

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СИРОВИНИ І ПРОДУКТІВ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Цукор України №3 (46) 2006 р.

Сінат-Радченко Д.Є., Василенко С.М., Українець А.І. – Національний університет харчових технологій
Сінат-Радченко П.Д. – ТОВ «Астра»

Сучасні цукрові заводи є складними комплексами автоматизованих процесів. Зростання об'ємів виробництва, боротьба за підвищення ефективності праці, виходу і якості цукру, економію палива, енергії, сировини і матеріалів вимагає інтенсифікації роботи обладнання, оптимізації існуючих технологічних процесів, розробки нових фізичних методів впливу на продукти, створення безвідходних технологій. Все це нездійсненне без комплексу вірогідних даних про фізико-хімічні властивості (ФХВ) сировини, проміжних і кінцевих продуктів, тобто середовищ технологічного потоку (СТП) цукрового виробництва (ЦВ). Роботи в цьому напрямі активно ведуться на кафедрі теплотехніки НУХТ протягом всього її існування під керівництвом доц. Сінат-Радченко Д.Є.

Щоб забезпечити переробку буряків в цукор необхідні різноманітні допоміжні матеріали та дані про їх властивості.

Близько чверті всіх досліджень і публікацій в світі присвячено ФХВ речовин, продуктів і матеріалів.

Найвні в літературі дані з ФХВ СТП ЦВ не повні, не систематизовані, розкидані по численних українських і закордонних літературних джерелах [1, 2]. Зараз головне не стільки виконання нових дослідів (по деяких властивостях їх і так багато), скільки з'ясування того, що вже є і може використовуватись, що можна одержати без експерименту на основі відомих закономірностей різних наук, а що і для яких умов ще треба визначити чи перевірити експериментально.

На числові значення ФХВ СТП, в першу чергу, можуть впливати тиск (p , Па), температура (t , °С або T , К), вміст сухих речовин (CP , %) і чистота продукту ($Ч = 100 Цк/CP$, де $Цк$ – вміст цукрози в масі продукту).

Вода (в різних агрегатних станах) і повітря в більшій або меншій кількості входять до складу СТП ЦВ, використовуються як теплоносії [3].

Густина води:

$$\rho = (0,001 + 1,3 \cdot 10^{-8} |t - 4|^{1,778})^{-1} [\text{кг/м}^3].$$

Для $t = 15 \dots 185^\circ\text{C}$ і $p = 0 \dots 1,2 \text{ МПа}$ гранична відносна похибка розрахунку густини за цією формулою $\delta\rho = 0,1\%$.

Ізобарна теплоємність води, Дж/(кг·К):

Розглянуто основні фізико-хімічні властивості сировини і продуктів цукрового виробництва, наведено розрахункові формули і приклади визначення властивостей.

$$c_B = 4218 + 2,8t \lg |0,1t|.$$

Для $t = -15 \dots 130^\circ\text{C}$ $\delta c_B = 0,1\%$.

Теплопровідність, Вт/(м·К)

$$\lambda_B = [0,603 - 28,73/(t + 100)]^{0,5}.$$

Для $t = 0 \dots 130^\circ\text{C}$ $\delta\lambda_B = 0,8\%$.

Динамічна в'язкість, Па·с

$$\lg(\mu_B \cdot 10^6) = (0,685 - 103,21/T)^{-1}.$$

Для $t = 10 \dots 130^\circ\text{C}$ $\delta\mu_B = 1,0\%$.

Поверхневий натяг на межі вода–пара, Н/м

$$\sigma_B \cdot 10^3 = (11900 - 22,57T)^{0,5}.$$

Для $t = 0 \dots 135^\circ\text{C}$ $\delta\sigma_B = 0,1\%$.

Ентальпія, кДж/кг

$$h_B = (0,23867/t - 2,9 \cdot 10^{-6})^{-1}.$$

Для $t = 10 \dots 135^\circ\text{C}$ $\delta h_B = 0,2\%$.

Рівняння стану для водяної пари

$$z = pv/(RvT) = (1 - 1,9 \cdot 10^{-4} p/T^{4,2})^{0,5}.$$

За тисків до $7,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ і $t \leq 800^\circ\text{C}$ $\delta z = 0,1\%$.

Питома теплота пароутворення води, кДж/кг

$$r = \exp(7,94265 - 1,59 \cdot 10^{-6} T^2).$$

Для $t = 0 \dots 140^\circ\text{C}$ $\delta r = 0,1\%$.

Завдяки фізико-хімічній депресії пара над киплячим розчином завжди є перегрітою. При $p \leq 4,5 \text{ МПа}$ і $t \leq 450^\circ\text{C}$ ентальпія перегрітої пари, кДж/кг

$$h = 2502 + 1,835t + 2,775 \cdot 10^{-4} T^2 - (14520/t - 19,73)p.$$

Тут p , МПа, $\delta h = 0,2\%$ крім стану поряд з кривою насичення.

Зв'язок між тиском сухої насиченої пари (Па) і її температурою (К) для $t = -4 \dots 156^\circ\text{C}$ з $\delta p = 0,2\%$.

$$p = \exp(23,114 - 3677/T - 241700/T^2).$$

В земних умовах повітря завжди вологе і є механічною сумішшю сухого повітря і водяної пари. В умовах цукрового виробництва компоненти вологого повітря можна вважати ідеальними газами. Повітря може знаходитися в СТП ЦВ у вигляді пухирців, а

компоненти сухого повітря можуть розчинятися у воді і цукрових розчинах.

Врожайність і цукристість цукрового буряку в значній мірі обумовлені сортом і якістю бурякового насіння. Жодна польова культура не має таких різних за формою і розміром насінин, як цукровий буряк. Розміри насіння коливаються по товщині від 1,5 мм до 6 мм, за діаметром і довжиною – від 2 мм до 8 мм. У одноросткового насіння розміри менші, ніж у багаторосткового. Середня маса 1000 насінин одноросткового насіння близько 15 г. Після дражування насіння міцність його оболонки на розчавлювання не менше 15 Н.

Коренеплід цукрового буряку – анізотропне капілярно-пористе колоїдне тіло, термодинамічно відкрита біологічна система, яка обмінюється з навколишнім середовищем енергією, речовиною і інформацією. Хімічний склад коренеплоду різний в різних точках його об'єму.

Відношення максимального діаметра коренеплоду у поперечному перерізі до мінімального в середньому близько 1,15, а відношення довжини коренеплоду до його середнього діаметра в середньому близько 3.

Модулі пружності бурякової тканини, знайдені при вигині, стиску і розтягу практично однакові. В процесі зберігання та в'янення зменшується величина модуля пружності і зростає опір різанню.

Кріоскопічна температура тканини коренеплоду $t_{кр} = -0,114^{\circ}\text{C}$ [4]. Наприклад, при $CP=25\%$ $t_{кр} = -2,85^{\circ}\text{C}$. При -12°C коренеплід замерзає до кісткоподібного стану, хоча ще близько чверті води в ньому знаходиться у рідкому стані. Молекули води, що безпосередньо взаємодіють з частинками розчинених речовин або стінками клітин коренеплоду, утворюють зв'язану воду, властивості якої відрізняються від властивостей вільної води. Останні порції зв'язаної води замерзають при температурі близько -200°C .

Об'ємна теплоємність тканини коренеплоду майже не залежить від температури і становить приблизно $3,9 \text{ МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$. Густина тканини, $\text{кг}/\text{м}^3$ $\rho_{\text{TK}} = 1127 + 4,53 \text{ CP} - 0,47\text{T}$, теплопровідність $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ $\lambda_{\text{TK}} = 1,16 - \frac{160}{\text{T}} - 5,4 \cdot 10^{-3} \cdot \text{CP}$. Для температур від $t_{кр}$ і до 80°C $\rho_{\text{TK}} = 1$, а $\delta\lambda_{\text{TK}} = 10\%$. Густина стружки і дифузійного соку майже однакові.

На основі даних про електропровідність тканини коренеплоду (близько $1,5 \text{ мСм}/\text{м}$ при 20°C) можна робити висновок про вміст золи і біологічний стан коренеплоду.

Коефіцієнт масопровідності бурякової стружки в процесі екстракції цукру [5]:

$$k_M = D \prod_{i=1}^{n=4} \varepsilon_i$$

Коефіцієнт молекулярної дифузії цукрози у водному розчині для умов роботи дифузійних апаратів:

$$D = \exp[0,0313 \text{ Цк} - 14,711 - (1985,2 + 15,35 \text{ Цк})/\text{T}]$$

Наприклад, при 70°C і $\text{Цк} = 20\%$ одержимо:

$$D = 9,59 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$$

Поправка на чистоту клітинного соку:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_4 = (0,014)^{0,042\text{Цк}}$$

Поправка, що характеризує структуру стружки, за експериментальними даними $\varepsilon_2 = \varepsilon_c = 0,75$. Залежність k_M від довжини l , м 100 г початкової маси бурякової стружки $\varepsilon_3 = \varepsilon_l = \sqrt{2,3 - 1,3 \text{ lgl}}$.

Поправка на тривалість процесу екстракції (τ , с) $\varepsilon_4 = \varepsilon_{\tau} = 1 - b \text{ lgt}$, а інтегральне середнє значення її за розглядуваний період $\bar{\varepsilon}_{\tau} = 1 - b(\text{lgt} - 1)$. Для орієнтовних розрахунків можна взяти $b = 0,0916$. Наприклад, через годину після початку процесу $\varepsilon_{\tau} = 0,25$, а $\bar{\varepsilon}_{\tau} = 0,342$.

Через зминання і тріщини геометрична і реальна поверхні стружки можуть відрізнятись. За час екстракції стружка поступово зменшується в об'ємі, розм'якшується, заглиблюється зона і зростає довжина шляху дифузії, частково перекривається зовнішня поверхня стружки і утруднюється рух соку біля неї.

Значна кількість свіжого жому пресується, а частина його після пресування висушується до $CP = 88\%$. При вмісті сухих речовин у свіжому жомі $6,5\%$, а у пресованому жомі 15% і 25% , вихід пресованого жому до маси буряку складає відповідно $30,83\%$ до м.б. і $16,46\%$ до м.б., вихід сушеного жому $5,10\%$ до м.б. і $4,54\%$ до м.б, витрата умовного палива в розрахунку на 1 т сушеного жому 556 кг і 288 кг . Витрата теплоти у сушарці на два порядки вища, ніж витрата електроенергії при роботі жомових пресів. У сушарці невелику (декілька відсотків) економію палива можуть дати часткова рециркуляція сушильного агента або додавання відхідних газів ТЕЦ замість частини повітря.

Із збільшенням цукристості буряків зростають витрати палива на переробку 1 т буряків, але вони зменшуються на виробництво 1 т цукру.

Цукрові розчини є гомогенними сумішами змінного складу. ФХВ розчинів починаються з властивостей води і закінчуються аморфними розплавами цукрози. Розчинність цукрози у воді вивчалась для $t = -14 \dots 145^{\circ}\text{C}$. Для $t = 35 \dots 80^{\circ}\text{C}$ з $\delta H = 0,1\%$:

$$H = (3,87187 \cdot 10^{-6} t^2 - 4,3218 \cdot 10^{-3} t + 0,590755) \cdot 1$$

Наприклад, при 80°C одержимо $H = 3,7066 \text{ кг цукрози}/\text{кг води}$.

Коефіцієнт молекулярної дифузії цукрози [6] для $\text{Цк} = 0 \dots 85\%$, $t = 0 \dots 100^{\circ}\text{C}$ з $\delta D = 5\%$.

$$\begin{aligned} \lg D = & (0,1792 - 5,303 \cdot 10^{-4} \text{Цк} + 1,09 \cdot 10^{-5} \text{Цк}^2 - \\ & - 1,657 \cdot 10^{-7} \text{Цк}^3)^{-1} - T^{-1} \exp(2,214 \cdot 10^{-6} \text{Цк}^3 - \\ & - 1,603 \cdot 10^{-4} \text{Цк}^2 + 9,54 \cdot 10^{-3} \text{Цк} + 6,745) - 12. \end{aligned}$$

Поправка на чистоту розчину для $\text{Ч} > 85\%$ $\varepsilon_4 = (\text{Ч}/100)^{0,042\text{Цк}}$. Наприклад, для сиропу з $\text{Цк} = 65\%$ і $\text{Ч} = 90\%$ при 70°C $D = 2,90 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$.

Густина цукрових розчинів, $\text{кг}/\text{м}^3$

$$\rho = \rho_B(1 - 0,01 \text{ CP}) + 0,01 \text{ CP} \rho_{\text{ац}} - \Delta\rho$$

де ρ_B – густина води; $\rho_{\text{ац}} = 1563,73 - 0,6t$ – густина аморфної цукрози; $\Delta\rho = (1,58951 + 1,025 \cdot 10^{-3} t) \cdot (1 - 0,01 \text{ CP}) \text{ CP}^{1,03}$ – поправка на неадитивність.

Для $CP = 0...95\%$ і $t = -14...130^\circ\text{C}$ $\delta\rho = 0,2\%$ для водних розчинів цукрози. Для виробничих розчинів похибка може зростати до 1% .

Термічний коефіцієнт об'ємного розширення розчину $(-\partial\rho/\partial t)_{p,CP}/\rho$. Концентраційний коефіцієнт зміни відносного об'єму $(-\partial\rho/\partial g_{CP})_{p,T}/\rho$, де $g_{CP} = 0,01 CP$. Динамічна в'язкість розчинів, мкПа·с:

$$\lg\mu = \lg\mu_B + 8,09 \cdot 10^{11} T^{-4,253} (1900/CP - 18) 2,363 \cdot 10^{-3} T^{-1,722} \cdot \epsilon_4 \cdot \epsilon_\phi$$

Для $t = 15...100^\circ\text{C}$ і $CP = \text{Цк} = 0...85\%$ $\delta\mu = 12\%$.

Цукрові розчини ведуть себе як ньютонівські рідини при $\mu < 100 \text{ Па}\cdot\text{с}$. При $\mu > 100 \text{ ГПа}\cdot\text{с}$ розчин переходить у склоподібний стан. Поправка на чистоту розчину:

$$\epsilon_4 = 1 - 0,37(1 - \text{Ч}/100)(380 - T)/(1900/CP - 18)^2$$

Для сирцевих і бурякових меляс в кінці виробництва ця поправка не годиться.

Поправка на об'ємну частку пузирів газу в розчині ϕ : $\epsilon_\phi = 1 + 4,5 \phi$. Наприклад, для меляси з $CP = 83,5\%$ і $\text{Ч} = 60\%$ при 40°C і $\phi = 0,028$:

$$\mu = 11,66 \cdot 0,5623 \cdot 1,125 = 7,358 \text{ Па}\cdot\text{с}$$

При постійних CP μ зменшується із зниженням Ч . Запропоновано також формули для теплопровідності, теплоємності і деяких інших властивостей цукрових розчинів [7].

Розчини цукрози у дистильованій воді майже не проводять електричний струм. Із зниженням Ч і підвищенням t електропровідність розчинів зростає. Значення відносної діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних втрат зростають з підвищенням t , зниженням CP і частоти електромагнітного поля.

Оптична густина, показник заломлювання цукрового розчину і обертання розчином площини поляризації світлового променя зростають з підвищенням CP , зниженням t і зменшенням довжини світлової хвилі. Швидкість звуку в розчині зростає із збільшенням концентрації розчину.

Поверхневий натяг розчинів бурякоцукрового виробництва на границі з водяною парою або повітрям, Н/м $\sigma \cdot 10^3 = \sigma_B + CP(5 \cdot 10^{-4}t + 4,4 \cdot 10^{-3} - 0,34)$.

Для $t = -10...140^\circ\text{C}$, $CP = 0...90\%$, $\text{Ч} = 55...100\%$ $\delta\sigma = 5\%$. Наприклад, для сиропу з $CP = 65\%$ і $\text{Ч} = 90\%$ при 80°C $\sigma = 68,9 \text{ мН/м}$.

Теоретично і експериментально показано, що для нагрівання розчину можна використовувати пару, температура якої нижча за температуру розчину.

Властивості водного розчину обумовлені видом і кількістю розчинених у воді речовин. Міра зв'язаності води з частинками розчинених речовин може бути врахована за допомогою активності води a_B .

Ефективна мольна частка сухих речовин виробничого цукрового розчину для $x \leq 0,5$

$$x = (1 + (100/CP - 1)/(4/1900 + (1/6 - 4/600)^n))^{-1}$$

де $n = 1,3 - 0,003 CP$.

Активність води у цукровому розчині:

$$a_B = (1 - x) j_B$$

де $j_B = \cos x^{-(1 + 5,35 \ln x)}$ — коефіцієнт активності води, який враховує відміну поведінки реального розчину в порівнянні з ідеальним (при визначенні косинуса треба x підставляти в радіанах). Наприклад, для $CP = 65\%$ і $\text{Ч} = 90\%$ одержимо $a_B = 0,855$.

Визначивши a_B можна розрахувати тиск водяної пари над розчином, осмотичний тиск, фізико-хімічну депресію, температуру кипіння, диференціальні теплоти пароутворення, хімічні потенціали розчину, відносну вологість повітря в стані рівноваги з розчином, криоскопічну температуру розчину [8].

Активність цукрози у її водному розчині $a_{\text{ЦК}}$ можна визначити на основі a_B , використовуючи рівняння Гіббса-Дюгема: $d \ln a_{\text{ЦК}} = 19(1 - 100/\text{Цк}) d \ln a_B$.

Цукроза не тільки важливий харчовий продукт, а і цінна хімічна сировина. За чистотою одержуваного продукту з нею не може зрівнятися жодна речовина, яку одержують у промисловому масштабі.

На побудованій нами об'ємній діаграмі стану системи цукроза-вода четверта точка системи, де в стані рівноваги одночасно співіснують розчин, лід, цукор і пара має місце при температурі -14°C , $CP = 63,6\%$ і $\rho_{\text{пари}} = 181 \text{ кПа}$.

Температура плавлення цукрози близько 180°C . Цукроза — нелеткий компонент. Вона знижує тиск водяної пари тим більше, чим вища концентрація розчину. При сталому тиску існують дві різні температури кипіння насиченого розчину (друга близька до t плавлення цукрози).

В аморфному стані цукроза має більші хімічну активність, дифузійну рухливість молекул, розчинність, гігроскопічність, питомий об'єм, теплоємність, внутрішню енергію, ентальпію і ентропію, характеризується ізотропністю властивостей.

Кристалічний стан термодинамічно більш стійкий, ніж аморфний. Природна огранка (габітус) забезпечує найменшу сумарну енергію Гіббса кристала при даному його об'ємі, і тому утворення кристала супроводжується виділенням теплоти. Елементарна комірка цукрози включає дві молекули і являє собою пряму призму, основою якої є паралелограм. Об'єм комірки при 20°C складає $0,715 \text{ нм}^3$.

Кристал цукрози належить до сфероїдального класу моноклінної сингонії і має гвинтову вісь симетрії другого порядку. Координаційне число (кількість найближчих сусідів у молекули) — 12. Густина кристала більша, ніж у аморфної цукрози, але менша ніж парціальна густина цукрози у розведеному розчині. Кристали цукрози не проводять електричний струм, є люмінесцентними і мають п'єзоелектричний ефект.

Фізичні властивості кристала описуються за допомогою тензорів — величин, які на будь-якому базисі векторного простору можна представити у вигляді системи компонент (чисел). Наприклад, густина і теплоємність тензори нульового рангу (визначаються одним числом $3^0 = 1$), коефіцієнти пружності є тензорами четвертого рангу ($3^4 = 81$ компонента).

Густина кристала цукрози, кг/м^3 $\rho_K = 1592 - 0,17t$, дійсна масова теплоємність, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ $c_K = 1150 + 4t$.

Співвідношення між об'ємом елементарної структурної комірки цукрози і об'ємом молекули води

близько 24,0. Це співвідношення майже не змінюється із зміною температури.

При $C_k < 8\%$ молекули цукрози в розчині практично не взаємодіють між собою. При $C_k > 45\%$ починається колективний процес утворення асоціатив і зростання числа молекул в асоціатах. При високих швидкостях кристалізації з гранями кристала взаємодіють не окремі молекули, а їх асоціати. Коли розмір асоціата перевищує розмір критичного зародка, виникає безліч дрібних центрів кристалізації.

При $t = 30...85^\circ\text{C}$ і $Ч = 80...100\%$ на границі розчин-кристал поверхневий натяг $\sigma_{pk} \approx 1,8 \text{ мДж/м}^2$. З підвищенням σ_{pk} збільшується критичний розмір і зменшується кількість зародків у пересиченому розчині.

При розрахунках виходу кристалів з утфелю частина формул враховує, а частина формул не враховує наявність плівки міжкристального розчину на поверхні кристала. Формули дають різні результати. Для утфелю і всіх його фаз зберігається незмінним співвідношення нецукор/вода стосовно самого утфелю, кристала і міжкристального розчину:

$$H_{ЦУ}/B_Y = H_{ЦК}/B_K = H_{ЦМ}/B_M.$$

Завжди:

$$(Ц_{КУ}-Ц_{KM}) > (Ч_Y-Ч_M) > (H_{ЦМ}-H_{ЦУ}) > (CP_Y-CP_M) = B_M - B_Y$$

де: B – вміст води у масі продукту, %.

В кінці процесу уварювання утфеля витрати теплоти на випаровування води і втрати тепла в навколишнє середовище в значній мірі компенсуються теплотою кристалізації цукру.

При однаковій концентрації сухих речовин в'язкість утфелю завжди менша ніж в'язкість пересиченого розчину. Контакт між кристалами починається при їх вмісті в масі утфелю K_p близько 45%. Максимально можливий вміст кристалів близько 60%. Співвідношення між в'язкістю утфелю практично незруйнованої структури при $K_p < 55\%$ (при більших K_p з'являється статична напруга зсуву) і в'язкістю міжкристального розчину:

$$\mu_{УН}/\mu_M = \exp((69/K_p^2 + 29/K_p - 0,355)^{-1}).$$

Максимально припустимий вміст кристалів при охолодженні утфелю останньої кристалізації в мішалках кристалізаторах:

$$K_p = 138/((841+276(0,355+1/\ln(\mu_{УН}/\mu_M)))^{0,5}-29).$$

Наприклад, при $\mu_{УН} = 250$ та $\mu_M = 12 \text{ Па}\cdot\text{с}$ одержимо $K_p = 44,6\%$.

В'язкість гранично зруйнованої структури утфелю $\mu_{ЗС}$ менша за $\mu_{УН}$:

$$\mu_{ЗС}/\mu_{УН} = \exp((44/K_p - 3080/K_p^2 - 0,216)^{-1}).$$

Наприклад, при $K_p = 30\%$ і $K_p = 55\%$ $\mu_{ЗС}$ складає відповідно 0,631 та 0,100 від $\mu_{УН}$.

Оскільки $\rho_k > \rho_M$ об'ємний вміст кристалів в утфелі ϕ завжди менший за K_p :

$$\phi = 100/[1 + \rho_k(100/K_p - 1)/\rho_M],$$

Наприклад, при 75°C , $K_p = 55\%$ і $CP_M = 82,5\%$ одержимо $\phi = 51,94\%$.

Густина і масова ізобарна теплоємність утфелів

$$\rho_Y = [1/\rho_M - 0,01K_p(1/\rho_M - 1/\rho_K)]^{-1},$$

$$c_Y = c_M - 0,01 K_p(c_M - c_K).$$

Формули для визначення інших адитивних властивостей утфелю аналогічні формулі для теплоємності утфелю.

Однаковий готовий продукт можна одержати при різних технологічних схемах, різних режимах і різному обладнанні. Задача полягає у відшуванні оптимального варіанту. Саме нестачею даних з ФХВ пояснюються рідкі і не завжди вдалі спроби створення нових технологічних процесів і обладнання.

Основа одержання даних з ФХВ – експеримент, але теоретичні уявлення орієнтують проведення і полегшують аналіз експериментів. Вірогідні розрахункові методики іноді дозволяють оцінювати ФХВ (бажано кількома незалежними методами) з точністю близькою до експерименту і прогнозувати властивості маловивчених продуктів. Поступовий перехід від експериментального вивчення ФХВ до їх розрахунку обіцяє суттєвий вииграш часу і коштів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пошук науково-технічної інформації з харчової промисловості (цукрове виробництво) / Д.Є.Сінат-Радченко, В.Ф.Полякова, В.Л.Помаз. – К.: УДУХТ, 1995. – 28 с.
2. Контроль якості і безпеки харчових продуктів / Р.М.Надточей, Д.Є.Сінат-Радченко, Н.В.Плотнікова та ін. – К.: УДУХТ, 1998. 44 с.
3. Сінат-Радченко Д.Є., Сінат-Радченко П.Д. Формули для определения теплофизических свойств воды, водяного пара и воздуха применительно к условиям пищевой технологии // Респ. межвед. научн.-техн. сб. "Пищевая промышленность". – 1992. – Вып. 38. – С. 30 – 32.
4. Сінат-Радченко Д.Є., Василенко С.М., Українець А.І. Оцінка процесу заморожування рослинних продуктів // Харчова промисловість. Додаток до журналу № 3. – К.: НУХТ, 2004. – С. 153 – 154.
5. Про коефіцієнт масопровідності бурякової стружки / Д.Є.Сінат-Радченко, М.М.Пушанко, С.М.Василенко, М.О.Масліков // Наукові праці УДУХТ – 2001. – № 10 (спецвипуск). – Ч.ІІІ. – С. 27 – 28.
6. Сінат-Радченко Д.Є., Гулий І.С., Українець А.І. Коефіцієнт молекулярної дифузії цукрози у водних розчинах // Там же. – Ч. I. – С. 104 – 105.
7. Сінат-Радченко Д.Є., Василенко С.М., Штангеев К.О. Расчетные зависимости теплофизических свойств сахарных растворов // Сахар, 2004, № 1. – С. 43.
8. Сінат-Радченко Д.Є. Термодинамічні властивості виробничих цукрових розчинів // Цукор України. –1996. –№ 1. –С.22– 24.