

## Список літератури

1. Химия и биохимия бобовых растений / Пер. с англ. К.С. Спектрова, под. ред. М.Н. Запрометова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 335 с.
2. Химический состав пищевых продуктов. Книга 2. Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / Под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. – 2-е изд. – М.: Агропромиздат, 1987. – 360 с.
3. Ильчакова Ж.А. Технологическая оценка бобового сырья для производства кулинарной продукции / Ж.А. Ильчакова, О.А. Гринченко, П.П. Пивоваров // Продукты & ингредиенты. – 2006. – № 12. – С. 70-71.
4. Леонтьев В.М. Чечевица / В.М. Леонтьев. – Л.: Колос, 1996. – 256 с.
5. Пикуза В. Экономические расчеты и бизнес-моделирование в Excel / В. Пикуза. – СПб.: Питер, 2012. – 400 с.
6. Научные принципы конструирования комбинированных продуктов питания / Н.В. Колесникова, С.Ю. Лескова, И.В. Брянская, К.М. Миронов. – Улан-Удэ: издат. ВСГТУ, 2005. – 45 с.

УДК 637.3:001.891.5

Машта Н.О. (РІС КСУ, Рівне)

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛЕЖНОСТІ РЕОЛОГІЧНОГО ПОКАЗНИКА ПЛАВЛЕНИХ СИРНИХ ПРОДУКТІВ ВІД КІЛЬКОСТІ ТА СПІВВІДНОШЕННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДОБАВОК, ЩО ДОДАВАЛИ

*У статті подано основні етапи планування експерименту щодо встановлення математичної моделі залежності граничного напруження зсуву плавлених сирних продуктів від кількості та співвідношення нетрадиційних добавок, що додавали.*

**Ключові слова:** *плавлені сирні продукти, математична модель, реологічний показник, граничне напруження зсуву.*

**Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями.** Розроблення та виробництво технологій харчових продуктів пов'язані із проведенням складних і дорогих експериментальних досліджень, адже для вибору оптимального технологічного процесу та рецептурних компонентів слід проаналізувати величезну кількість чинників у обмежені терміни. Плавлені сирні продукти – багатокомпонентні продукти, які дозволяють у широких межах регулювати їх хімічний склад. Тому актуальним є використання методів планування експерименту, які дозволяють у багатьох випадках суттєво скоротити витрати часу та матеріальних ресурсів на виконання дослідницьких робіт.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основні положення методик повнофакторного експерименту викладені такими авторами: Ю.П. Адлер,

Є.В. Маркова, Ю.В. Грановський [1], І.Г. Зедгенідзе [2], С.В. Мельников [3], Ю.П. Грачов [4].

**Метою статті** є дослідити вплив суміші вівсяного, рисового борошна, гарбузового шроту і жирової композиції на реологічний показник плавлених сирних продуктів і встановити їх оптимальний склад на основі математичної моделі залежності граничного напруження зсуву від кількості та співвідношення добавок, що додавали.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Для визначення впливу рецептурних компонентів на реологічні властивості (зокрема, граничне напруження зсуву), з урахуванням оптимального складу плавленого сирного продукту, було використано планування експерименту. Як фактори, що діють, обрано такі нетрадиційні добавки:  $x_1$  – жирову композицію, що містить у своєму складі гарбузову, конопляну та пальмову олію;  $x_2$  – суміш вівсяного, рисового борошна та гарбузового шроту.

Вибір складу першого діючого фактора (жирової композиції) проведено з використанням методу лінійного програмування [5] з урахуванням того, що пальмової олії у купажі міститься не менше 75%. Розрахунковий метод здійснювався за такою схемою: 1) аналіз даних жирнокислотного складу рослинних олій і молочного жиру; 2) розрахунок рецептури суміші рослинних олій методом лінійного програмування, виходячи з оптимального співвідношення  $\omega$ -6: $\omega$ -3 жирних кислот для людей розумової праці. У результаті отримано жирові композиції, що містять у своєму складі гарбузову, конопляну та пальмову олії в таких співвідношеннях компонентів (таблиця 1).

Таблиця 1 – Розраховані рецептури композицій рослинних олій

Кодований вигляд	Уміст олії в композиції, %		
	гарбузової	конопляної	пальмової
-1	1,00	12,26	86,74
-0,8	2,20	12,07	85,73
-0,6	3,40	11,88	84,72
-0,4	4,60	11,68	83,72
-0,2	5,80	11,49	82,71
0	7,00	11,30	81,70
0,2	8,20	11,11	80,69
0,4	9,40	10,92	79,68
0,6	10,60	10,72	78,68
0,8	11,80	10,53	77,67
1	13,00	10,34	76,66

Співвідношення компонентів другого діючого фактора – рослинної суміші (вівсяне (41%), рисове (49%) борошно та гарбузовий шрот (10%)) визначено шляхом оптимізації суміші методом найменших модулів [6]. Основним завданням розрахунку оптимальної суміші було знайти таке співвідношення компонентів, за якого сума модулів відхилень складу суміші від стандарту з усього

набору незамінних амінокислот виявиться мінімальною. Для вирішення нелінійної задачі оптимізації було використано табличний процесор MS Excel (інструмент «Поиск решения» (Solver)).

Як вихідний параметр обрано реологічний показник якості плавлених сирних продуктів – граничне напруження зсуву, що визначається методом пенетрації [7]. Дослідження проведено на пенетрометрі ЛП. Вимірювання здійснено шляхом занурення конічного індентора з кутом за вершини 60° і висоти 0,016 м у продукт. Використовуючи формулу П.А. Ребіндера (1), розраховано граничне напруження зсуву  $Q_0$ :

$$Q_0 = K \frac{m}{h^2}, \quad (1)$$

де  $K$  – константа конуса, яка залежить від кута конуса за його вершини, Н/кг,  $K = 2,1$  Н/кг;

$m$  – маса рухомої частини приладу, кг,  $m = 0,2857$  кг;

$h$  – максимальна глибина занурення конуса, м.

У таблицях 2 і 3 наведено умови та матрицю планування експерименту для лінійної моделі залежності граничного напруження зсуву плавлених сирних продуктів від кількості та співвідношення внесених нетрадиційних добавок (2):

$$Q_0 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2, \quad (2)$$

де  $Q_0$  – вихідний параметр (граничне напруження зсуву, Па);

$b_0, b_1, b_2, b_{12}$  – коефіцієнти рівняння.

Таблиця 2 – Умови планування експерименту

Діючі фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання	
Натуральний вигляд	Кодований вигляд	-1 (мін.)	0 (сер.)	+1 (макс.)		
Олія, % до загальної маси жирової композиції <sup>1</sup>	Гарбузова	$x_1$	1	7	14	6
	Конопляна		12,26	11,3	10,18	0,96
	Пальмова		86,74	81,7	75,82	5,04
Суміш вівсяного (41%), рисового (49%) борошна та гарбузового шроту (10%), % до загальної маси плавленого сирного продукту <sup>2</sup>		$x_2$	0,5	1,5	2,5	1

Примітки: 1. Жирові композиції вносять у кількості 10% від маси компонентів сировини плавленого сирного продукту.

2. Рослинну суміш вводять до складу плавленого сирного продукту за рахунок заміни відповідної частини твердого сичужного сиру.

Таблиця 3 – Матриця планування та результати експерименту

№ експ. точки	Діючі фактори						Вихідний параметр
	Кодові значення		Натуральні значення				Граничне напруження зсуву, Па
	$x_1$	$x_2$	Олія, % до загальної маси жирової композиції ( $x_1$ )			Рослинна суміш, % до загальної маси ПСП ( $x_2$ )	
			Гарбузова	Конопляна	Пальмова		
1	+1	+1	13	10,34	76,66	2,5	498
2	+1	-1	13	10,34	76,66	0,5	450
3	-1	+1	1	12,26	86,74	2,5	869
4	-1	-1	1	12,26	86,74	0,5	543

Дослідні зразки виготовлялись згідно з Технологічною інструкцією на сири плавлені до ТУ У 15.5-30019749-007:2005 [8]. Принципову технологічну схему виготовлення плавлених сирних продуктів та особливості підготовки рослинної суміші і жирових композицій наведено на рисунку 1.

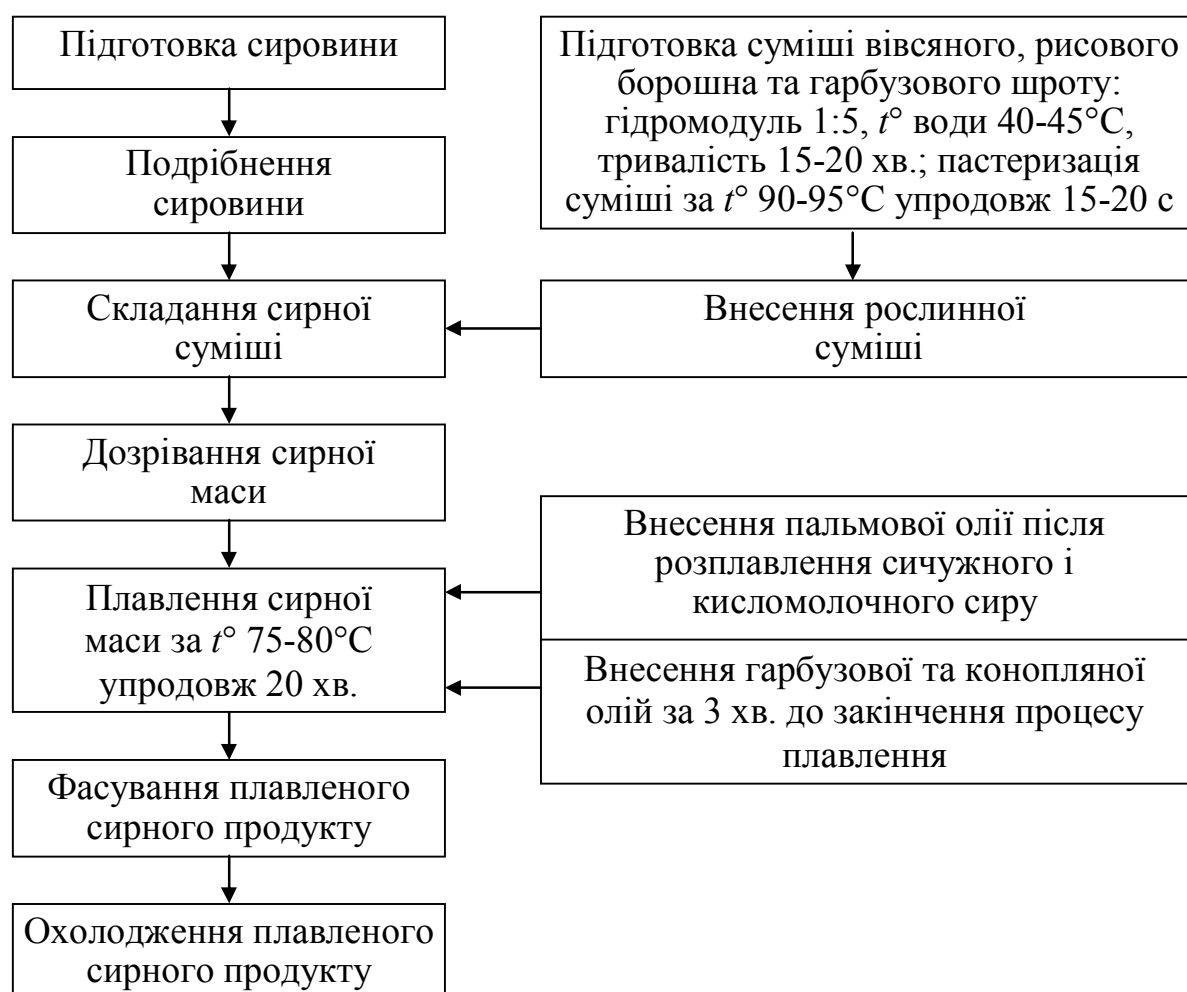


Рисунок 1 – Принципова технологічна схема виготовлення плавлених сирних продуктів із додаванням рослинної суміші і жирової композиції

За результатами оброблення експериментальних даних було отримано рівняння регресії, що дозволяє прогнозувати граничне напруження зсуву  $Q$  залежно від співвідношення рослинних олій у жировій композиції ( $x_1$ ) та концентрації рослинної суміші ( $x_2$ ). Це рівняння має наступний вигляд:

$$Q_0 = 590,05 - 116,18x_1 + 93,54x_2 - 69,99x_1x_2, \quad (3)$$

На рисунку 2 наведено вплив співвідношення рослинних олій у жировій композиції на граничне напруження зсуву плавлених сирних продуктів. Так, за співвідношення гарбузової, конопляної та пальмової олій 13:10,34:76,66 ( $x_1 = 1$ ) у жировій композиції та концентрації рослинної суміші 1,5% граничне напруження зсуву становить 473,9 Па, а за співвідношення 1:12,26:86,74 ( $x_1 = -1$ ) та концентрації рослинної суміші 1,5% – 706 Па.

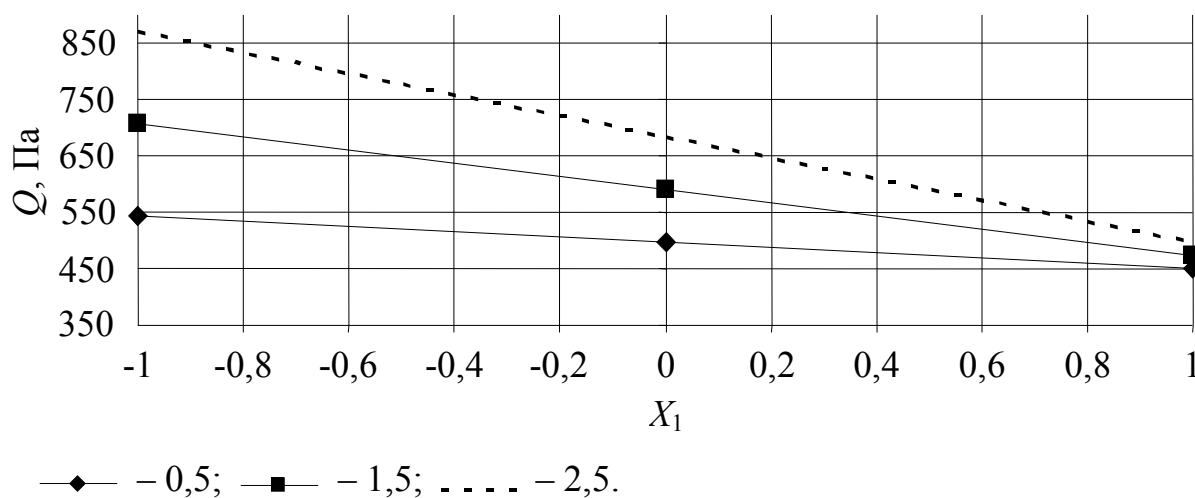


Рисунок 2 – Вплив співвідношення рослинних олій у жировій композиції на граничне напруження зсуву плавлених сирних продуктів за постійних значень фактора  $x_2$

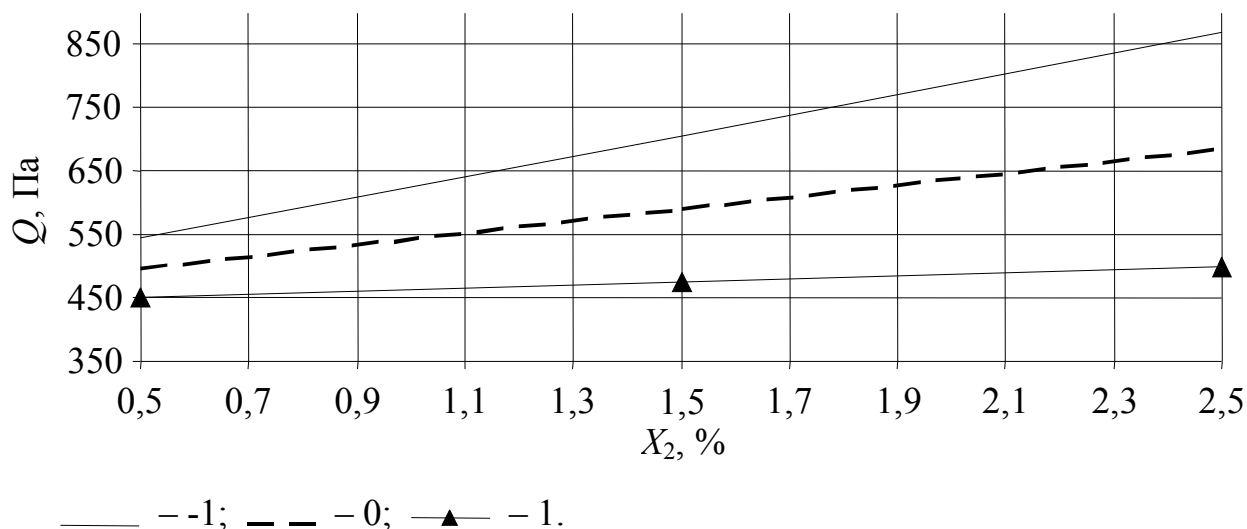


Рисунок 3 – Вплив концентрації рослинної суміші на граничне напруження зсуву плавлених сирних продуктів за постійних значень фактора  $x_1$

Рисунок 3 ілюструє вплив умісту рослинної суміші вівсяного, рисового борошна та гарбузового шроту на граничне напруження зсуву плавлених сирних продуктів. Із рисунка видно, що під час зростання концентрації рослинної суміші зростає значення граничного напруження зсуву.

Графічна інтерпретація, що наводиться на рисунку 4, ілюструє вплив кожного діючого фактора на граничне напруження зсуву плавлених сирних продуктів.

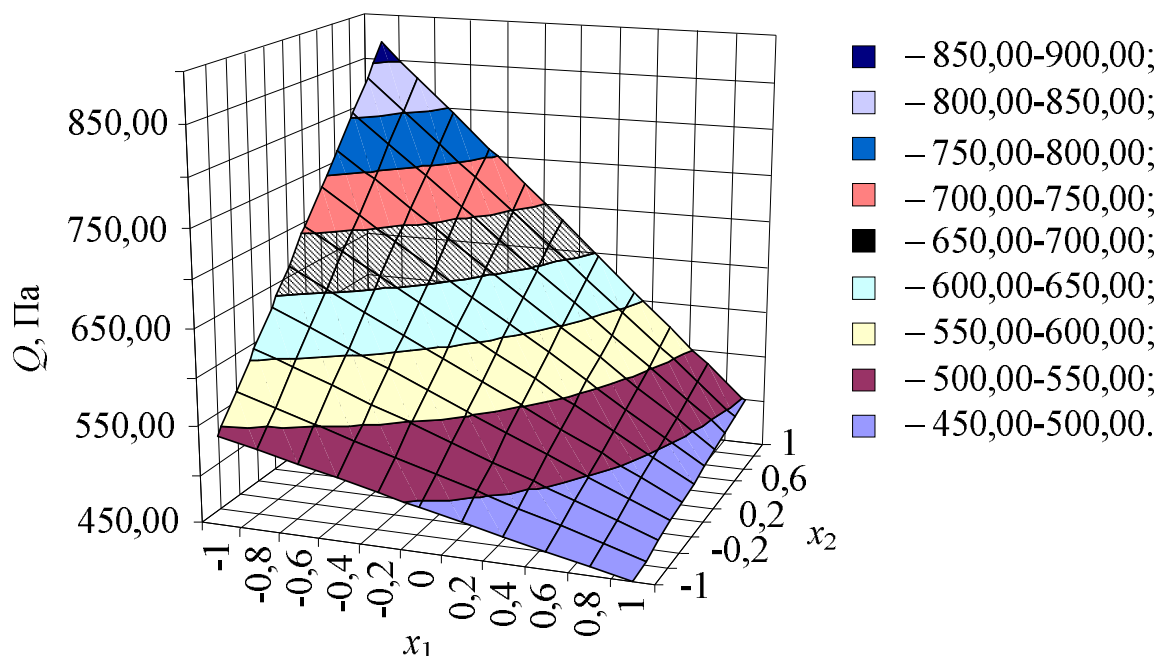


Рисунок 4 – Поверхнева діаграма впливу жирОВОї композиції та вмісту суміші борошна на граничне напруження зсуву плавлених сирних продуктів

Зважаючи на те, що оптимальним значенням граничного напруження зсуву для плавлених сирних продуктів, що досліджувались, є 650-700 Па [7], то прийнятною кількістю борошна, що може додаватися до плавлених сирних продуктів, є від 1,1% ( $x_2 = 0,4$ ) до 2,5% ( $x_2 = 1$ ), а оптимальним співвідношенням компонентів жирОВОї композиції (гарбузова:конопляна:пальмова олії) є співвідношення від 1:12,26:86,74 ( $x_1 = -1$ ) до 8,2:11,11:80,69 ( $x_1 = 0,2$ ).

**Висновки.** Таким чином, дослідження, що проводились, дозволили зробити наступні висновки:

1. Отримано експериментально-статистичну модель, за допомогою якої виконано графічний аналіз впливу жирОВОї композиції та вмісту суміші борошна на граничне напруження зсуву плавлених сирних продуктів.

2. Визначено межі оптимального співвідношення компонентів жирОВОї композиції та вмісту суміші борошна.

3. Встановлено, що за зменшення кількості пальмової олії у жирОВій композиції та зменшення вмісту суміші борошна знижується граничне напруження зсуву, що свідчить про пом'якшення консистенції плавлених сирних продуктів.

4. Прийнята суміш борошна (вівсяне (41%), рисове (49%) борошно та гарбузовий шрот (10%)) може слугувати стабілізатором консистенції плавлених

сирних продуктів, оскільки за збільшення кількості цієї добавки підвищується значення граничного напруження зсуву.

**Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку.** У подальшому доцільним є розроблення рецептурного складу плавлених сирних продуктів з урахуванням собівартості готового продукту та вивчення їх поживних властивостей.

### Список літератури

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Зедгенидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгенидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.
3. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
4. Грачев Ю.П. Математические методы планирования эксперимента / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.
5. Окара А.И. Управление жирнокислотным составом и потребительскими свойствами растительных масел-смесей путем оптимизации рецептур / А.И. Окара, К.Г. Земляк, Т.К. Каленик // Масложировая промышленность. – 2009. – №2. – С. 8-10.
6. Компьютерное проектирование смесей растительных белков, оптимизированных по содержанию незаменимых аминокислот / П.П. Бабенко [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 12. – С. 44-47.
7. Павлова В.В. Влияние солей-плавителей и температуры на некоторые закономерности формирования структуры творожных плавленых пластично-вязких продуктов [Электронный ресурс] / В.В. Павлова, А.Г. Галстян, А.Н. Петров. – Режим доступа: <[http://molprom.ru/s\\_publ2003\\_155.html](http://molprom.ru/s_publ2003_155.html)>.
8. Сири плавлені. Технологічна інструкція до ТУ У 15.5-30019749-007:2005. – [Чинна від 2005-06-03]. – К.: Снорк, 2005. – 22 с.

УДК 631.563.4

Самойчук К.О., канд. техн., наук доц.,  
Полудненко О.В. (ТДАТУ, Мелітополь)

### РЕЗУЛЬТАТИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ РІДКИХ КОМПОНЕНТІВ У СТРУМИННОМУ ЗМІШУВАЧІ

*У статті наведено результати аналізу пристроїв для перемішування рідких компонентів, подано результати комп'ютерного моделювання процесу змішування рідких компонентів у струминному змішувачі.*

**Ключові слова:** перемішування, струминний змішувач, моделювання, дослідження.