6. РОЗРАХУНОК РЕОЛОГІЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ХАРЧОВИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

В.С.Гуць,
О.А.Коваль
Національний університет харчових технологій

Однією з характеристик харчових продуктів є їх структурно-механічні властивості (консистенція) складова яких – реологія. Реологія дозволяє якісно і кількісно визначити поведінку продукту в умовах напруженого стану. До основних реологічних характеристик харчових продуктів відносять пружність, пластичність, в'язкість. Для моделювання, аналізу реологічних властивостей запропоновано використовувати диференціальні рівняння другого порядку та виконувати їх розв'язок і аналіз методами символьної комп'ютерної математики. Після проведення аналітичних досліджень методів визначення реологічних властивостей харчових продуктів, запропоновано математичну модель, яка відображає поведінку в'язко-пружної харчової дисперсної системи, якщо ця система після стискання або розтягування має залишкову деформацію

$$\dot{\tau} + \tau \frac{G}{\mu_0 + \mu_1} = \ddot{\gamma} \frac{\mu_0 \mu_1}{\mu_0 + \mu_1} + \dot{\gamma} \frac{\mu_0 G}{\mu_0 + \mu_1} \tag{1}$$

Така поведінка характерна для більшості харчових продуктів, якщо не відбувається повного руйнування суцільності структури і вона частково повертається до початкового стану.

Спростимо рівняння (1) за умови $\mu_0=\mu_1=\mu$:

$$2\dot{\tau} + \tau \frac{G}{\mu} = \ddot{\gamma}\mu + \dot{\gamma} G \tag{2}$$

Якщо деформування відбувається при $\tau=\tau_0=const$, маємо:

$$\tau_0 = \frac{\mu^2}{G}\ddot{\gamma} + \mu\dot{\gamma} \tag{3}$$

Рівняння (3) – неоднорідне лінійне диференціальне рівняння другого порядку. Розв'язок його при початкових умовах t=0, $\gamma(0)=0$; $\dot{\gamma}(0)=V(0)=V_0$:

$$\gamma(t) = \frac{e^{-\frac{Gt}{\mu}}(\tau_0 - V_0\mu)}{G} + \frac{\tau_0 t}{\mu} + \frac{V_0 \mu}{G} \tag{4}$$

Після диференціювання знайдемо швидкість деформування

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{e^{-\frac{Gt}{\mu}}(V_0\mu - \tau_0)}{\mu} + \frac{\tau_0}{\mu}$$
(5)

Аналіз експериментальної кінетичної залежності $\gamma = f(t)$ свідчить, що процес деформування можна вважати таким, що закінчився, коли $t = t_2$, $\gamma(t_2) = \gamma_{max}$, $V(t_2) = 0$. Початкову швидкість знаходимо як $V_0 = \frac{d\gamma_1}{dt_1} = tg\alpha$ при $t_1 \rightarrow 0$ з експериментальної кінетичної кривої.

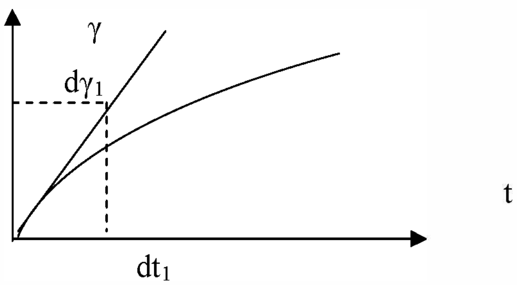

Рис. Кінетична крива деформування структурованих дисперсних систем (загальний вигляд)

Рівняння (4), (5) утворюють систему

$$\begin{cases} \gamma_{max} = \dfrac{e^{-\frac{Gt}{\mu}}(\tau_0 - V_0\mu)}{G} + \dfrac{\tau_0 t}{\mu} + \dfrac{V_0\mu}{G} \\ 0 = \dfrac{e^{-\frac{Gt}{\mu}}(V_0\mu - \tau_0)}{G} + \dfrac{\tau_0}{\mu} \end{cases} \qquad (6)$$

Підставивши у систему (6) відомі з експериментальної кінетичної кривої деформування м’яса значення τ_0, $t = t_2$, V_0, γ_{max}, знайдемо реологічні коефіцієнти G і μ. Отримаємо їх значення $G = 16 \cdot 10^5$, $\mu = 30{,}2 \cdot 10^6$.

Запропонований метод побудови і аналізу реологічної моделі харчових дисперсних систем є складовою теорії моделювання структурно-механічних властивостей в’язко-пружно-пластичних продуктів. Реологічні коефіцієнти визначають в умовах дії рушійної деформуючої сили різної природи походження: фізичної, механічної. Зміна структури системи, що виникає в результаті біологічних і хімічних реакцій впливає на величини реологічних коефіцієнтів. Реологічні коефіцієнти характеризують якість продукту – його консистенцію. Зі збільшенням пружного коефіцієнта продукт стає більш жорстким і навпаки зі збільшенням в’язкого - м’яким.

Література:

1. Гуць, В. С. Метод аналізу реологічних моделей в'язко-пружно-пластичних матеріалів у пакувальних процесах / В. С. Гуць, О. А. Коваль // Упаковка. – 2013. – № 4. – С. 46–49.