виду:

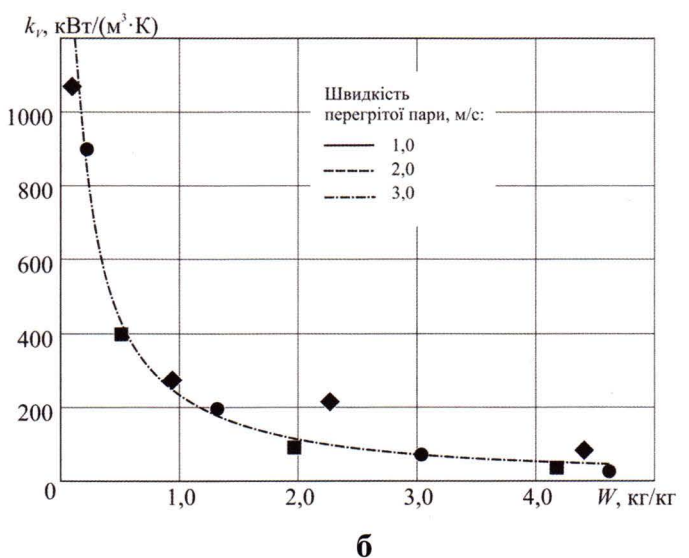
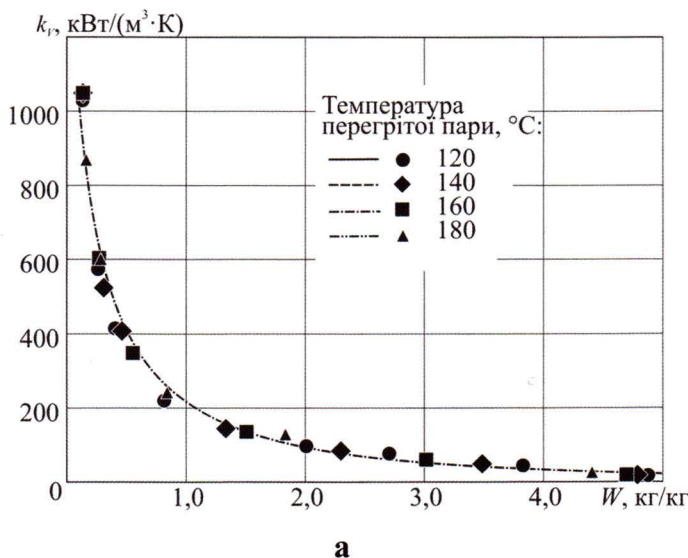


Рис. 3. Залежність зміни коефіцієнта об'ємної тепловіддачі бурякового жому від вологовмісту жому за початкового вологовмісту $W = 5,25$ кг/кг у процесі сушіння перегрітою парою: а - швидкість 1 м/с;

$$k_v = C_1 e^{C_2 W} . \quad (2)$$

Розрахунок проводився за допомогою програмних пакетів Statistica 10 і Microsoft Excel 2010.

Розрахункову залежність зміни об'ємного коефіцієнта теплопередачі у процесі сушіння жому перегрітою парою знаходили за допомогою програмних пакетів Statistica 10 і Microsoft Excel 2010. Для діапазону температур перегрітої пари 120...180 °С та швидкості сушильного агента 1...3 м/с вона має вигляд

$$k_v = 848,35 e^{-1,22W} . \quad (3)$$

Висновки

Під час сушіння жому перегрітою парою основний вплив температури сушильного агента на швидкість сушіння спостерігається в період сталої швидкості сушіння. Водночас період спадної швидкості сушіння жому неоднорідний - на кривих швидкості сушіння спостерігається кілька точок перегину, що зумовлено видаленням з матеріалу вологи з різними видами енергії зв'язку.

Аналіз результатів експериментального дослідження в рамках аналізу розмірностей дозволив розробити комплексний параметр спільного тепломасообміну – відносний об'ємний коефіцієнт

теплопередачі під час сушіння жому цукрових буряків перегрітою парою. ■

Список використаних джерел

1. Шутюк В.В. Визначення основних параметрів перегрітої пари при сушінні харчових продуктів / В.В. Шутюк, С.М. Василенко, О.С. Бессараб // Наукові праці. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – Т.2, Вип. 45. – С. 172–177.
2. Шутюк В.В. Порівняльний аналіз сушіння жому цукрових буряків гарячим повітрям і перегрітою парою / В.В. Шутюк, С.М. Василенко, О.С. Бессараб // Наукові праці. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – Т.1, Вип. 45. – С. 96–100.
3. Pronyk C. Current status of superheated steam drying and processing / C. Pronyk, S. Cenkowski, W.E. Muir // Proceedings of the 3rd Inter-American Drying. – 2005. – № 7. – P. 127–129.
4. Schroder D. Einige Gedanken zum Einsatz einer Niedertemperatur – Trocknung innerhalb der Schnitzeltrocknung / D. Schroder // Zucketindustrie. – 1983. – № 2. – P. 126-135.
5. Tang Z. Dehydration dynamics of potatoes in superheated steam and hot air / Z. Tang, S. Cenkowski // Canadian Agricultural Engineering. – 2000. – № 42 (1). – P. 43–49.