



УКРАЇНА

(19) UA (11) 47215 (13) A

(51) 6 G01N33/00, C13F1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ  
ВЛАСНИКА  
ПАТЕНТУ

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ШВИДКОСТІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЦУКРОЗИ В УМОВАХ УВАРЮВАННЯ ГЕТЕРОГЕННОГО ЦУКРОВОГО РОЗЧИНУ

1

2

(21) 2001096221

(22) 10 09 2001

(24) 17 06 2002

(46) 17 06 2002, Бюл. № 6, 2002 р.

(72) Кобер Віктор Теодорович, Штангеев Валерій  
Остапович, Требін Леонід Іванович(73) Кобер Віктор Теодорович, Штангеев Валерій  
Остапович, Требін Леонід Іванович

(57) 1 Спосіб визначення питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання гетерогенного цукрового розчину, який передбачає зважування кристалів цукрози та визначення площі їх поверхні на початку процесу кристалізації цукрози, вимірювання кількості розчиненої цукрози шляхом аналізу вмісту сухих речовин в міжкристалічному розчині при кристалізації цукрози в термостатованому гетерогенному цукровому розчині при його циркуляції та кінцеве визначення питомої швидкості кристалізації цукрози по зменшенню кількості розчиненої цукрози, який відрізняється тим, що циркуляцію гетерогенного цукрового розчину здійснюють шляхом вдування в нього від 4 до 28 % об'ємних повітря, яке насичують вологою при заданій температурі кристалізації цукрози, а після вимірювання вмісту сухих речовин в міжкристалічному розчині встановлюють залежність цього вмісту сухих речовин, масового вмісту кристалів цукрози в гетерогенному цукровому розчині та площі їх поверхні від тривалості процесу кристалізації цукрози, після чого здійснюють кінцеве визначення питомої швидкості кристалізації цукрози як похідної масового вмісту кристалів цукрози в гетерогенному цукровому розчині по тривалості процесу кристалізації цукрози, віднесеної до площі поверхні кристалів цукрози за такою формулою

$$K = \frac{1}{S_0} \cdot \frac{K_{p0} \cdot CP(100 - CP(\tau))}{100 K_{p0} + (CP_0 - K_{p0}) - 100 CP(\tau)} \cdot \frac{d}{dt} \left[ \frac{100 K_{p0} + CP_0(100 - K_{p0}) - 100 CP(\tau)}{100 - CP(\tau)} \right]$$

де K - питома швидкість кристалізації цукрози, г/м<sup>2</sup>с,S<sub>0</sub> - початкова площа поверхні кристалів цукрози в гетерогенному цукровому розчині, м<sup>2</sup>,K<sub>p0</sub> - початковий вміст кристалів в гетерогенному цукровому розчині, мас. %,CP<sub>0</sub> - початковий вміст сухих речовин в міжкристалічному розчині, мас. %,

CP(τ) - залежність вмісту сухих речовин в міжкристалічному розчині від тривалості процесу кристалізації цукрози, с,

τ - тривалість процесу кристалізації цукрози, с,

 $\frac{d}{dt}$  - похідна по тривалості процесу кристалізації цукрози

цукрози

2 Спосіб по п. 1, який відрізняється тим, що повітря для вдування в гетерогенний цукровий розчин насичують вологою при заданій температурі кристалізації цукрози 65-95°C

3 Спосіб по п. 1, який відрізняється тим, що температура гетерогенного цукрового розчину, в якому визначають питому швидкість кристалізації цукрози, складає 25-95°C

4 Спосіб по п. 1, який відрізняється тим, що питому швидкість кристалізації цукрози визначають на первинних кристалах цукрози

5 Спосіб по п. 1, який відрізняється тим, що визначення питомої швидкості кристалізації цукрози здійснюють в гетерогенному цукровому розчині в гідродинамічних умовах його уварювання

Винахід належить до цукрової промисловості, а саме до способу визначення питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання гетерогенного цукрового розчину - утфелю, який одержують на стадії кристалізації цукрози при виробництві цукру

В практиці цукрового виробництва цукрозу (цукор)

виділяють із цукрового соку шляхом кристалізації, для чого спочатку видаляють розчинник - воду. Виділення цукрози кристалізацією здійснюють в два етапи: перший етап - згущення випарюванням води на випарних апаратах до утворення сиропу з концентрацією близько 65% сухих речовин. На другому етапі здійснюють кристалізацію

(13) A

(11) 47215

(19) UA

цукрози шляхом уварювання сиропу, одержаного на першому етапі. При уварюванні цього сиропу відбувається подальше випарювання води, цукровий розчин стає пересиченим і цукроза виділяється у вигляді кристалів, тобто здійснюється її кристалізація. Продукт, який одержують після уварювання на другій стадії, є гетерогенним цукровим розчином, який в цукровій промисловості називають утфелем. Це густа кристалічна маса, в'язка суміш кристалів цукрози (близько 55%) та міжкристалльного розчину – в'язкої рідини, яка містить усі нецукри та насичений розчин цукрози. При уварюванні утфелю важливо здійснювати постійний контроль за процесом кристалізації – кристалоутворювання цукрози, росту кристалів цукрози. Кількість цукрози, яка викристалізувалася, пропорційна поверхні тих кристалів, що вже утворилися, а також часу кристалізації.

Питома швидкість кристалізації ( $K$ ) називають кількістю цукрози (в мг), яка викристалізовується за 1 хвилину на  $1\text{ м}^2$  поверхні кристалів цукрози.

Відповідно до прийнятої термінології цукор являє собою хімічно чисту цукрозу – не менш 99,75% з малою кількістю домішок – не більш 0,25%.

У дослідній і виробничій практиці цукрового виробництва існує декілька способів визначення швидкості кристалізації цукрози на основі змін її кристалів, які ростуть, тобто способи, які зв'язані зі зміною кристалів цукрози при їх кристалізації в процесі уварювання утфелю. При визначенні впливу різних факторів на швидкість кристалізації цукрози застосовують так звані способи "штучних утфелів", які передбачають виготовлення модельних гетерогенних розчинів – утфелів. Такі визначення передбачають вимірювання ваги кристалів, які ростуть, при цьому здійснюють багаторазові зважування.

Відомий спосіб визначення питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання гетерогенного цукрового розчину – утфелю, який передбачає зважування кристалів цукру, визначення площі їх поверхні з наступним розрахунком питомої швидкості кристалізації цукрози (Силин П.М. Технология сахара М. Пищевая промышленность, 1967, С. 399-400 [1]). Однак, в зв'язку з тим, що в пересичений цукровий розчин в умовах уварювання утфелю вводять попередньо зважений кристал цукру, який в кінці процесу кристалізації відокремлюють від розчину, зважують вже в кінці процесу, і визначають питому швидкість кристалізації по приросту маси кристалу та середній площі його поверхні, для цього способу притаманна значна похибка, яка обумовлена не врахуванням змін в процесі кристалізації коефіцієнти пересичення міжкристалльного розчину. Крім того, при здійсненні такого способу визначають лише середню питому швидкість, а не миттєву. Невідповідність гідродинамічних умов кристалізації, які мають місце при реалізації відомого способу, умовам варення утфелю, посилює похибку визначення питомої швидкості кристалізації цукрози.

Відомий також спосіб визначення питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання утфелю, що передбачає зважування кристалів цукру та кінцеве визначення питомої швид-

кості кристалізації цукрози (Герасименко А.А. Кристаллизация сахара Киев. Наукова думка, 1965, С. 101-102 [2]). Але при здійсненні такого способу спостерігається похибка, яка обумовлена безперервною зміною в ході кристалізації коефіцієнту пересичення розчину, площі поверхні кристалу та втрати його ваги у відповідності з законом Архімеда. Крім того, при здійсненні такого способу визначають лише середню питому швидкість, а не миттєву.

Найближчим до заявленого є спосіб визначення питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання гетерогенного цукрового розчину – утфелю, що передбачає зважування кристалів цукру та визначення площі їх поверхні на початку процесу кристалізації цукрози, вимірювання кількості розчиненої цукрози шляхом аналізу вмісту сухих речовин в міжкристалльному розчині в процесі кристалізації цукрози в термостатованому гетерогенному цукровому розчині при його циркуляції та кінцеве визначення питомої швидкості кристалізації цукрози по зменшенню кількості розчиненої цукрози (Славянский А.А., Каганов И.Н. Методы определения скорости кристаллизации сахарозы Ж-л "Сахарная промышленность", 1971, № 9, С. 70-74 [3]). Такий спосіб дозволяє зменшити похибку визначення швидкості кристалізації за рахунок збільшення кількості зважувань. Однак прямолінійні розмішування на графіку одержаних даних зважувань, нерухомість пересиченого розчину, яка не відповідає гідродинамічним умовам варіння утфелю, обумовлюють наявність значної похибки. Крім того, визначена відомим способом питома швидкість кристалізації цукрози є середньою величиною, а не поточним – миттєвим значенням, тобто вона відповідає не миттєвим, а середнім за час кристалізації цукрози значенням площі поверхні кристалів та коефіцієнту пересиченості міжкристалльного розчину.

Завданням заявленого винаходу є створення способу визначення питомої швидкості кристалізації цукрози в процесі уварювання гетерогенного цукрового розчину – утфелю, в якому за рахунок здійснення циркуляції цього розчину шляхом вдування 4-28 % об'єму повітря, насиченого вологою при температурі кристалізації цукрози, встановлення залежності вмісту сухих речовин, масового вмісту кристалів цукрози в гетерогенному цукровому розчині та площі їх поверхні від тривалості процесу кристалізації цукрози, кінцеве визначення питомої швидкості кристалізації цукрози як похідної масового вмісту кристалів цукрози в гетерогенному цукровому розчині по тривалості процесу кристалізації цукрози, віднесено до площі поверхні кристалів цукрози за певною формулою, було б можливим одержання результатів визначень поточних – миттєвих значень питомої швидкості кристалізації цукрози з мінімальною похибкою – більш точних величин швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання утфелю.

Поставлене завдання вирішується тим, що спосіб визначення питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання гетерогенного цукрового розчину – утфелю передбачає зважування кристалів цукру та визначення площі їх поверхні на початку процесу кристалізації цукрози, вимірю-

вання кількості розчиненої цукрози шляхом аналізу вмісту сухих речовин в міжкристальному розчині при кристалізації цукрози термостатованого гетерогенного цукрового розчину при його циркуляції та розрахунок питомої швидкості кристалізації цукрози по зменшенню кількості розчиненої цукрози. Новим в заявленому способі є те, що циркуляцію гетерогенного цукрового розчину – утфелю здійснюють шляхом вдування 4-28% об'єму повітря, яке насичують вологою при температурі кристалізації цукрози. Після визначення вмісту сухих речовин в міжкристальному розчині встановлюють залежність цього вмісту сухих речовин, масового вмісту кристалів цукрози в гетерогенному цукровому розчині – утфелі та площі їх поверхні від тривалості процесу кристалізації цукрози, після чого К-питому швидкість кристалізації цукрози визначають як похідну масового вмісту кристалів цукрози в гетерогенному цукровому розчині по тривалості процесу кристалізації цукрози, віднесену до площі поверхні кристалів цукрози за такою формулою

$$K = \frac{1}{S_0} \left[ \frac{K_{p0} CP [100 - CP(t)]}{100K_{p0} + (CP_0 - K_{p0}) - 100CP(t)} \right]^{2/3} \frac{d}{dt} \left[ \frac{100K_{p0} + CP_0(100 - K_{p0}) - 100CP(t)}{100 - CP(t)} \right] \frac{r}{\rho^2 c}$$

де К – питома швидкість кристалізації цукрози, г/м<sup>2</sup>с,

CP<sub>0</sub> – початковий вміст сухих речовин в міжкристальному розчині, мас %, K<sub>p0</sub> – початковий вміст кристалів в гетерогенному цукровому розчині, мас %, S<sub>0</sub> – початкова площа поверхні кристалів цукрози в гетерогенному цукровому розчині, м<sup>2</sup>,

CP (t) – залежність вмісту сухих речовин в міжкристальному розчині від тривалості процесу кристалізації цукрози, с,

t – тривалість процесу кристалізації цукрози, с,

$\frac{d}{dt}$  – похідна по тривалості процесу кристалізації цукрози

В окремих випадках, в залежності від особливих умов використання, заявлений спосіб характеризується такими ознаками

Повітря для вдування в гетерогенний цукровий розчин насичують вологою при заданій температурі кристалізації цукрози 65 - 95°C

Температура гетерогенного цукрового розчину, в якому визначають питому швидкість кристалізації цукрози, складає 25 - 95°C

Питому швидкість кристалізації цукрози визначають на первинних кристалах

Визначення питомої швидкості кристалізації цукрози здійснюють в гетерогенному цукровому розчині в гідродинамічних умовах його уварювання

Сукупність усіх суттєвих ознак заявленого винаходу дозволяє одержувати результати визначень питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання гетерогенного цукрового розчину з мінімальною похибкою, при цьому одержувати поточне - миттєве значення питомої швидкості кристалізації цукрози

За рахунок введення нових ознак заявлений спосіб набуває нових властивостей. Нові ознаки при взаємодії з відомими ознаками проявляють нові технічні властивості таким чином

Завдяки вдуванню повітря, яке насичене вологою при температурі кристалізації цукрози, в гетерогенний цукровий розчин – утфель в кількості 4 - 28% об'єму для циркуляції цього розчину, моделюються кипіння гетерогенного цукрового розчину, створюються оптимальні модельні гідродинамічні умови уварювання цукрового утфелю. При цьому саме такі кількісні межі від 4 до 28% об'єму відповідають утворенню при кипінні утфелю пари. Насичення повітря вологою при температурі кристалізації цукрози перешкоджає випаровуванню води і сприяє стабілізації кількості води в розчині, що підвищує точність визначення питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання цукрового утфелю. Визначення вмісту дійсних сухих речовин в ході процесу кристалізації та встановлення залежності цього вмісту сухих речовин від тривалості кристалізації дає можливість визначати для будь-якого моменту процесу кристалізації масовий вміст кристалів цукру і площу їх поверхні та миттєву питому швидкість кристалізації цукрози як похідну масового вмісту кристалів в гетерогенному цукровому розчині по тривалості процесу кристалізації, віднесену до площі поверхні цих кристалів. В технології цукрового виробництва питомою швидкістю кристалізації називають кількість цукрози (в мг), яка викристалізовується за 1 хвилину на 1м<sup>2</sup> поверхні кристалів. Така кількісна характеристика процесу кристалізації необхідна для проведення різних техніко-економічних розрахунків при виробництві цукру, наприклад, для визначення кількості цукрози (цукру), яка кристалізується за певний час, оформлення матеріальних балансів, розрахунків часових параметрів процесу, вивчення факторів, які мають вплив на швидкість кристалізації.

Технічний результат при використанні заявленого рішення досягається саме в межах заявлених кількісних параметрів способу. Інтервали значень, які характеризують вдування повітря в гетерогенний цукровий розчин – утфель в кількості від 4 до 28% об'єму, були підтверджені в експериментально-практичних умовах при вдуванні повітря менше 4% об'ємних швидкості циркуляції гетерогенного цукрового розчину зменшується настільки, що кристали цукру осідають, що не дозволяє визначити питому швидкість кристалізації. При вдуванні повітря в кількості більше 28% об'єму рух гетерогенного цукрового розчину набирає снарядної форми, повітряні снаряди заповнюють усю повітряну циркуляційну зону, це приводить до нерівномірності руху розчину та осадженню кристалів цукру, що також не дозволяє визначити питому швидкість кристалізації.

Заявлений спосіб визначення питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання гетерогенного цукрового розчину – утфелю здійснюють таким чином

Готують модельний гетерогенний цукровий розчин – утфель зважують кристали цукрози (цукру) заданого розміру, розраховують площу їх поверхні та змішують ці кристали з цукровим розчином із заданим коефіцієнтом пересичення. Потім в цей утфель вдувають 4 -28% об'єму повітря, яке насичене вологою при заданій температурі кристалізації 65 -95°C. Періодично вимірюють вміст сухих речовин в міжкристальному розчині та роз-

раховують по його величині вміст кристалів і площу їх поверхні. Потім встановлюють залежність цього вмісту сухих речовин, масового вмісту кристалів та площі їх поверхні від тривалості кристалізації цукрози. Миттєву питому швидкість кристалізації цукрози  $K$  визначають як похідну масового вмісту кристалів по тривалості процесу кристалізації, віднесену до площі поверхні цих кристалів.

Практичне здійснення заявленого технічного рішення ілюструється наступним прикладом.

**Приклад.** Гетерогенний цукровий розчин – утфель беруть у кількості 100г. Для цього зважують 10г кристалів цукрози (цукру) заданого розміру, тобто  $Kp_0$  – початковий вміст цих кристалів цукрози в утфелі складає 10% мас. Розраховують  $S_0$  – початкову площу поверхні цих кристалів на початку процесу кристалізації цукрози, яка в цьому прикладі складає  $0,1017\text{ м}^2$ . 10г вищевказаних первинних кристалів цукрози змішують з 90г міжкристального цукрового розчину, який має температуру  $70^\circ\text{C}$ .  $CP_0$  – початковий вміст сухих речовин в міжкристальному розчині складає 77,540%. Задана величина коефіцієнту пересичення складає 1,0618. Потім в U-подібному лабораторному кристалізаторі здійснюють циркуляцію одержаного гетерогенного цукрового розчину – утфелю шляхом вдування в нього 15% об'ємних повітря, яке попередньо насичують вологою при температурі кристалізації  $70^\circ\text{C}$ . Потім періодично, через часові інтервали  $T$ , а саме – через 23, 59, 84, 107, 126 та через 145 секунд (с) визначають  $CP$  – вміст сухих речовин в міжкристальному розчині методом його висушування в вакуум-сушильний шафі. Одержані значення  $CP$  – вмісту сухих речовин в міжкристальному розчині становлять відповідно 77,517, 77,482, 77,436, 77,419 та 77,402 мас. %. Відсутність вторинного кристалоутворення контролюють під мікроскопом.

Шляхом найменших квадратів визначають залежність вмісту сухих речовин в міжкристальному розчині  $CP$ , масового вмісту кристалів в гетерогенному цукровому розчині  $Kp$  та площі поверхні цих кристалів  $S$  від тривалості процесу кристалізації цукрози  $t$  в гідродинамічних умовах уварювання

гетерогенного цукрового розчину

$$CP = 77,54 - 1,01 \cdot 10^{-3} t + 3,77 \cdot 10^{-7} t^2, \text{ мас. \%};$$

$$Kp = \frac{100Kp_0 + CP_0(100 - Kp_0) - 100CP}{100 - CP}, \text{ мас. \%};$$

$$S = S_0 \left( \frac{Kp_0}{Kp} \right)^{2/3}, \text{ м}^2,$$

Потім визначають  $K$  – миттєву питому швидкість кристалізації цукрози як похідну вмісту кристалів в гомогенному цукровому розчині – утфелі по тривалості процесу кристалізації, віднесену до площі поверхні цих кристалів

$$K = \frac{1}{S} \cdot \frac{dKp_0}{dt}, \text{ г/м}^2\text{с}.$$

В графі 5 таблиці наведені результати вищевказаного поетапного розрахунку питомої швидкості кристалізації цукрози відповідно до формули

$$K = \frac{1}{S_0} \left[ \frac{Kp_0 CP [100 - CP(t)]}{100Kp_0 + (CP_0 - Kp_0) - 100CP(t)} \right]^{2/3} \cdot \frac{d}{dt} \left[ \frac{100Kp_0 + CP_0(100 - Kp_0) - 100CP(t)}{100 - CP(t)} \right]$$

де  $K$  – питома швидкість кристалізації цукрози,  $\text{г/м}^2\text{с}$ ,

$CP_0$  – початковий вміст сухих речовин в міжкристальному розчині, мас. %,

$Kp_0$  – початковий вміст кристалів в гетерогенному цукровому розчині, мас. %,

$S_0$  – початкова площа поверхні кристалів цукрози в гетерогенному цукровому розчині,  $\text{м}^2$ ,

$CP(t)$  – залежність вмісту сухих речовин в міжкристальному розчині від тривалості процесу кристалізації цукрози, с,

$t$  – тривалість процесу кристалізації цукрози, с,

$\frac{d}{dt}$  – похідна по тривалості процесу кристалізації цукрози

Таблиця

Результати визначення питомої швидкості кристалізації цукрози відповідно до заявленого способу

$t$ – тривалість процесу кристалізації цукрози, в секундах (с)	$CP$ – вміст сухих речовин в міжкристальному розчині, мас. %	$Kp$ – вміст кристалів цукрози в гетерогенному цукровому розчині (утфелі), мас. %	Заданий коефіцієнт пересичення міжкристального розчину	$K$ – питома швидкість кристалізації цукрози, $\text{г/м}^2\text{с}$
1	2	3	4	5
0 (початок процесу)	77,540	10,000	1,0618	0,0398
23	77,517	10,092	1,0604	0,0388
59	77,482	10,232	1,0582	0,0372
84	77,458	10,327	1,0568	0,0362
107	77,436	10,415	1,0555	0,0353
126	77,419	10,482	1,0544	0,0345
145	77,402	10,550	1,0534	0,0338

Наведений приклад практичного здійснення заявленого способу ілюструє визначення миттєвої питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах

уварювання утфелю. Визначення питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання утфелю здійснювали також при вдуванні повітря в

утфель в межах 4-28% об'ємних, насиченого вологою при заданій температурі кристалізації в інтервалі температур від 85 до 95°C за аналогією з вищеописаним прикладом. При цьому температура гетерогенного цукрового розчину, в якому визначають питому швидкість кристалізації цукрози, складає 25 - 95°C.

Заявлений спосіб був випробуваний в експериментально-виробничих умовах Гнідавського цукрового заводу. Кількість результатів визначень питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання утфелю відповідала умовам статистичної обробки одержаних даних, одержані результати характеризувалися мінімальною похибкою. Заявлений спосіб простий за здійсненням. Він дозволяє одержувати поточне – миттєве значення

питомої швидкості кристалізації цукрози в умовах уварювання утфелю, що є важливим при визначенні впливу різних факторів на швидкість кристалізації цукрози для оперативного управління цією технологічною стадією цукрового виробництва та забезпечення сучасного рівня регламентації виробничого процесу.

#### Література

- 1 Силин П.М. Технология сахара М. Пищевая промышленность, 1967, С. 399-400
- 2 Герасименко А.А. Кристаллизация сахара Киев. Наукова думка, 1965 – С. 101-102
- 3 Славянский А.А., Каганов И.Н. Методы определения скорости кристаллизации сахарозы Ж-л "Сахарная промышленность", 1971, № 9, С. 70-74 – прототип

---

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 – 20 – 90

---

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 – 32 – 71