

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.

РІВНЯННЯ СТАЦІОНАРНОГО РУХУ В'ЯЗКОПЛАСТИЧНИХ РІДИН

Проведено дослідження властивостей реологій роздільних пастоподібних концентратів, необхідних для розрахунку устаткування, яке переробляє. За наслідками експериментальних і теоретичних досліджень отримано рівняння, що дозволяє розраховувати найважливіший параметр реології, – напруга зрушення за різних значень швидкості зрушення.

Проведены исследования реологических свойств раздельных пастообразных концентратов, необходимых для расчета перерабатывающего оборудования. По результатам экспериментальных и теоретических исследований получено уравнение, позволяющее рассчитывать важнейший реологический параметр – напряжение сдвига при разных значениях скорости сдвига.

Studies of rheological properties of separate paste concentrates, necessary for the calculation of processing equipment. According to the results of experimental and theoretical studies of an equation is obtained for calculating the most important rheological parameter is the shear stress at different values of the shear rate.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Розвиток харчової промисловості, технічне переоснащення підприємств із метою збільшення випуску харчових продуктів вимагають розширення переліку переробного обладнання шляхом розробки та проектування нових ефективних машин і апаратів. Разом із тим якісний розрахунок і проектування харчового обладнання неможливі без використання реологічних, і в більш широкому сенсі, структурно-механічних характеристик продукту [1-4]. Найважливіша властивість, наявна в більшості харчових продуктів, – це створена в процесі виробництва структура продукту. Без структури немає і самого продукту. Саме структура характеризується реологічними показниками: ефективною, пластичною, структурною, одиничною в'язкостями, межею плинності (статичні та динамічні), значеннями напруги й швидкості зсуву.

У ХДУХТ розроблено нову технологію виробництва роздільних пастоподібних концентратів (РПК) із використанням плодоовочевої сировини. Було також розроблено технологічну лінію з виробництва РПК.

Під час розрахунку переробного обладнання для виробництва РПК, що являє собою в'язко-пластичні рідини, необхідно знати значення їх реологічних характеристик. Важливими реологічними характеристиками є залежності напруги зсуву та ефективної в'язкості від швидкості зсуву, які залишаються недослідженими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В опублікованій літературі подано велику кількість досліджень [5-10], в яких розглянуто реологію високов'язких продуктів до яких відносяться РПК. Проте специфіка властивостей цих продуктів не дозволяє використовувати отримані залежності для розрахунку структурно-механічних характеристик роздільних пастоподібних концентратів (РПК).

Мета та завдання статті. У зв'язку з цим виникла необхідність додаткового дослідження реологічних властивостей – залежності напруги зсуву та ефективної в'язкості від швидкості зсуву для РПК ("Брусниця", "Обліпіха", "Агрис", "Червоносмородиновий", "Айвовий"), одержаних за новою технологією.

Виклад основного матеріалу дослідження. Експерименти проводилися на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2» з використанням РПК на основі брусниці, обліпіхи, агрусу, червоної смородини, айви.

У основу диференціального рівняння стаціонарного руху в'язко-пластичних рідин таких як РПК покладено лінійну залежність напруги від швидкості зрушення:

$$\sigma(\dot{\gamma}) = \sigma_0(\dot{\gamma}) + \eta(\dot{\gamma}) \cdot \dot{\gamma}, \quad (1)$$

де σ_0 - межа текучості, η - ефективна в'язкість. На рисунках 1, 2 наведено експериментальні залежності напруги зрушення та ефективної в'язкості від швидкості зрушення для різних РПК.

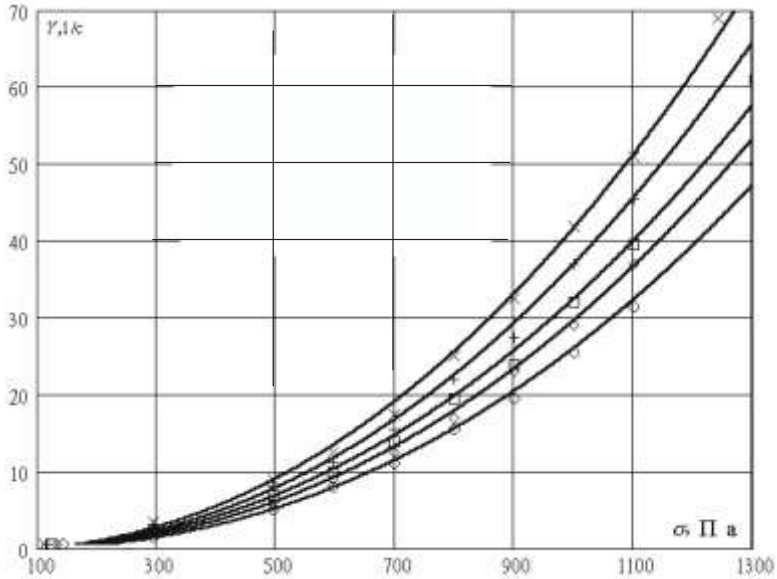


Рисунок 1 – Залежність швидкості від напруги зрушення для РПК: при $t=20^{\circ}\text{C}$; діаметр сухих частинок 0,1 мм; вміст сухих речовин 76%; термін зберігання 2 тижні: \times – «Брусниця»; $+$ – «Обліпіха»; \square – «Агрус»; \diamond – «Червоносмординовий»; \circ – «Айвовий»

Для отримання залежності (1) дані $\sigma_0(\gamma)$; $\eta(\gamma)$ необхідно заздалегідь апроксимувати, щоб набути значень напруги зрушення і ефективної в'язкості за однієї й тієї ж швидкості зрушення. Як апроксимуючі функції були обрані наступні:

$$\sigma(\gamma) = \sigma_0 \left(1 + \frac{\gamma}{s_1} \right)^s; \quad (2)$$

$$\eta(\gamma) = \eta_0 \gamma^{-m}, \quad (3)$$

де S_1 , m , s - регресійні коефіцієнти експериментальних залежностей. Значення регресійні коефіцієнтів залежностей (2, 3) наведено в таблиці 1.

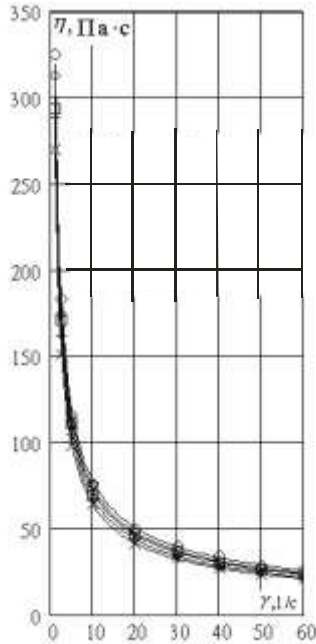


Рисунок 2 – Залежність ефективної в'язкості від швидкості зрушення для РПК: при $t=20^{\circ}\text{C}$; діаметр сухих частинок 0,1 мм; вміст сухих речовин 76%; термін зберігання 2 тижні: × – «Брусниця»; + – «Обліпіха»; □ – «Агрус»; ◇ – «Червоносмородиновий»; ○ – «Айвовий»

Таблиця 1 – Коefіцієнти емпіричної залежності напруги зрушення і ефективної в'язкості РПК від швидкості зрушення

№ з/п	Назва	$\eta_{0,п}$ ас	m	$\sigma_{0,п}$ а	s1,с-1	s
1	"Виноградний"	259	0,639	126	0,602	0,455
2	"Брусниця"	269	0,624	111	0,375	0,465
3	"Обліпіха"	288	0,630	116	0,345	0,459
4	"Агрус"	298	0,622	121	0,337	0,461
5	"Червоносмородинний"	311	0,625	131	0,336	0,452
6	"Айвовий"	320	0,616	141	0,326	0,445

Замінімо залежність (1) нелінійною залежністю загального вигляду

$$\sigma(\gamma) = A \left(\frac{\gamma}{\gamma_0} \right)^n, \quad (4)$$

і визначимо сенс коефіцієнтів A , n , σ_0 .

Розкладемо в рядок (4) в межах точки $\gamma = \gamma_0$. Обмежуючись лінійними членами розкладання, отримаємо:

$$\sigma(\gamma) = A + \frac{An}{\gamma_0} (\gamma - \gamma_0). \quad (5)$$

Порівнюючи (5) і (1) можемо записати:

$$A(1 - n) + \frac{An}{\gamma_0} \gamma = \sigma_0^* + \eta_0^* \gamma, \quad (6)$$

де зірочкою позначені емпіричні характеристики реологій, що визначаються за експериментальною залежністю напруги зрушення від швидкості зрушення вигляду (4).

Тоді знаходимо зв'язок коефіцієнтів, який треба знайти:

$$A = \sigma_0^* \left(1 + \frac{\eta_0^* \gamma_0}{\sigma_0^*} \right);$$

$$n = \left(1 + \frac{\sigma_0^*}{\eta_0^* \gamma_0} \right)^{-1}. \quad (7)$$

Напруга тертя $\sigma(\gamma)$ розрахована за формулами (1-3) апроксимувалася залежністю (4). За формулою (7) визначалися коефіцієнти A , n .

На рис. 3 наведено залежності напруги від швидкості зрушення для ПКН, в таблиці 2 – емпіричні коефіцієнти A , n , в табл. 3 наведено дані перевірки статистичної адекватності регресійної залежності (4).

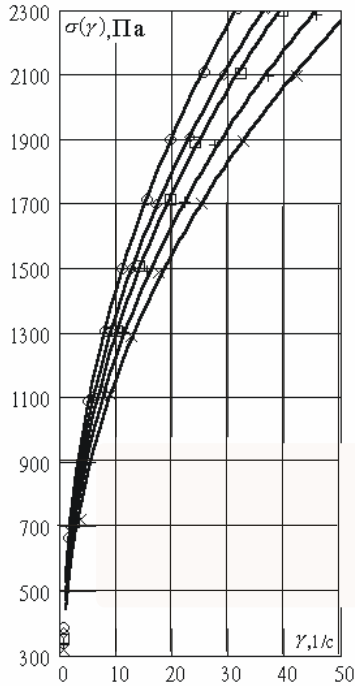


Рисунок 3 – Апроксимація експериментальної залежності напруги тертя РПК від швидкості зрушення: при $t=20^{\circ}\text{C}$; діаметр сухих частинок 0,1 мм; вміст сухих речовин 76%; термін зберігання 2 тижні: × – «Брусниця»; + – «Обліпіха»; □ – «Агрус»; ◇ – «Червоносмородинний»; ○ – «Айвовий»

Таблиця 2 – Коефіцієнти емпіричної залежності напруги тертя від швидкості зрушення для різних РПК

№ з/п	Роздільні пастоподібні концентрати	η_0^* Пас	$\gamma_0, \text{с}^{-1}$	$\sigma_0^*, \text{Па}$
1	"Брусниця"	138	1,650	318
2	"Обліпіха"	147	1,630	339
3	"Агрус"	156	1,627	350
4	"Червоносмородинний"	168	1,540	371
5	"Айвовий"	179	1,526	386
	Середні значення для РПКН	144 ± 18	$1,7 \pm 0,1$	365 ± 30

Таблиця 3 – Статистика адекватності апроксимації залежності напруги зрушення від швидкості зрушення для різних РПК

Статистичний параметр	Середнє значення для РПК
Стандартна помилка	26,016
Відносна помилка %	5,624
Коефіцієнт кореляції	0,998
Значущість коефіцієнта кореляції	2,993
Критична значущість	2,289
Коефіцієнт асиметрії	-1,597
Довірчий інтервал коефіцієнта асиметрії	1,844
Коефіцієнт ексцесу	0,989
Довірчий інтервал коефіцієнта ексцесу	2,767

Висновки. Таким чином, отримані залежності (1-10) дозволяють розрахувати істинні значення напруги зсуву, ефективної в'язкості і можуть бути використані під час проектування та розрахунку обладнання для виробництва РПК на основі брусниці, обліпихи, агрусу, порічок, айви. Використання адекватних значень реологічних характеристик дозволяє спроектувати маловитратне обладнання з оптимальними енергетичними та матеріальними характеристиками.

Список літератури

1. Маршалкин Г. А. Розрахунок ефективної в'язкості цукерково-помадних мас / Г. А. Маршалкин, Б. А. Карпін // Хлібопекарська і кондитерська промисловість. – 1971. – № 8. – С. 12–14.
2. Мачихин Ю. А. Сучасні способи формування цукеркових мас / Ю. А. Мачихин, Ю. В. Клаповский. – М. : Харчова промисловість, 1974. – 184 с.
3. Мачихин Ю. А. Структурно-механічні властивості цукеркових мас/ Ю. А. Мачихин, В. П. Корячкин, Ю. В. Клаповский // Хлібопекарська і кондитерська промисловість. – 1975. – № 8. – С. 22–24.
4. Комплексное исследование сдвиговых свойств пастообразных концентратов напитков / А. И. Червко [и др.] // Управлінські та технологічні аспекти розвитку підприємств харчування та торгівлі : міжнар. конф. : тези доп. – Х. : ХДУХТ, 2003. – С. 211–213.
5. Дослідження ефективної в'язкості пастоподібних концентратів напоїв залежно від вмісту сухих речовин / В. І. Маяк // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування на підприємствах

харчування. Економічні проблеми торгівлі : зб. наук. пр. у 2-х ч.– Х. : ХДУХТ, 2004. Ч.1. – С. 293–296.

6. Вплив розміру часток пастоподібного концентрату напою на ефективну в'язкість / В. І. Маяк // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування на підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі : зб. наук. пр. у 2-х ч.– Х. : ХДУХТ, 2004. Ч.2.– С. 293–296.

7. Новая технология производства напитков / А. И. Черевко [и др.] // Проблемы техники і технології харчових виробництв : Міжвуз. наук.- практик. конф.: матеріали. – Полтава: ПУСКУ, 2004.

8. Черевко. О. І. Дослідження густини пастоподібних концентратів напоїв в залежності від тиску О. І. Черевко, В. І. Маяк, Б. В. Ляшенко // Проблеми техніки і технології харчових виробництв : Міжвуз. наук.-практик. конф. : матеріали. – Полтава : ПУСКУ, 2004.

9. Маяк В. І. Закономірності тепловіддачі в процесі виробництва ПКН / В. І. Маяк, В. М. Михайлов // Прогресивні техника та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. – Х. : ХДУХТ, 2007. – Вип. 1(9). – С. 200–207.

10. Маяк В. І. Дослідження соціально-економічної ефективності виробництва ПКН і цукатів за новою технологією / В. І. Маяк, В. М. Михайлов // Прогресивні техника та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. – Х. : ХДУХТ, 2007. – Вип. 1(9). – С. 207–214.

Отримано 01.05.2013. ХДУХТ, Харків.

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

УДК 664.8.03:66.063.94:664.8

В.О. Потапов, д-р техн. наук, проф.

В.В. Качалов, асист.

С.В. Михайлова, асист.

ДО ПИТАННЯ РОЗРАХУНКУ ВНУТРІШНІХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОТИ ПІД ЧАС МІКРОХВИЛЬОВОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Отримано формули для інженерних розрахунків густини внутрішніх джерел теплоти під час мікрохвильової обробки харчових продуктів. Наведено експериментальні дані про залежність внутрішніх джерел теплоти від об'єму зразків різної геометричної форми.