

## THERMAL PROCESSING OF SUGAR-BEET COSSETS FROM FROZEN BEET

**M.M. Pushanko, G.L. Verkhola**  
*National University of Food Technologies*  
**L.A. Verkhola**  
 «Теплоком» Ltd.

---

### Key words:

Diffusion plant  
 Scalding  
 Enthalpy of beet cossets  
 Counter-current heat exchange  
 Temperature regime

---

### Article history:

Received 22.10.2013  
 Received in revised  
 form 5.12.2013  
 Accepted 14.12.2013

---

### Corresponding author:

mst@gala.net

---

### ABSTRACT

Specific of diffusion units operation during the time of processing of frozen beet considered. Processes of ice crystals formation in cells of sugar beet tissue have been described. Thermalphysic parameters of beet tissue, which contains crystals of ice, have been calculated for different saccharinity and purity of cellular juice. Processes of heat-exchange in counter-current scalding have been explored. Specifications to circular juice heaters for processing of frozen beet have been defined.

## ТЕПЛОВА ОБРОБКА СТРУЖКИ З МОРОЖЕНИХ БУРЯКІВ

**М.М. Пушанко, Г.Л. Верхола**  
*Національний університет харчових технологій*  
**Л.А. Верхола**  
 ТОВ «Теплоком»

*Розглянуто особливості експлуатації колонних дифузійних установок під час переробки морожених буряків. Описано процеси утворення кристалів льоду у клітинах тканини цукрового буряку. Теплофізичні параметри бурякової тканини, що вміщує кристали льоду, розраховано для різної цукристості та чистоти клітинного соку. Проаналізовано теплообмінні процеси у протитечійному ошпарювачі. Визначено вимоги до підігрівників циркуляційного соку при переробці морожених буряків.*

**Ключові слова:** дифузійна установка, ошпарювач, клітинний сік, криоскопічна температура, ентальпія бурякової стружки, протитечійний теплообмін, температурний режим, морожені буряки.

Багатьом цукровим заводам взимку доводиться переробляти морожені буряки. Для цього необхідно відповідним чином підготувати основне обладнання та теплову схему, що дозволить стабільно працювати заводу навіть при низьких температурах повітря.

В офіційних правилах ведення технологічного процесу [1] робота з мороженими буряками не розглядається.

Тепловий баланс двошнекових дифузійних апаратів нахилоного типу при переробці нормальних і морожених буряків у різних кліматичних зонах розглядався відповідно до режимів їх роботи в Росії, Україні та Польщі. [2–3]. Проте комплексний вплив морожених буряків на процес вилучення цукрози і роботу екстракційного обладнання не розглядався.

У довідниках [4,5] наводяться дані щодо переробки у США штучно заморожених буряків. У цьому випадку теплообмінне обладнання для нагріву циркуляційного соку та ошпарювання стружки в колонних дифузійних установках повинно розроблятися відповідно до цих потреб.

**Мета досліджень:** уточнення теплофізичних властивостей бурякової стружки та розробка технічних рішень щодо експлуатації колонних дифузійних установок під час переробки морожених буряків.

**Методи та методики:** математичне моделювання, що базуються на фізико-хімічних законах фазових перетворень, статистична обробка виробничих даних щодо роботи обладнання на цукрових заводах.

В середині коренеплоду цукрового буряку утворення кристалів льоду відбувається при криоскопічній температурі, значення якої залежить від вмісту в клітинному соку сухих речовин, складу кислот, колоїдів та інших екстрактивних з'єднань. Зниження температури замерзання відбувається, фактично, внаслідок зв'язування води речовинами, що в ній розчинені. Обчислюється криоскопічна температура за формулою:

$$t_{кр} = K \cdot C_m \quad (1)$$

де  $t_{кр}$  — криоскопічна температура,  $C$ ,  $K$  — криоскопічна константа, яка дорівнює  $-1,86$ ,  $C_m$  — моляльна концентрація сухих речовин.

Для біологічних рідин  $C_m$  відображає осмотичну концентрацію розчину, яка зветься осмоляльністю, та є сумарною концентрацією молекул, іонів та колоїдних частинок. Для клітинного соку буряку залежність між концентрацією розчинених речовин та осмоляльністю нелінійна, надійних методів для розрахунку осмоляльності багатокомпонентних розчинів немає.

Сухі речовини бурякового соку на 86...92 % складаються з цукрози, яка в даному випадку є головною осмотично активною речовиною. Тому в розрахунках ми робимо припущення, що всі розчинні речовини є цукрозою.

Кількість вимороженої води розраховується за формулою:

$$\omega = 1 - t_{кр} / t \quad (2)$$

де  $\omega$  — відношення кількості льоду до загальної маси води,  $t_{кр}$  — криоскопічна температура,  $C$ ,  $t$  — температура, для якої проводяться обчислення, °C.

Під час виморожування вільної води збільшується концентрація сухих речовин у міжклітинному розчині, що не змерз. Це призводить до зниження криоскопічної температури. При цьому виморожування води відбувається поступово з підвищенням концентрації розчину, що залишився. Залежність вмісту кристалів льоду у буряковій тканині (рис. 1) було розраховано для випадків різної цукристості та чистоти клітинного соку.

При досягненні концентрації, визначеної для даного розчину (клітинного соку), він увесь застигає і перетво-

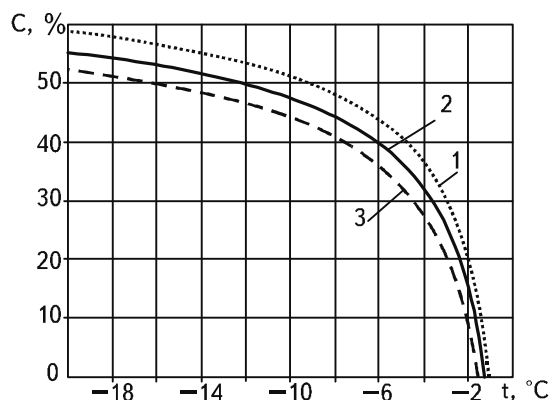


Рис. 1. Залежність вмісту льоду,  $C$  % (до маси буряків) від температури у сировині різної якості:

- 1 — цукристість 14 %, чистота клітинного соку — 86 %
- 2 — цукристість 16 %, чистота клітинного соку — 88 %
- 3 — цукристість 18 %, чистота клітинного соку — 90 %

рюється на суцільну тверду масу, яка зветься евтектикою. Температура її утворення зветься евтектичною (кріогідратною).

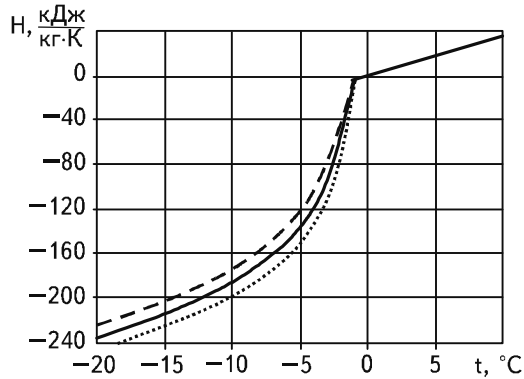


Рис. 2. Залежність ентальпії (H) буряковій тканині різної якості від температури:  
 1 — цукристість 14 %, чистота клітинного соку — 86 %  
 2 — цукристість 16 %, чистота клітинного соку — 88 %  
 3 — цукристість 18 %, чистота клітинного соку — 90 %

Згідно існуючої класифікації у харчових продуктах розрізняють зв'язану (гідратаційну) та вільну воду. Вміст зв'язаної води майже постійний. За даними П.М. Силіна [6] у цукрових буряках зв'язана вода є в кількості 58 % від маси нерозчинної м'якоти. Дипольні частинки води через адсорбцію міцно зв'язані з іонами та полімерними групами білків. При заморожуванні продуктів зв'язана вода не бере участі у фазових перетвореннях.

Ентальпію бурякової стружки (рис. 2) розраховано як суму ентальпій складових бурякової тканини, значення питомої теплоємності яких було прийнято наступними (у кДж/(кг·К)): сухі речовини та м'якоть—1,47; зв'язана вода—2,93; вода—4,19; лід—2,20. Питома теплота льодоутворення 335 кДж/(кг).

При надходженні в переробку морожених буряків потрібна додаткова теплова енергія для розтоплення льоду, який міститься в клітинах. Під час гідралічного транспортування та мийки встигає відтанути лише поверхневий шар корене-

плодів, і отримана з них стружка вміщує лід, який має бути розтопленим ошпарювачі.

При ошпарюванні бурякової стружки в протитечійних ошпарювачах одночасно відбуваються теплообмінні процеси трьох видів (рис. 3).

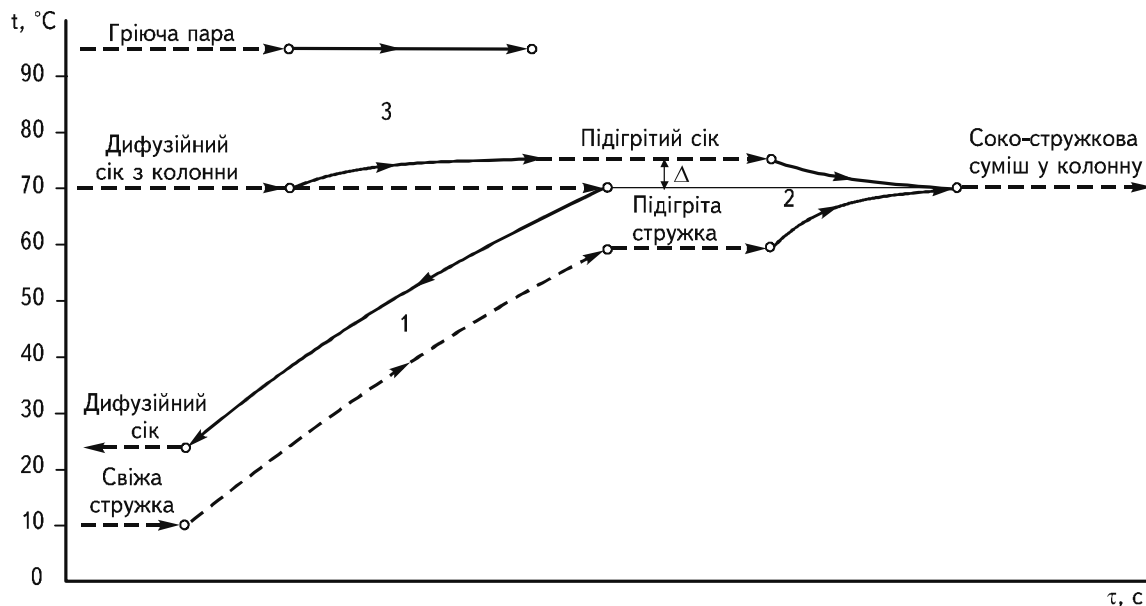


Рис. 3. Схема теплообмінних процесів під час ошпарювання бурякової стружки

У першій частині ошпарювача відбувається протитечійний теплообмін, під час якого дифузійний сік у кількості 110 % з температурою 70 °С, проходячи крізь шари стружки, охолоджується, віддаючи своє тепло стружці. У сучасних ошпарювачах ефективність протитечійного теплообміну сягає  $E = 87...90 \%$ , число одиниць переносу тепла  $NTU = 6...8$  [7].

Прямотечійний теплообмін відбувається у другій частині ошпарювача (мішалці), де попередньо підігрітий до температури  $70+\Delta$  °С циркуляційний сік у кількості 250 %

змішується зі стружкою. При цьому стружка та сік досягають заданої температури 70° С і сокостружкова суміш перекачується в дифузійний апарат.

Нагрівання циркуляційного соку відбувається у підігрівниках, де температура циркуляційного соку збільшується на величину  $\Delta$  за рахунок конденсації гріючої пари.

Регулювання температурного режиму процесу ошпарювання здійснюється шляхом зміни кількості пари, що подається в підігрівник. Основний технологічний параметр, що задається, — температура соко-стружкової суміші на виході з ошпарювача.

Аналіз теплового балансу ошпарювача (табл. 1) показує, що при зменшенні температури стружки від 20 до 0 °С витрати пари зростають лише на 0,25 % до маси стружки. Це пояснюється тим, що 91,4 % тепла передається стружці ще на протитечійній стадії.

Таблиця 1. Тепловий баланс ошпарювача при переробці стружки, що містить лід

Температура стружки, °С	–20	–15	–10	–5	0	5	10	15	20	
Вміст льоду у стружці, %	55,5	52,5	47,5	36,3	0	0	0	0	0	
Температура сирого соку, °С	0,0	0,0	0,0	0,0	15,3	19,2	23,1	27,0	30,9	
Температура стружки проміжна, °С	15,5	21,5	29,5	43,4	64,0	64,5	64,9	65,3	65,7	
Температура циркуляційного соку, °С	90,5	88,2	85,2	80,0	72,2	72,1	71,9	71,8	71,6	
Споживання пари, % до маси стружки	8,08	7,19	6,01	3,94	0,88	0,82	0,76	0,70	0,63	
Мінімально необхідна поверхня теплообміну підігрівників, м <sup>2</sup> на 1000 т буряків на добу	кожухотрубних (решоферів),	310	236	170	92,3	17,0	15,7	14,5	13,3	12,0
	секційних (швидкісних)	124	94,5	68,1	36,9	6,8	6,3	5,8	5,3	4,8
	пластинчастих	37,1	28,4	20,4	11,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4

При температурі стружки нижче –5 °С біля лобового сита утворюється зона відтаювання, розміри якої будуть залежати від вмісту льоду в стружці. В цій зоні середня температура стружки буде близькою до 0 °С. Хоча весь лід у стружці розтоплюється в протитечійній частині ошпарювача, та для отримання соко-стружкової суміші з температурою 70 °С доводиться нагрівати циркуляційний сік до температури 80...90,5 °С.

Серійні дифузійні установки з колонним екстрактором комплектувались трьома кожухотрубчастими підігрівачами циркуляційного соку з розрахунку 200 м<sup>2</sup> сумарної площі поверхні теплообміну кожного на 1000 т переробки буряків на добу. При використанні секційних підігрівачів застосовується, наприклад, співвідношення 90 м<sup>2</sup> площі поверхні на 1000 т переробки буряків на добу [8]. Пластинчасті підігрівники встановлюються з розрахунку 7,5 м<sup>2</sup> на 1000 т переробки буряків на добу.

При такій комплектації дифузійних установок з колонним екстрактором кожухотрубними та секційними підігрівниками забезпечується переробка замороженої до –10 °С стружки, при температурі гріючої пари 95 °С. Для установок з пластинчастими підігрівниками виникає необхідність збільшення поверхні теплообміну.

Глибоке заморожування буряків є довготривалим процесом. Його можливо здійснити природним холодом лише за умов активної вентиляції кагатів при температурі повітря –15...25 °С протягом 10...15 діб [6]. Зважаючи на пом'якшення клімату у Європі, та застосування гідроподачі сировини ми можемо передбачати, що температура буряків, що надходять у переробку, не буде нижчою за –5 °С. Тому

**Результати досліджень:** визначено залежність ентальпії бурякової тканині та вмісту льоду в ній від цукристості та чистоти клітинного соку, розраховано тепловий баланс ошпарювача при переробці морожених буряків, сформульовано вимоги до підігрівників циркуляційного соку.

**Висновки.** Результати наведеного вище аналізу процесу ошпарювання стружки, отриманої з морожених буряків, розширюють межі застосування відомих методик розрахунку обладнання для цукрової помисловості.

Отримані результати слід враховувати при проектуванні ошпарювачів для дифузійних установок з колонним екстрактором.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Правила* ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків. *Правила усталеної практики* 15.83–37–106: 2007: — К.: Цукор України, 2008. — 628 с.— ISBN 978–966–1520–00–3.
2. *Пушанко Н.Н.* Тепловая обработка свекловичной стружки в наклонных двухшнековых аппаратах: / Н.Н. Пушанко, Б.Д. Коваленко. — М.: ЦНИИТЭИПищепром, Сахарная промышленность, 1977. — №8. — С. 13–18.
3. *Walerianczyk E.W.* Kompendium praktycznego prowadzenia procesu ekstrakcji w aparacie korytowym / E.W. Walerianczyk. — Warszawa.: Stowarzyszenie Technikow Cukrownikow, 1996. — 196 s. — ISBN 83–905434–5–1.
4. *Poel van der P.W.* Sugar technology. Beet and Cane Sugar Manufacture / P.W. van der Poel, H. Schiweek, T. Schwartz. — Berlin.: Verlag Dr. A. Bartens, 1998. — 1120 p. — ISBN 3–807905434–5–1.
5. *Asadi Mosen* Beet-sugar handbook / Mosen Asadi. — New Jersey.: John Wiley & Sons,. 2007. — 884 p. — ISBN 13–978–0–471–76347–5.
6. *Силин, П.М.* Технология сахара / П.М. Силин. — М.: Пищевая промышленность, 1967. — 625 с.
7. *Энергосберегающие* направления модернизации колонных диффузионных установок / Л.А. Верхола, Н.Н. Пушанко, С.М. Василенко, В.Г. Табурчак // Сахар. — 2010. — № 8 — С. 34–40.
8. *Колонный* диффузионный аппарат Ж4–ПДБ–3 с ошпаривателем РЗ–ПОД: оптимальные условия эксплуатации / Куценко В.В., Рудь Н.Н., Хвостишко В.П. и др. // Сахар — 2009. — № 4. — С. 49–57.

## ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА СТРУЖКИ ИЗ МОРОЖЕНОЙ СВЕКЛЫ

**Н.Н. Пушанко, Г.Л. Верхола**

*Национальный университет пищевых технологий*

**Л.А. Верхола**

*ООО «Теплоком»*

*Рассмотрены особенности эксплуатации колонных диффузионных установок во время переработки мороженой свеклы. Описаны процессы образования кристаллов льда в клетках ткани сахарной свеклы. Теплофизические параметры свекловичной ткани, которая содержит кристаллы льда, рассчитаны для разной сахаристости и чистоты клеточного сока. Проанализированы теплообменные процессы в противоточном ошпаривателе. Определены требования к подогревателям циркуляционного сока при переработке мороженой свеклы.*

**Ключевые слова:** *диффузионная установка, ошпариватель, клеточный сок, криоскопическая температура, энтальпия свекловичной стружки, противоточный теплообмен, температурный режим, мороженая свекла.*