

рівномірність розподілу теплового потоку за умов різних висоти та геометричної форми рефлекторів. У наступній праці планується надати детальнішу математичну обробку експериментальних даних, що підтвердять доцільний вибір такого розміщення рефлекторів для рівномірності опромінювання плоскої поверхні.

#### *Список літератури*

1. Плевако В. П. Визначення форми рефлектора для рівномірного обігрівання пласкої поверхні / В. П. Плевако, С. Ю. Саєнко // Сучасні проблеми геометричного моделювання : міжнар. наук.-практ. конф., 20-23 жовтня : матеріали. – Львів, 2003. – С. 191–194.

2. Плевако В. П. Визначення форм рефлекторів теплотехнічних установок, які забезпечують заданий розподіл тепла на приймачах довільних перерізів / В. П. Плевако, С. Ю. Саєнко // Геометричне та комп'ютерне моделювання : зб. наук. праць. – Х., 2007. – Вип. 17. – С. 75–90.

3. Плевако В. П. Визначення форм рефлекторів теплотехнічних установок із приймачами тепла, що мають перерізи у вигляді довільних ламаних ліній / В. П. Плевако, С. Ю. Саєнко // Геометричне та комп'ютерне моделювання : зб. наук. праць. – Х., 2008. – Вип. 20. – С. 53–67.

Отримано 01.05.2013. ХДУХТ, Харків.

© Л. В. Кіптела, В. П. Плевако, А. М. Загорулько, 2013.

УДК 663: 663. 05

**В.І. Маяк**, д-р техн. наук, проф.

**Б.В. Ляшенко**, канд. техн. наук, доц.

**О.А. Маяк**, канд. техн. наук, доц.

**А.М. Сардаров**, студ.

**О.О. Осьмак**, студ.

### **АПРОКСИМАЦІЯ РЕОГРАМ СУХИХ КОНФІТЮРІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕРМІНУ ЗБЕРІГАННЯ**

*Досліджено основні реологічні параметри сухих конфітурів залежно від терміну зберігання. Отримано реограми сухих конфітурів та графічні залежності ефективної в'язкості сухих конфітурів за різного терміну зберігання. Отримано розрахункові залежності для визначення основних реологічних параметрів.*

*Исследованы основные реологические параметры сухих конфитюров в зависимости от срока хранения. Получены реограммы сухих конфитюров и графические зависимости эффективной вязкости сухих конфитюров при различном сроке хранения. Получены расчетные зависимости для определения основных реологических параметров.*

*Studied basic rheological parameters of dry confiture depending on the period of storage. Received reograms dry confiture and graphics depending on the effective measuring viscosity dry confiture with different length of storage. Calculated dependencies obtained to determine the main rheological parameters.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Допустимий термін зберігання харчового продукту залежить від його складу та способу виробництва. Це найважливіша споживча характеристика харчового продукту і вона повинна бути оптимальною. У ХДУХТ розроблено нову технологію виробництва сухих конфітурів (СК) на основі плодоовочевої сировини. Ця технологія відрізняється тим, що під час отримання продукту використовуються низькі температури теплової обробки і втрати біологічно активних компонентів мінімальні. Як було експериментально встановлено, термін зберігання харчового продукту впливає на зміну структурно-механічних характеристик продукту, таких як ефективна, пластична, структурна в'язкість, межа плинності (статична і динамічна), напруга зрушення та швидкість двигуна. У свою чергу, знання структурно-механічних характеристик продукту (продуктивності, конструктивних розмірів, затрачуваної потужності) необхідне під час розрахунку обладнання, що переробляє [1; 2]. Використання неадекватних значень структурно-механічних характеристик під час рахунку призводить до необґрунтовано завищених матеріальних витрат під час виготовлення обладнання й енергетичних витрат під час його роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Залежність структурно-механічних характеристик високов'язких харчових продуктів за різних термінів зберігання досліджувалась у багатьох працях [3; 4]. Проте використовувати наведені реологічні дані для проектування обладнання для виробництва СК не можливо через особливості технології виробництва сухих конфітурів.

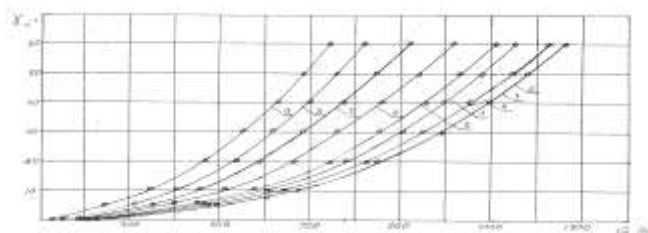
**Мета та завдання статті.** Для того, щоб проводити дослідження з вивчення впливу на структурно-механічні властивості СК різних технологічних чинників, необхідно знати, протягом якого часу після приготування пастоподібного концентрату властивості його залишаються постійними. Як основні структурно-механічні характеристики були прийняті: гранична напруга зрушення  $\sigma_0$ ,

динамічна гранична напруга зрушення  $\sigma_d$ , пластична в'язкість  $\eta_{пл}$ , темп руйнування структури –  $m$ , ефективна в'язкість за одиничної швидкості зрушення –  $V_0^*$ . Для досвідченого визначення перерахованих параметрів використовували віскозиметр «Реотест – 2» і конічний пластометр КП-3.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В процесі експериментів досліджували структурно-механічні властивості СК: «Айвовий», «Червоносмородинний», «Мрія», «Обліпіха», «Брусниця», «Чорносмородинний», «Морквяний», «Агрус», «Гарбузовий», «Мандариновий», «Виноградний». Для оцінки характеристик реологій використовували усереднені результати вимірів. Таким чином, у побудові графічних залежностей кожна точка на графіку характеризувала середнє значення параметра для всіх досліджуваних СК. Досліди проводили при температурі 200° С. У разі дослідження характеристик реологій на віскозиметрі «Реотест-2» СК масою 18,2 г поміщали в зовнішній циліндр приладу. Потім зовнішній циліндр, розташований співвісний із ротором, фіксували затиском. Зовнішній циліндр поміщали в термостатуючу посудину, що з'єднує з термостатом. Досліди проводили з перервою 1200 с. за який концентрат міг відновити структуру. Коливання температури не перевищували  $\pm 10^\circ$  С.

На конічному пластометрі КП-3 за методом П.А. Ребіндера визначали граничну напругу зрушення  $\sigma_0$ , Па. У дослідях використовували конус із кутом розчину  $\alpha=60^\circ$ , значення константи для якого складо – 0,214. Погрішність дослідів при цьому не перевищувала  $\pm 10\%$ .

За наслідками експериментів будували реограми (рис. 1) за середніми значеннями точок для одинадцяти СК. З реограм СК були визначені числові значення граничної напруги зрушення  $\sigma_0$ , динамічної граничної напруги  $\sigma_d$ , пластичної в'язкості  $\eta_{пл}$ .



**Рисунок 1 – Реограми СК за різного часу зберігання  $\tau$  (кількість тижнів): 1 – 0 тижнів; 2 – 2 тижні; 3 – 8 тижнів; 4 – 10 тижнів; 5 – 15 тижнів; 6 – 20 тижнів; 7 – 25 тижнів; 8 – 30 тижнів; 9 – 35 тижнів**

Величина ефективної в'язкості  $\eta_{\text{еф}}$ , Па·с, розраховували за формулою

$$\eta_{\text{еф}} = \frac{\sigma}{\gamma}, \quad (1)$$

де  $\sigma$  - напруга зрушення, Па;  
 $\gamma$  - градієнт швидкості,  $\text{с}^{-1}$ .

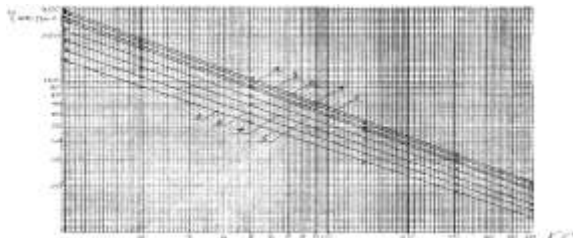
Залежності ефективної в'язкості СК від швидкості зрушення в логарифмічних координатах являють прямі лінії з негативним нахилом (рис. 2). Ці залежності апроксимируються за формулою

$$\eta_{\text{еф}} = V_0^* \cdot m \cdot \gamma, \quad (2)$$

де  $V_0^*$  – ефективна в'язкість при градієнті швидкості, що дорівнює одиниці, Па·с;

$m$  – темп руйнування структури.

Таким чином із графіків (рис. 2) були визначені значення  $V_0^*$  і  $m$ . Протягом дослідів простежувалася зміна значень основних реологічних характеристик за період часу зберігання від 0 до 35 тижнів. Результати експериментів наведені на графіках (рис. 3).



**Рисунок 2 – Залежність ефективної в'язкості СК від швидкості зсуву за різного часу зберігання  $\tau$  (кількість тижнів):**

**1 – 0 тиждень; 2 – 2 тижні; 3 – 8 тижнів; 4 – 10 тижнів; 5 – 15 тижнів; 6 – 20 тижнів; 7 – 25 тижнів; 8 – 30 тижнів; 9 – 35 тижнів**

На графіках рис. 3 чітко простежується три основні періоди зміни характеристик СК з часом зберігання. Перший період від 0 до 2 тижнів характеризується збільшенням значень структурно-механічних властивостей СК.

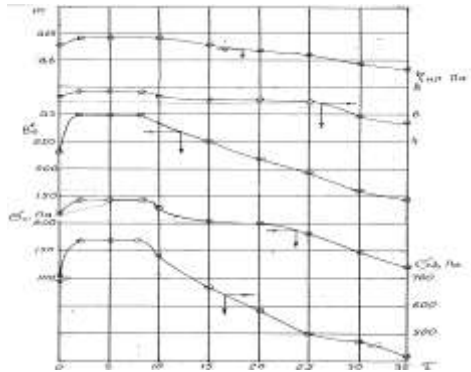
Так темп руйнування структури –  $m$  зростає трохи від 0,63 до 0,64.

Зростання пластичної в'язкості  $\eta_{пл}$ , більш значущий від 7,4 до 7,74 Па·с.

З таким же темпом збільшується гранична напруга зрушення  $\sigma_0$ , від 220 Па до 243 Па. Набагато значніше в цей період зростає ефективна в'язкість за одиничної швидкості зрушення  $V_0^*$ , Па·с, від 265 Па·с до 295 Па·с. У цьому періоді найбільша зміна характерна для динамічної граничної напруги зрушення. Цей параметр збільшується від 705 Па до 835 Па.

Таким чином спостерігається поява першої критичної точки на графіках (рис. 3), що відповідає терміну зберігання  $\tau=2$  тижні. За цей час здійснюється остаточне формування структури проведеного СК. За рахунок здійснення масообмінних процесів відбувається рівномірний розподіл залишкової вологи за всім обсягом СК, що сприяє однаковому насиченню контактів освіченої структури і зміцненню її.

Другий період подальшого часу зберігання спостерігається (рис. 3) від 2 до 8 тижнів. Протягом цього періоду практично всі структурно-механічні властивості СК залишаються без зміни і відповідають максимальним значенням.



**Рисунок 3 – Залежність структурно-механічних характеристик СК від терміна зберігання  $\tau$  (число тижнів)**

Так, темп руйнування структури  $m=0,64$ , пластична в'язкість  $\eta_{пл}=7,74$  Па·с, ефективна в'язкість при одиничній швидкості зрушення  $V_0^*=295$  Па·с, гранична напруга зрушення  $\sigma_0=243$  Па, динамічна гранична напруга зрушення  $\sigma_d=835$  Па.

Друга критична точка на графіках (рис. 3) відповідає часу зберігання  $\tau=8$  тижнів. Ця точка характеризує закінчення другого періоду і початок третього. Починаючи з 8 тижнів зберігання значення всіх основних структурно-механічних характеристик СК починають

зменшуватися. За досліджений період часу з 8 до 35 тижнів темп руйнування структури  $m$  зменшився на 9% від 0,64 до 0,58, пластична в'язкість  $\eta_{пл}$  знизилася на 30% від 7,74 Па·с до 5,4 Па·с, ефективна в'язкість за одиничної швидкості зрушення  $B_0^*$  Па·с змінилася від 295 Па·с до 138 Па·с тобто на 53%, гранична напруга зрушення  $\sigma_0$  зменшила своє значення з 243 Па до 120 Па, тобто на 51%. Значне зниження спостерігалось і для динамічної граничної напруги зрушення. Морфологічні дослідження з використанням мікроскопа показали, що до кінця 35 тижня відбувається розрив зв'язків структурної сітки на макрорівні, тобто порушується цілісність структури. Вся маса СК втрачає однорідність і складається з великих агломератів розміром 23 мм розриви між якими заповнені рідиною.

Для апроксимації експериментальних реограм ПКН було використане регресійне рівняння вигляду:

$$\sigma(\gamma) = \sigma_0 + K(\gamma)^n, \quad (3)$$

де  $\sigma_0$  – гранична напруга зрушення,  $K$  – міра консистенції,  $n$  – індекс течії. Для обробки експериментальних даних була написана програма в середовищі пакету MathCad. Результати обробки наведені нижче (табл. 1, 2).

*Таблиця 1 – Вплив терміна зберігання СК на реограми*

Відносна швидкість зрушення, $s^{-1}$	Термін зберігання, тижні							
	0	2	10	15	20	25	30	35
0	211	226	216	201	191	181	145	125
5	413	479	438	393	353	327	287	226
10	590	651	620	555	494	443	393	337
20	772	842	807	731	645	575	519	454
30	893	979	938	842	752	676	605	539
40	984	1085	1039	938	842	757	686	615
50	1070	1171	1135	1019	928	832	746	671
60	1145	1257	1221	1100	1004	908	807	731

Таблиця 2– Регресійні коефіцієнти залежності (2.1)

Термін зберігання, тижні	Регресійні коефіцієнти	
	К	N
0	87.22	0.59
2	111.93	0.55
10	95.44	0.59
15	81.25	0.6
20	65.11	0.63
25	57.39	0.63
30	57.66	0.61
35	37.83	0.69

**Висновки.** Отримані експериментальні графічні залежності дозволяють визначити значення основних структурно-механічних характеристик СК (межа текучості –  $\sigma_0$ , динамічна межа текучості –  $\sigma_d$ , щільність –  $\rho$ , пластична в'язкість –  $\eta_{пл}$ , ефективна в'язкість за одиничної швидкості зрушення –  $B_0^*$ , темп руйнування структури –  $m$ ). Апроксимація експериментальної залежності напруги зрушення СК від швидкості зрушення дозволила отримати розрахункове рівняння, що дозволяє знайти значення напруги зрушення залежно від терміну зберігання. Таким чином, результати дослідження дають можливість визначити раціональну величину терміну зберігання сухих конфітурів.

#### Список літератури

1. Корячкин В. П. Исследование течения вязко-пластических конфетных масс с целью усовершенствования производства изделий : автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук / В. П. Корячкин . – М. : МТИПП, 1975. – 28 с.
2. Мачихин Ю. А. Структурно-механические свойства конфетных масс / Ю. А. Мачихин, В. П. Корячкин., Ю. В. Клаповский. // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1975. – № 8. – С. 22–24.
3. Маяк В. І. Реодинаміка сухих конфітурів / В. І. Маяк, М. М. Смілик // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті : 73-я наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, 23-24 квітня 2007 р. : матеріали.– К. : НУХТ, 2007. – Ч. II.– С.149–150.
4. Маяк В. І. Вплив вібрації на реологічні властивості сухого конфітуру / В. І. Маяк, М. М. Смілик // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. – Х. : ХДУХТ, 2007. – Вип. 1(5). – С. 352–356.

Отримано 01.05.2013. ХДУХТ, Харків.

© В.І. Маяк, Б.В. Ляшенко, О.А. Маяк, А.М. Сардаров, О.О. Осьмак, 2013.