

УДК 532.137:681.2

Ганна Крих, Мар'яна Кіндер
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ СУХИХ РЕЧОВИН ТОМАТНИХ КОНЦЕНТРАТІВ ЗА ЇХ РЕОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

© Крих Ганна, Кіндер Мар'яна, 2002

The possibility of the definition of dry weight concentration of tomato concentrates based on continuous measurement of rheological parameters is substantiated. The analytical dependence of rheological parameters of tomato concentrates from temperature are obtained with the purpose of their reduction to given temperature.

На сьогодні перед багатьма виробниками продуктів харчування надзвичайно актуальним є завдання покращання їх якості разом з економним використанням сировини та енергоресурсів для їх виготовлення. У харчовій промисловості більшість процесів пов'язана з механічною чи теплофізичною обробкою сировини і напівфабрикатів. До таких процесів належать подрібнення і перемішування, відтискання і формування, штампування, випікання, випарювання тощо. Реалізація переробки і транспортування харчових продуктів суттєво залежить від реологічних властивостей матеріалів, який визначається умовами їх навантаження. Між реологічними параметрами харчових продуктів та їх технологічними характеристиками – густиною, концентрацією – існують певні зв'язки. Якщо такі залежності відомі, то неперервне вимірювання реологічних параметрів харчових продуктів створює можливість вибирати оптимальні режими технологічних процесів, отримувати харчові продукти із заданими показниками якості [1, 2].

Особливістю реологічної поведінки багатьох харчових продуктів є те, що одна і та ж речовина залежно від концентрації може виявляти різні види текучості. Так, для томатних концентратів вміст сухих речовин, який є основним показником якості, значно впливає на їх реологічні властивості. При цьому змінюється і характер реологічної поведінки: при вмісті сухих речовин менше 8% концентрати є ньютонівськими рідинами, при концентрації сухих речовин від 8 до 15% – псевдопластичними, а при вмісті сухих речовин більше 15% виявляються в'язкопластичні властивості. Відповідно до зміни реологічної поведінки матеріалу і зміни його реологічних параметрів змінюються також і залежності, що пов'язують реологічні параметри з показниками якості харчових продуктів [3, 4].

Структурно-механічні характеристики більшості харчових продуктів, як і багатьох дисперсних систем, залежать також і від температури. Температура – один з найважливіших факторів, що значно впливає на реологічні властивості матеріалу. Як показали дослідження [4], ефективна в'язкість томат-продуктів із підвищенням температури і зниженням концентрації зменшується. Так, при зміні температури від 20 до 80 °C і швидкості зсуву 10 с⁻¹ в'язкість томат-продуктів із вмістом сухих речовин 5% зменшується в 1,8 раза, а при вмісті сухих речовин 30% – в 2 рази. При однаковій температурі ефективна в'язкість продуктів зростає із підвищенням концентрації сухих речовин. Чим температура нижча, тим швидше зростає ефективна в'язкість із підвищенням концентрації продукту. Так, при температурі 80 °C, швидкості зсуву 10 с⁻¹ і зростанні концентрації томат продуктів від 10 до 30% ефективна

в'язкість збільшується в 125 разів, а при температурі 20°C – в 1058 разів. Внаслідок цього неможливо за результатами вимірювання реологічних параметрів, виконаних при різних значеннях температури, оцінити вміст сухих речовин в томатних концентратах.

Отже, для неперервного визначення концентрації сухих речовин в томат-продуктах за їх реологічними параметрами, вимірними при різних температурах, необхідно мати аналітичні залежності цих параметрів як від температури, так і від концентрації сухих речовин.

Розглянемо знаходження цих залежностей на прикладі експериментальних досліджень томатних концентратів сорту VF-145-4-Селекта з різними концентраціями сухих речовин в діапазоні температур від 20 до 60 °C [5]. Реологічна поведінка томатних концентратів в досліджуваному діапазоні швидкостей зсуву підпорядковувалась моделі Гершеля-Балклі

$$\tau = \tau_0 + (K \cdot \dot{\gamma})^n \quad (1)$$

де τ – дотичне напруження зсуву; $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву.

Експериментальні значення реологічних параметрів цієї моделі: показник консистенції K , показник нелінійності n , граничне напруження зсуву τ_0 для різних значень концентрації сухих речовин C і температур T , наведені в табл. 1. З цих даних видно, що температура суттєво впливає на показник консистенції K , менше – на граничне напруження зсуву τ_0 і не впливає на показник нелінійності n . Показник нелінійності n залежить лише від концентрації сухих речовин. Проте значно сильніше зміна концентрації сухих речовин впливає на показник консистенції K і показник нелінійності n .

Таблиця 1

Значення реологічних параметрів томатних концентратів моделі Гершеля-Балклі

$C, \%$	20			30			40		
$T, ^\circ\text{C}$	20	40	60	20	40	60	20	40	60
K	11	7	3	38	31	25	98	89	81
n	0,32			0,36			0,40		
$\tau_0, \text{Па}$	25	14	5,3	80	53	33	280	210	157

В основу побудови аналітичних залежностей реологічних параметрів від температури і концентрації покладена апроксимація даних поліноміальним рівнянням, що в загальному має вигляд

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_m \cdot x^m = \sum_{k=0}^m a_k \cdot x^k \quad (1)$$

де y – реологічний параметр; x – температура або концентрація сухих речовин томатних концентратів; m – степінь полінома; a_0, a_1, \dots, a_m – коефіцієнти полінома.

Коефіцієнти апроксимації визначались методом найменших квадратів, згідно з яким шукали такі значення коефіцієнтів полінома a_0, a_1, \dots, a_m , які б забезпечували мінімум суми квадратів відхилень розрахункових та експериментальних значень реологічних параметрів

$$I = \sum_{j=1}^N \left(\sum_{k=0}^m a_k \cdot x_j^k - y_j^e \right)^2. \quad (3)$$

де N – кількість пар експериментальних даних. Наприклад, для кожного значення концентрації сухих речовин $N=3$.

Точність апроксимації оцінювалась також і за максимальною наведеною похибкою δ

$$\delta = \frac{|y - y^e|_{\max}}{y_{\max}^e - y_{\min}^e} \cdot 100\%. \quad (4)$$

де y, y^e – розрахункові та експериментальні значення реологічного параметра; y_{\max}^e, y_{\min}^e – верхня і нижня межа зміни реологічного параметра.

Результати обробки даних показали, що залежність реологічних параметрів томатних концентратів від температури достатньо точно описується лінійними рівняннями ($m=1$) у вигляді

$$y_i = a_{0i} + a_{1i}T \quad (5)$$

де $i = 1, 2, 3$ – номер реологічного параметра; y_1, y_2, y_3 – розрахункові значення реологічних параметрів відповідно K, n, τ_0 ; a_{0i}, a_{1i} – шукані коефіцієнти, значення яких наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів рівнянь (5) для моделі Гершеля-Балклі

C, %	a_{01}	a_{11}	a_{02}	a_{12}	a_{03}	a_{13}
20	15	-0,2	0,32	0	34,4667	-0,4925
30	44,3333	-0,325	0,36	0	102,3333	-1,175
40	106,333	-0,425	0,40	0	338,6667	-3,075

Максимальні наведені похибки δ визначення реологічних параметрів моделі Гершеля-Балклі за рівняннями (5) в усьому діапазоні температур склали для індекса консистенції K – 1,28%, а для граничного напруження зсуву τ_0 – 2,48 %.

На рис. 1 зображено графіки отриманих залежностей реологічних параметрів моделі Гершеля-Балклі від температури продукту при різних концентраціях сухих речовин. На цих же графіках “зірочками” позначені експериментальні вихідні значення реологічних параметрів.

З метою отримання аналітичних залежностей реологічних параметрів не тільки від температури, а й від концентрації сухих речовин C , була проведена апроксимація отриманих коефіцієнтів a_{0i}, a_{1i} рівнянь (5), як функцій C . Враховуючи, що кількість експериментальних значень кожного реологічного параметра наведена для трьох значень концентрації, степінь апроксимуючого полінома не перевищувала двох ($m \leq 2$). Отже, апроксимація коефіцієнтів a_{0i}, a_{1i} здійснювалась відповідно рівняннями вигляду

$$a_{0i} = b_{0i} + b_{1i} C + b_{2i} C^2, \quad (6)$$

$$a_{1i} = d_{0i} + d_{1i} C + d_{2i} C^2. \quad (7)$$

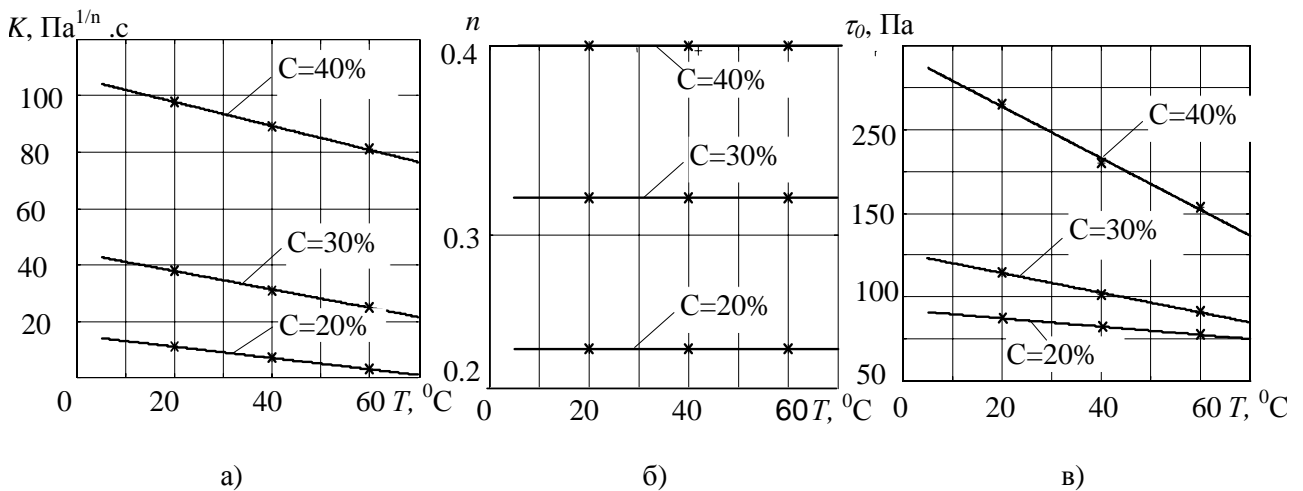


Рис. 1. Графіки залежності реологічних параметрів томатних концентратів для моделі Гершеля–Балклі від температури: а – показника консистенції; б – показника нелінійності; в – граничного напруження зсуву

Коефіцієнти цих рівнянь b_{0i}, b_{1i}, b_{2i} і d_{0i}, d_{1i}, d_{2i} , знайдені за методом найменших квадратів, наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів рівнянь (6) і (7)

i	a_{0i}			a_{1i}		
	b_{0i}	b_{1i}	b_{2i}	d_{0i}	d_{1i}	d_{2i}
1	54,3590	-5,2353	0,1634	0,0208	-0,0112	-
2	0,28	0,004	-	-	-	-
3	404,1339	-35,3300	0,8423	-2,78	0,2361	-0,0061

Отримані рівняння

$$K = b_{01} + b_{11} C + b_{21} C^2 + (d_{01} + d_{11} C) T \quad (8)$$

$$n = b_{02} + b_{12} C \quad (9)$$

$$\tau_0 = b_{03} + b_{13} C + b_{23} C^2 + (d_{03} + d_{13} C + d_{23} C^2) T \quad 4 \quad (10)$$

забезпечують розрахунок показника консистенції з похибкою $\delta \leq 0,8\%$, граничного напруження зсуву – менше $1,7\%$. Похибка розрахунку показника нелінійності n дорівнює нулю. Для прикладу на рис. 2. показані графіки одержаних залежностей показника консистенції від концентрації C , розрахованих за рівнянням (8) для різних значень температури.

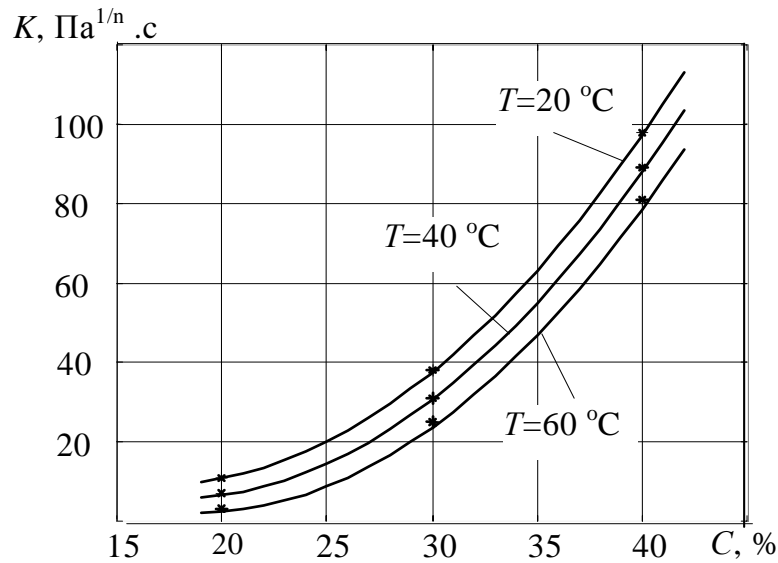


Рис. 2. Графіки залежності показника консистенції томат-продуктів від концентрації сухих речовин

Аналогічні рівняння отримані для томат-продуктів, що підпорядковуються псевдопластичній моделі Оствальда та лінійної в'язкопластичної моделі Бінгама-Шведова. Характер залежностей реологічних параметрів цих моделей від температури і вмісту сухих речовин подібний до змін параметрів моделі Гершеля–Балклі.

Переробка томатних продуктів та напівфабрикатів здійснюється в умовах змінних температур. Реологічні параметри, виміряні при змінних значеннях температури, очевидно теж будуть змінюватись, що ускладнює аналіз реологічної поведінки речовини. Тому в практиці неперервних вимірювань за відсутності систем термостабілізації контрольованого середовища застосовують приведення вимірних значень реологічних параметрів до заданої температури. Отримані рівняння (5) можна використати для приведення показника консистенції K і граничного напруження зсуву τ_0 , виміряних при температурі T , до заданого значення температури T_0

$$K_{np} = K \cdot s_1,$$

$$\tau_{0np} = \tau_0 \cdot s_3,$$

де K_{np} , τ_{0np} – значення показника консистенції і граничного напруження зсуву, приве-

дені до температури T_0 ; $s_1 = \frac{a_{01} + a_{11}T_0}{a_{01} + a_{11}T}$, $s_3 = \frac{a_{03} + a_{13}T_0}{a_{03} + a_{13}T}$ – коефіцієнти, що залежать

від поточного значення температури.

Рівняння (8), (9), (10) дають змогу визначати концентрацію сухих речовин у томатних концентратах, що описуються моделлю Гершеля-Балклі, за їх реологічними параметрами і температурою.

Отже, якщо під час вимірювань встановлено реологічну модель томатних концентратів, то, користуючись відповідними для даної моделі рівняннями зв'язку її реологічних параметрів з технологічними характеристиками, можна визначити концентрацію сухих речовин – основний показник якості томат-продуктів.

1. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. *Инженерная реология пищевых материалов*. – М.: Лёг. и пищ. пром-сть, 1981. – 215с. 2. Скобло Д.И., Глыбин И.П. *Автоматический контроль и регулирование процессов пищевых производств* – К.: Техника, 1974 – 488с. 3. *Структурно-механические характеристики пищевых продуктов. Справочник*. (Под ред. Горбатова А.В.). – М.: Лёг. и пищ. пром-ть, 1982. – 294 с. 4. Гринберг Н.Х. *Вязкость и структурно-механические свойства томатопродуктов* // 1977. – № 9. – С.39-40. 5. Коларов К.М. *О некоторых реологических характеристиках томатных концентратов* // *Известия вузов СССР. Пищевая технология*. – 1971. – № 2. – С. 175 – 177.