

Д.Е.Синат-Радченко, канд. техн. наук, НУХТ

D.Sinat-Radchenko

А.В.Форсюк, канд. техн. наук, НУХТ

A.Forsyuk

С.М.Василенко, докт. техн. наук, НУХТ

S.Vasylenko

ТЕПЛОФИЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЦУКРОВИХ РОЗЧИНІВ ЯК ФУНКЦІЇ КІЛЬКОХ ПАРАМЕТРІВ

У прямокутній ізометричній проекції побудовано поверхні, які відповідають густині, коефіцієнту ізобарного термічного розширення, теплопровідності, температуропровідності, теплоємності, кінематичній в'язкості цукрових розчинів та коефіцієнту молекулярної дифузії цукрози в діапазоні температур $t = 0...140$ °С та концентрації сухих речовин $CP = 0...90$ %.

Ключові слова: цукрові розчини, теплофізичні властивості, ізометричні проекції, температура, концентрація, чистота розчину.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА САХАРНЫХ РАСТВОРОВ КАК ФУНКЦИИ НЕСКОЛЬКИХ ПАРАМЕТРОВ

В прямоугольной изометрической проекции построены поверхности, отвечающие плотности, коэффициенту изобарного термического расширения, теплопроводности, температуропроводности, теплоемкости, кинематической вязкости сахарных растворов и коэффициенту молекулярной диффузии сахарозы в диапазоне температур $t = 0...140$ °С и концентрации сухих веществ $CB = 0...90$ %.

Ключевые слова: сахарные растворы, теплофизические свойства, изометрические проекции, температура, концентрация, чистота раствора.

TERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SUGAR SOLUTION AS FUNCTIONS OF SOME PARAMETERS

The set of surfacers related to density, isobaric thermal expansion, heat conductivity, heat capacity, viscosity and molecular diffusivity of sucrose within the range of temperatures $t = 0...140$ °C and dry substance concentration $DM = 0...90$ % were developed in the orthogonal isometric projections.

Функція двох змінних $z = f(x,y)$ в прямокутній системі координат може бути представлена у вигляді поверхні. Зручним видом проекції є прямокутна ізометрія, де показники викривлення по всіх трох координатах однакові і становлять 0,8165 (довжина накресленого відрізка дорівнює 0,8165 його натуральної величини).

Аксометричні зображення більш наочні, ніж звичайні проекції поверхні $z(x,y)$ на одну з площин zOx чи zOy [1]. Тому нами побудовано такі зображення для деяких важливих теплофізичних властивостей водних розчинів цукрози в діапазоні температур $t=0...140$ °C та концентрації сухих речовин $CP=0...90\%$.

Для густини ρ (рис.1), коефіцієнта ізобарного термічного розширення β_p (рис.2), теплопровідності λ (рис.3), температуропровідності a (рис.4), дійсної ізобарної питомої масової теплоємності c (рис.5) шкали вертикальної осі (вісь Oz) виконано в звичайних (рівномірних) координатах, тому що в розглянутих межах температури та концентрації зміни цих властивостей невеликі.

Кінематична в'язкість ν (рис.6) і коефіцієнт молекулярної дифузії цукрози D (рис.7) в розглянутих інтервалах температури та концентрації змінюються в тисячі разів, тому вертикальні шкали виконано у логарифмічних координатах.

На поверхнях $z(t, CP)$ проведено ізотерми ($t = \text{const}$), ізоконцентрати ($CP = \text{const}$), лінії сталого значення властивості ($z = \text{const}$) і лінії, що відповідають насиченим розчинам (коефіцієнт пересичення $\Pi = 1$).

Значення ρ , β_p , λ і a для чистих і виробничих цукрових розчинів з однаковими t і CP майже не відрізняються.

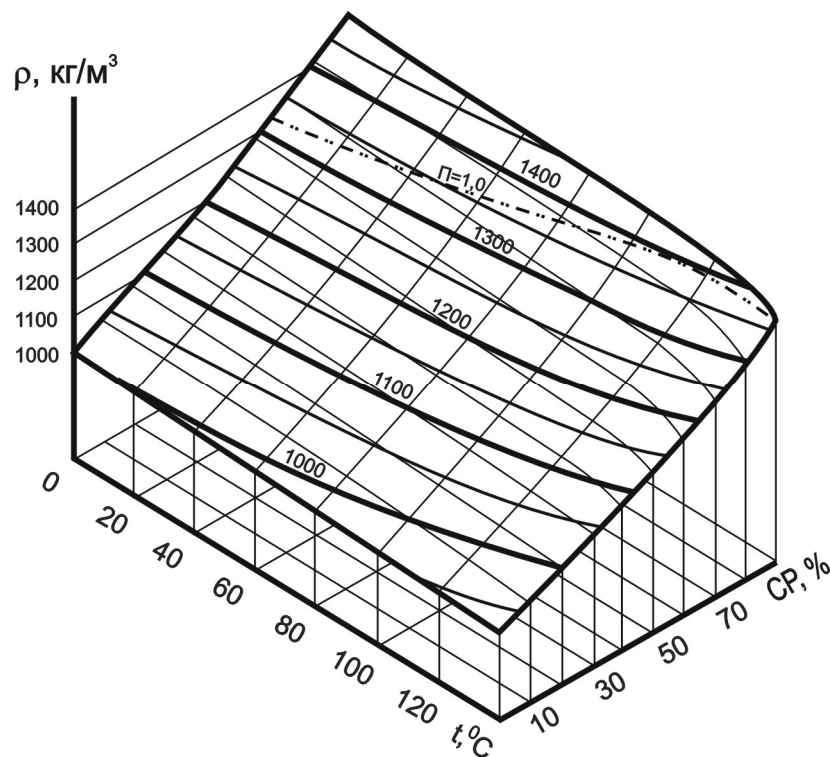


Рис.1

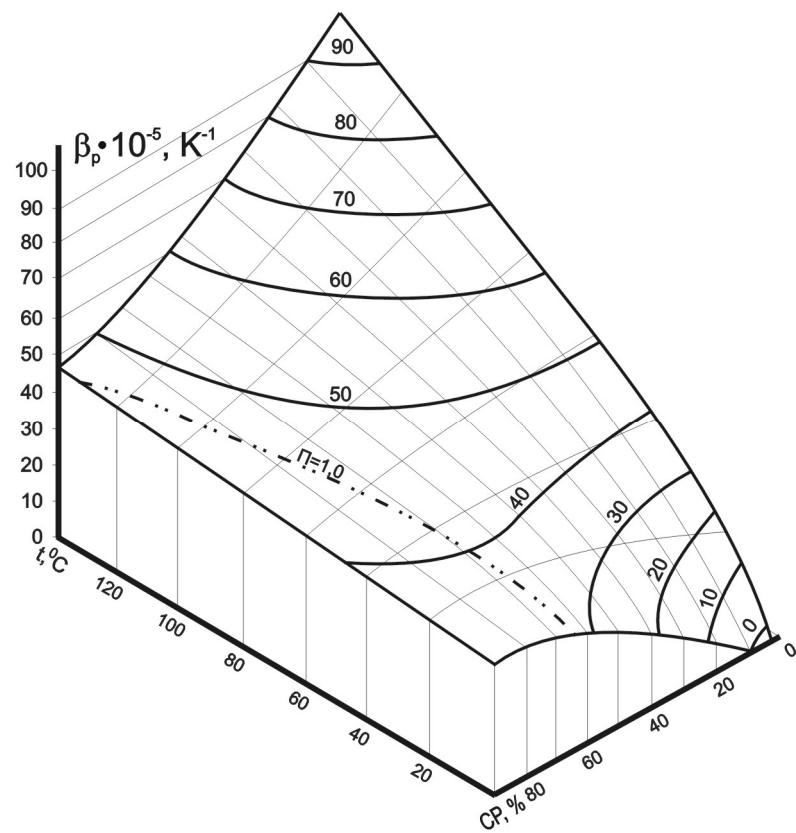


Рис.2

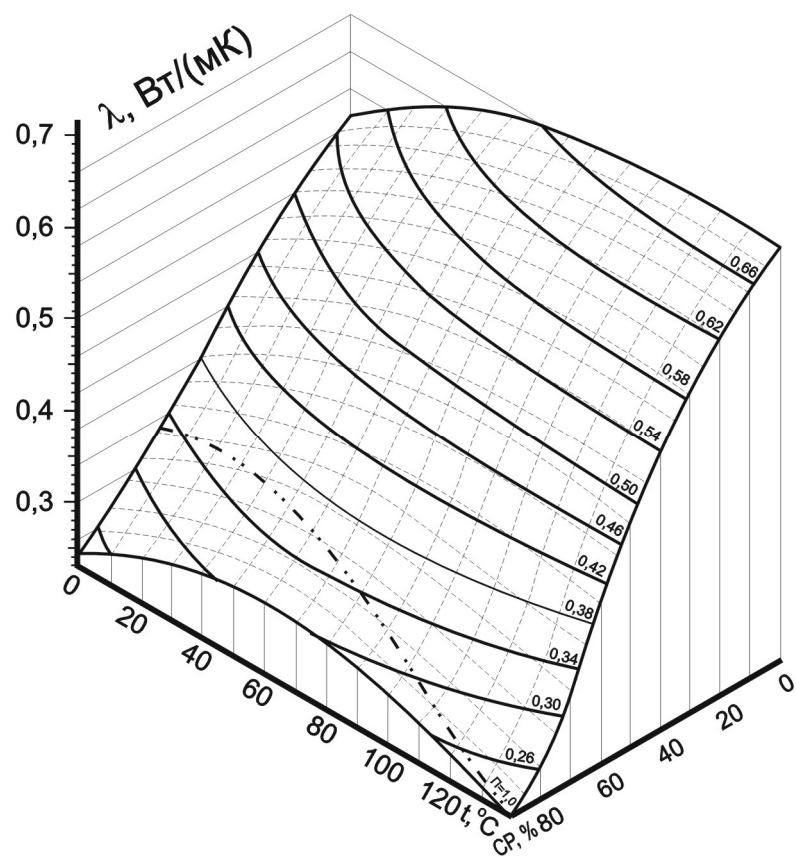


Рис.3

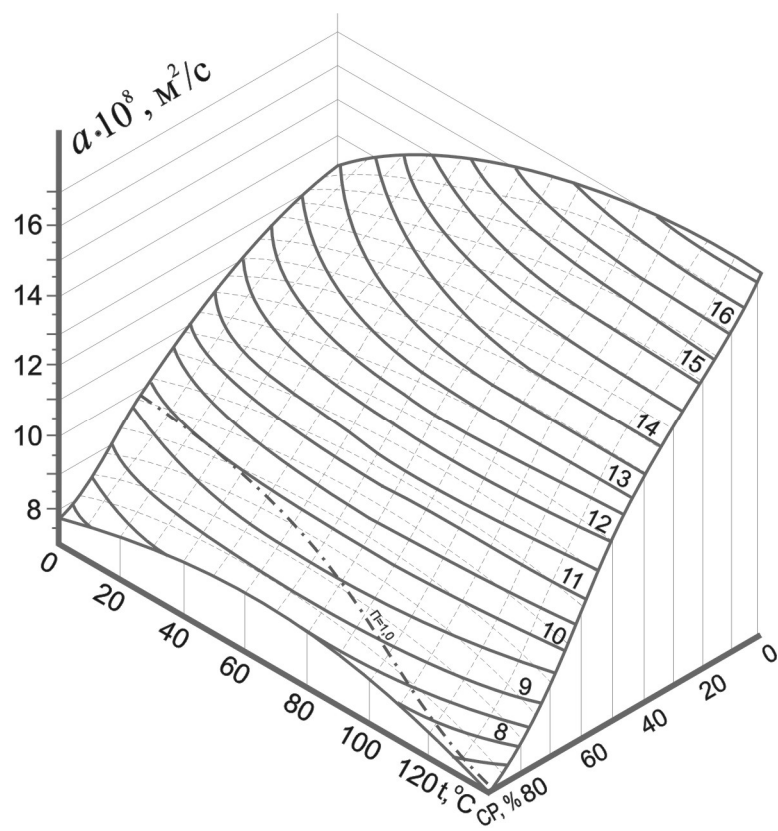


Рис.4

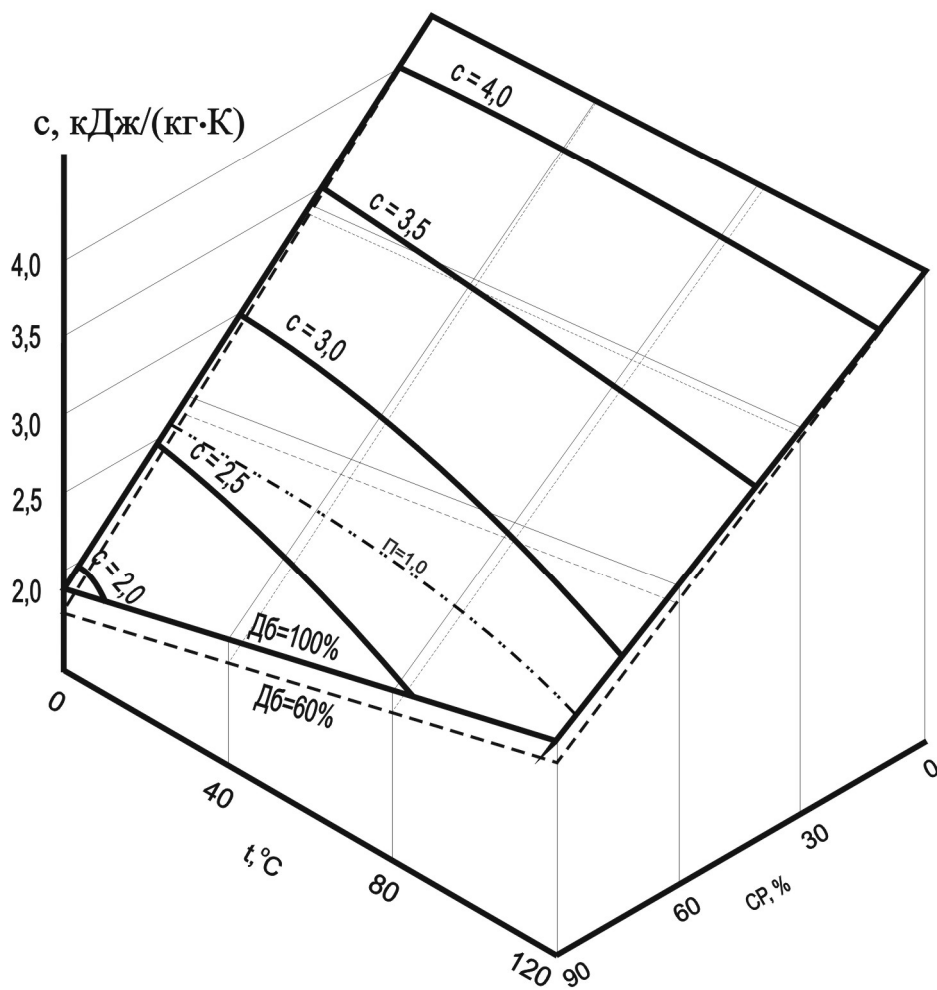
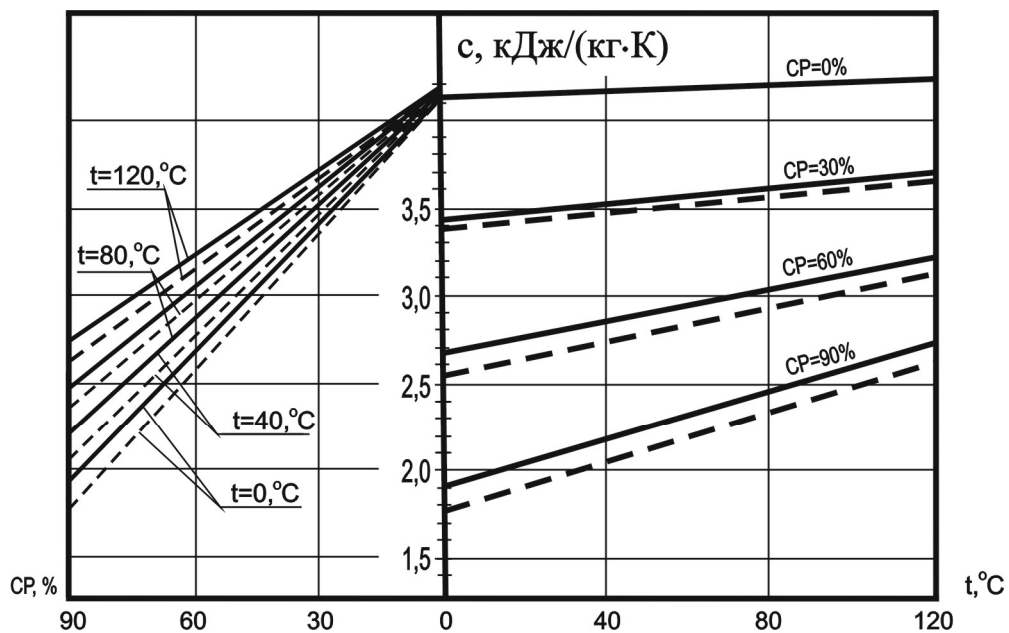
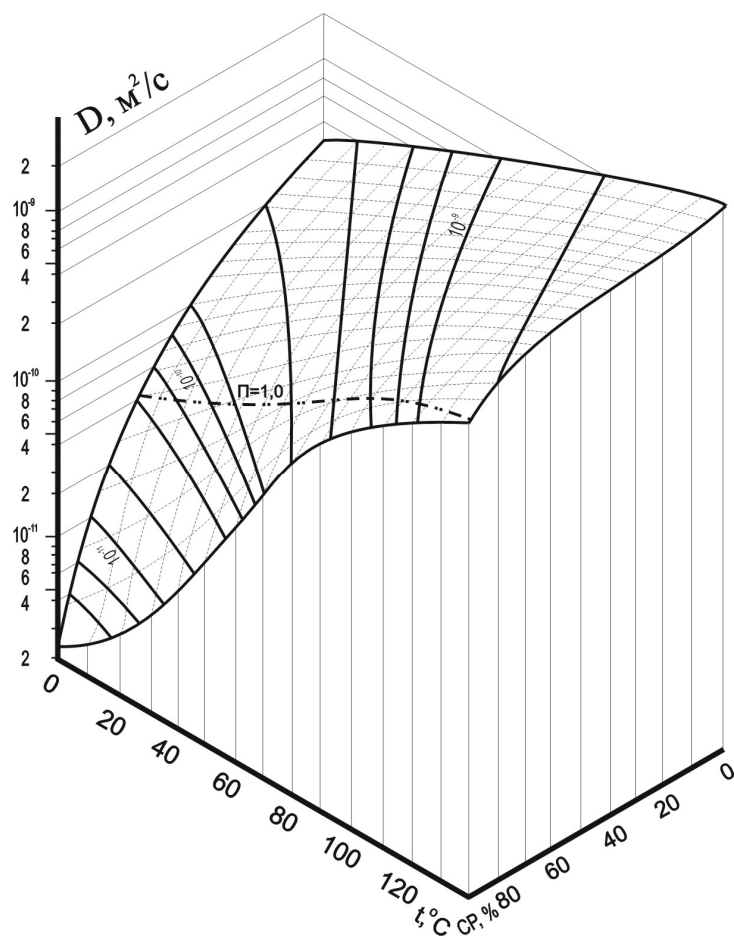
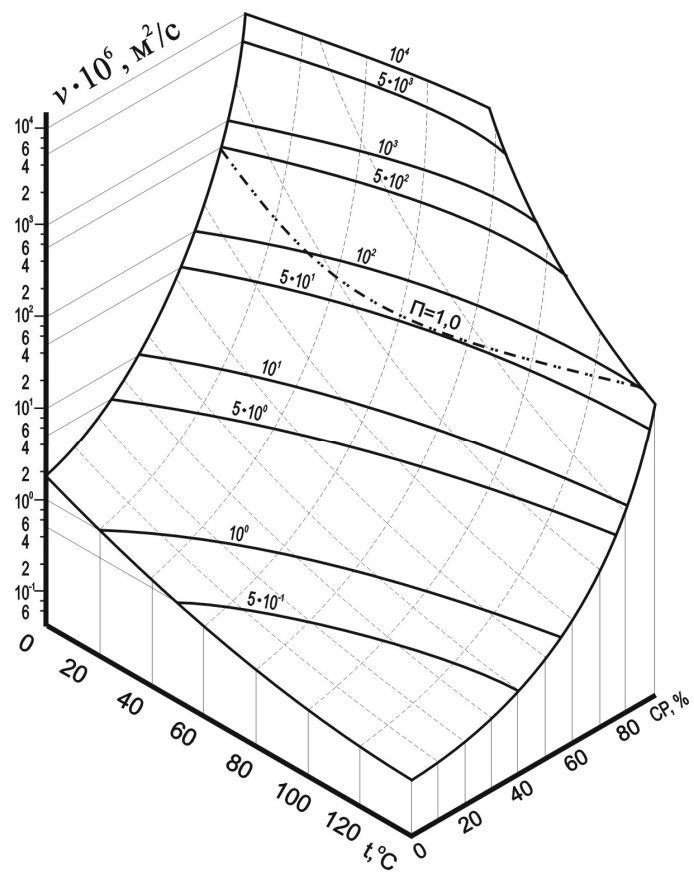


Рис.5



Значення ρ , ν і D за однакових t і CP зменшуються із зниженням чистоти розчину $\chi = 100 \cdot \zeta_k / CP$ (ζ_k – процентний вміст цукрози в масі розчину) [2, 3, 4].

Наприклад, при 60°C для сиропу з вмістом $CP = 65\%$ і $\chi = 90\%$ – $\rho = 1295 \text{ кг/м}^3$, $\beta_p = 4,59 \cdot 10^{-4} \text{ 1/K}$, $\lambda = 0,409 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$, $\alpha = 11,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$, $c = 2812 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$, $\nu = 14,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

На рис.5 для теплоємності показано вплив чистоти (доброякісності Дб) розчину (пунктирні лінії відповідають $\chi = 60\%$). Крім аксонометрії поверхонь $c = f(CP, t, \chi)$ наведено їхні проекції в координатах CP та t . Поправка теплоємності на чистоту розчину $\Delta c_\chi = c_\chi - c = -0,0461 \cdot CP(100 - \chi)$.

Стосовно прикладу з сиропом $\Delta c_\chi = -30 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ і теплоємність чистого цукрового розчину з вмістом $CP = 65\%$ буде на $30 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ вищою, ніж теплоємність виробничого розчину c_χ чистотою $\chi = 90\%$.

Поправка на чистоту виробничого розчину до його кінематичної в'язкості

$$\varepsilon_\chi = \nu_\chi / \nu = 1 - 0,37(1 - \chi/100)(106,8 - t) / \left(\frac{1900}{CP} - 18 \right)^2.$$

Відносно розглядуваного сиропу $\varepsilon_\chi = 0,986$. У меляси з вмістом $CP = 83,5\%$, $\chi = 60\%$ і $t = 40^\circ\text{C}$ поправка становить $\varepsilon_\chi = 0,562$.

У розчині цукрози з $\zeta_k = 65\%$, $\chi = 100\%$ і $t = 70^\circ\text{C}$ коефіцієнт молекулярної дифузії цукрози $D = 3,87 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$. Для виробничого розчину з однаковим вмістом цукрози і $\chi = 90\%$ необхідно вводити поправку на чистоту розчину. При $\chi > 85\%$ ця поправка

$$\varepsilon_\chi = D_\chi / D = (\chi/100)^{0,0421\zeta_k}.$$

Для нашого прикладу $\varepsilon_\chi = 0,75$, а коефіцієнт молекулярної дифузії цукрози у виробничому розчині $D_\chi = 2,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$.

Висновки. Наведені аксонометричні зображення густини (ρ , кг/м^3), коефіцієнта ізобарного термічного розширення (β_p , K^{-1}),

теплопровідності (λ , Вт/(м·К)), температуропровідності (a , м²/с), дійсної ізобарної питомої масової теплоємності (c , Дж/(кг·К)), кінематичної в'язкості (ν , м²/с) та коефіцієнта молекулярної дифузії цукрози (D , м²/с) наочно показують вплив температури ($t = 0 \dots 140$ °С) і концентрації сухих речовин ($CB = 0 \dots 90$ %) водних розчинів цукрози на ці властивості.

За однакових t і CB значення c , ν , і D для виробничих розчинів нижчі, ніж для чистих. Наведено поправки, які враховують вплив чистоти розчину.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Синат-Радченко Д.Е.* Диаграмма состояния системы сахароза-вода /Сахарная промышленность.— 1984.— №12.— с.22-23.
2. *Синат-Радченко Д.Е., Василенко С.М., Штангеев К.О.* Расчетные зависимости теплофизических свойств сахарных растворов. /Сахар.— 2004.— №1.— с.43.
3. *Синат-Радченко Д.Е., Гугурова Г.И.* Формулы для динамической и кинематической вязкости чистых и производственных сахарных растворов // Тепло- и массообменные процессы в пищевой промышленности: Темат. сб. науч. тр.- К.: УМКВО.— 1990.— с.3-7.
4. *Сінат-Радченко Д.Е., Гулий І.С., Українець А.І.* Коефіцієнт молекулярної дифузії цукрози у водних розчинах /Наукові праці УДУХТ.— 2001.— №10.— ч.1.—с.104-105.