

4. EN 12591-1999. Bitumen and bituminous binders - Specifications for paving grade bitumens [Text]. – Чинний від 17 листопада 1999. – European Standards(EN), 1999. – 30 p.
5. DIN EN 14023-2013. Bitumen and bituminous binders - Specification framework for polymer modified bitumens. Заміює DIN EN 14023(2010-11) [Text]. – Чинний від 1 квітня 2013. – European Standards(EN), 2013. – 27 p.
6. Школьников, В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение [Текст]: Справочник / В.М. Школьников. – М.: Техинформ, 1999. – 596 с.
7. Котлярский, Э. В. Долговечность дорожных асфальтобетонных покрытий и факторы, способствующие разрушению структуры асфальтобетона в процессе эксплуатации [Текст] / Э. В. Котлярский, О.А. Воейко. – М.: Техполиграфцентр, 2007. – 136 с.
8. Жданюк, В. К. До питання про застосування емульсій бітумних дорожніх при будівництві та ремонті автомобільних доріг [Текст] / В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька, О. М. Кривохижа // Автошляховик України. – 2005. - №6. – С. 33 – 35.
9. Louw, K. The use of bitumen emulsions as a cost effective solution for constructing seals during winter [Text] / K. Louw, K. Spence and P. Kuun // 8 conference on asphalt pavements for Southern Africa, September, 2004.
10. Мурафа, А.В. Новые анионоактивные битумные эмульсии для дорожных кровельных и гидроизоляционных покрытий [Текст] / А.В. Мурафа // Строительные материалы. – 2005. – № 11 – С.106.
11. Будник, В.А. Битумные эмульсии. Особенности состава и применения: Тематический обзор [Текст] / В.А. Будник, Н.Г. Евдокимова, Б.С. Жирнов // Нефтегазовое дело. - 2006. № 2 – С. 124

Стаття присвячена визначенню раціональних умов фракціонування соняшникової олії пальмітинового типу із розплаву. Визначено основні закономірності фракційної кристалізації олії насиченого типу та отримано математичні описи залежності виходу цільової фракції і її температури плавлення від основних параметрів процесу, а саме: темпу охолодження та тривалості кристалізації

Ключові слова: фракційна кристалізація, соняшникова олія пальмітинового типу, розплав, ортогональний центральнокмпозиційний план

Стаття посвящена определению рациональных условий фракционирования подсолнечного масла пальмитинового типа из расплава. Определены основные закономерности фракционной кристаллизации масла насыщенного типа и получены математические описания зависимости выхода целевой фракции и ее температуры плавления от основных параметров процесса, а именно: темпа охлаждения и продолжительности кристаллизации

Ключевые слова: фракционная кристаллизация, подсолнечное масло пальмитинового типа, расплав, ортогональный центральнокмпозиционный план

УДК 665.383

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ УМОВ ФРАКЦІЙНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ ПАЛЬМІТИНОВОГО ТИПУ ІЗ РОЗПЛАВУ

К. В. Куниця
Аспірант*

E-mail: ekaterina-kunitsa@mail.ru

О. А. Литвиненко

Кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник*

E-mail: ealitvinenko@yandex.ua

Ф. Ф. Гладкий

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*

E-mail: gladky2009@gmail.com

*Кафедра технології жирів та продуктів бродіння
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»

вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002

1. Вступ

Нині перед олійно-жировою та супутніми галузями стає гостре питання отримання жирів, що не лише будуть відповідати нормативній документації та стандартним вимогам, а й зможуть бути використані в інших

галузях харчової промисловості, що вкрай потребують якісної та недорогої сировини. Вирішення проблеми нестачі кондитерських, кулінарних, хлібопекарських жирів та жирів для молочної промисловості в Україні в значній мірі відбувається за рахунок імпорту. Найбільш гострою ця проблема стала завдяки обмеженню вмісту

транс-ізомерів мононенасичених жирних кислот у харчових продуктах, а відтак і обмеження застосування гідрогенізованих олій. Тому використання вітчизняної сировини для одержання згаданих жирів без будь-якої хімічної обробки є актуальним і доцільним.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Харчові жири і олії є складними багатокомпонентними сумішами різноманітних триацилгліцеринів, склад яких залежить від сировини, з якої вони були вилучені [1]. Існуючі в природі жири в натуральному виді не завжди відповідають вимогам виробництва жирової продукції. Однак, харчові жири та олії можуть бути розділені на декілька фракцій з метою отримання нових сировинних матеріалів, що мають більш широкі функціональні і технологічні властивості, ніж натуральні продукти.

Фракціонування є процесом зворотньої термо-механічної сепарації, під час якого під дією контрольованого охолодження і механічної обробки відбувається формування твердої фази (кристалів) розплаву жиру з наступною фільтрацією і розділенням початкової сировини на дві фракції – кристалічну та рідку олійну [2, 3]. Фракційна кристалізація – розділення жирів на групи триацилгліцеринів за температурою застигання, є одним із старіших методів модифікації жирів [4 – 6], який полягає в поступовому охолодженні жиру або олії за допомогою холодного повітря або рідкого хладагенту. Фракціонування натуральних ацилгліцеринів приводить до виділення з початкової речовини менш складних груп ацилгліцеринів, які відрізняються між собою за величиною йодного числа, числа омилення та температурою плавлення [7]. У процесі фракціонування жири і олії поділяють на фракції з різними ступенями твердості, температурами плавлення та різноманітним складом триацилгліцеринів. Оскільки, властивості плавлення і температура помутніння жирів є важливими показниками їх функціональності в різних харчових продуктах, то поділ жиру або олії на фракції дозволяє отримати два або більше продукти з різною функціональністю із одного початкового жирового продукту.

Компоненти жиру або олії, що значно розрізняються за температурою плавлення, можуть бути розділені шляхом кристалізації і подальшої фільтрації для видалення більш тугоплавкої частини. При практичному здійсненні фракційної кристалізації ефективність виділення кристалів від рідкої фази залежить як від способу здійснення поділу, так і від фазової поведінки системи.

Процес фракціонування можна розділити на наступні послідовні стадії:

- охолодження олії нижче температури кристалізації для утворення центрів кристалізації в результаті переохолодження;
- поступове зростання кристалів і їх виділення з рідкої фази;
- поділ кристалічної та рідкої фаз.

Ступінь поділу рідкої і твердої фракцій залежить, насамперед, від методу охолодження, який визначає форму і розмір кристалів. Жири та олії є поліморфними речовинами і кристалізуються в

декількох поліморфних формах, як правило α , β і β' . У цьому порядку змінюється стабільність, температура плавлення, та густина поліморфних форм. Утворення тієї чи іншої модифікації залежить від умов кристалізації. Так при швидкому охолодженні розплаву утворюється α -модифікація, при помірному – β' , при повільному – β [8]. Швидкий темп охолодження викликає сильне переохолодження, яке призводить до утворення великої кількості дрібних, безформних, м'яких кристалів змішаного типу, які погано відділяються при фільтруванні [9].

Важливими стадіями процесу фракціонування, яким приділяють пильну увагу, є кристалізація та наступне розділення отриманих фракцій.

Кристалізація жиру відбувається у дві стадії:

1. Утворення центрів кристалізації (зародків кристалізації).
2. Зростання кристалів.

Швидкість утворення зародків залежить від швидкості охолодження, температури проведення процесу та складу триацилгліцеринів олії.

Швидкість і характер кристалізації триацилгліцеринів залежать від ступеню очищення жиру, оскільки моно- та діацилгліцерини, фосфоліпіди та інші полярні домішки гальмують кристалізацію [10].

Темп охолодження. Істотною вимогою процесу кристалізації є повільний темп охолодження. Швидкий темп охолодження олії призводить до наступних наслідків:

- утворення великої кількості дуже маленьких кристалів;
- висока швидкість зародження центрів кристалізації, внаслідок чого збільшується в'язкість, що в свою чергу призводить до обмеженого зростання кристалів [11].

При повільному темпі охолодження утворюються стійкі β або β' -кристали в залежності від форми кристалу, що характерна для початкової олії. Темп охолодження також залежить від виду олії і її попередньої обробки.

Температура кристалізації. На швидкість зростання кристалів впливає температура кристалізації. Висока в'язкість олії, яка спостерігається при дуже низькій температурі, знижує швидкість зростання кристалів. Контроль температури після початку кристалізації дуже важливий для переходу від α -форми кристалів до стійкої β або β' -форми. При відсутності належного регулювання параметрів процесу на цій стадії будуть формуватися нестабільні кристали. Крім цього, для уникнення шоккового охолодження між хладагентом і олією повинна підтримуватися певна різниця температур.

Тривалість кристалізації. Кристалізація тісно пов'язана з двома проміжками часу:

- час, необхідний для зниження температури речовини до точки кристалізації;
- час, потрібний для повного завершення зростання кристалів.

Темп охолодження є головним чинником, що визначає розмір, кількість і стабільність утворених кристалів. Взагалі кристали приймають найбільш досконалі і характерні форми при повільному виробуванні з розплаву або розчину з незначним переохолодженням [12].

Швидкість зростання кристалів залежить від температури кристалізації та тривалості процесу. Ретель-

ний підбір параметрів процесу дуже важливий для кожного виду олії. З метою кращого відокремлення фракцій фільтруванням в процесі фракційної кристалізації має утворюватися невелика кількість центрів кристалізації, навколо яких при охолодженні формуватимуться великі кристали. При виникненні великої кількості центрів кристалізації утвориться велика кількість дрібних кристалів, що важко будуть відокремлюватися при фільтруванні. Недостатньо повне розділення і низький вихід також спостерігаються при утворенні скупчень кристалів, які утримують велику кількість рідкої фази [13].

3. Мета дослідження

Метою роботи є визначення основних закономірностей і раціональних умов фракціонування соняшникової олії пальмітинового типу із розплаву та отримання залежностей виходу цільової фракції і її температури плавлення від основних параметрів процесу.

4. Методика дослідження

З метою максимального скорочення термінів проведення експериментів, зменшення витрат матеріалів і енергії та отримання при цьому такої математичної моделі, яка б адекватно описувала відповідний процес, доцільно використовувати методи планування експерименту. В роботі використано центральне композиційне ортогональне планування другого порядку (ЦКОП) з наступним математичним моделюванням в програмних пакетах MathCad і Microsoft Excel.

Для можливості статистичної обробки даних досліди в центрі плану проведено у трьох паралелях. Розрахунок помилки досліду за паралельними дослідами в центрі плану виконано за формулою (1):

$$S_0^2 = \frac{\sum_{k=1}^{N_0} (y_{0k} - \bar{y}_0)^2}{(N_0 - 1)}, \tag{1}$$

де $\bar{y}_0, y_{0k}, k=1, \dots, N_0$ – значення вихідного параметру у паралельних дослідах;

N_0 – число дослідів в центрі плану ($N_0 = 3$).

Вихідний параметр \bar{y}_0 розраховано за формулою (2):

$$\bar{y}_0 = \frac{\sum_{k=1}^{N_0} y_{0k}}{N_0}. \tag{2}$$

Обчислення коефіцієнтів рівняння регресії здійснено за формулами (3 – 6):

$$b_0' = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N}, \tag{3}$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}, \tag{4}$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{iu} \cdot x_{ju})^2}, \tag{5}$$

$$b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu}' \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{iu}')^2}. \tag{6}$$

де $i = 0, 1, \dots, n$;

N – кількість дослідів ($N = 9$);

n – число стовпців матриці планування.

Дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії та розрахункових значень критерію Стюдента обчислено за формулами (7–10):

$$S_{b_0'} = \sqrt{\frac{S_0^2}{N}}, \tag{7}$$

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{S_0^2}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}}, \tag{8}$$

$$S_{b_{ij}} = \sqrt{\frac{S_0^2}{\sum_{u=1}^N (x_{iu} \cdot x_{ju})^2}}, \tag{9}$$

$$S_{b_{ii}} = \sqrt{\frac{S_0^2}{\sum_{u=1}^N (x_{iu}')^2}}. \tag{10}$$

Розрахункове значення критерію Стюдента визначено за формулами (11–13):

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}, \tag{11}$$

$$t_{ijp} = \frac{|b_{ij}|}{S_{b_{ij}}}, \tag{12}$$

$$t_{iip} = \frac{|b_{ii}|}{S_{b_{ii}}}. \tag{13}$$

Перевірка значимості коефіцієнтів рівняння регресії чиняться так: табличне значення критерію Стюдента знаходимо за таблицею [14] залежно від $q = 0,05$ та $f_0 = N_0 - 1$.

Далі порівнюємо розраховані значення критерію Стюдента з табличним для оцінки значимості коефіцієнтів рівняння регресії. Якщо $t_{ip}, t_{iip}, t_{iip} > t_{табл.}(q, f_0)$, то коефіцієнт вважається значимим, якщо ні, то коефіцієнт приймається рівним нулю, тобто відповідний фактор або взаємодія факторів виключається з рівняння регресії.

Розрахункове значення вихідного параметру за рівнянням регресії, тобто розрахунок значення дисперсії адекватності здійснено так:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (y_u - \hat{y}_u)^2}{(N-1)}, \quad (14)$$

де \hat{y}_i – значення вихідного параметру, розраховане за отриманим рівнянням регресії;

L – число значимих коефіцієнтів у рівнянні регресії.

Розрахункове значення критерію Фішера визначено за формулою (15):

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_0^2}, \quad (15)$$

Табличне значення критерію Фішера знаходимо за таблицею [15] в залежності від $q = 0,05, f_{ад} = N - L$ та $f_0 = N_0 - 1$.

Далі порівнюємо розраховане значення критерію Фішера з табличним. Якщо $F_p < F_r(q, f_0, f_{ад})$, то нелінійна модель вважається адекватною, її можна використовувати для побудови оптимуму та визначення координати оптимуму процесу.

На підставі відповідних розрахунків знайдено значення функцій відгуку та одержано криві регресії.

5. Експериментальні дані та їх обробка

Результати попередніх досліджень щодо складу ацилгліцеринів зразків олії підтверджують наявність в олії ліній соняшнику насиченого типу 2-олеодінасичених ацилгліцеринів (тип GS₂U), що складають основу жирів кондитерських, кулінарних, хлібопекарських та для молочної промисловості. Серед досліджених зразків насіння соняшнику перспективною за вмістом дінасичено-мононенасичених ацилгліцеринів виявилася олія лінії Мх 53 Б [16].

Дослідження процесу кристалізації олії зазначеної лінії за допомогою прилада Жукова, результати яких представлено на рис. 1, показали, що при кристалізації на кривій застигання спостерігається один чітко виражений пік в інтервалі температур 4–5 °С, який відповідає кристалізації високоплавких триацилгліцеринів. Таким чином, можна стверджувати, що температура фракціонування знаходиться в діапазоні 4–5 °С.

В серії дослідів (всього 9) нагріту соняшникову олію пальмітинового типу лінії Мх 53 Б охолоджували із заданим темпом та витримували певний час, потім фільтрували під вакуумом (або можна центрифугувати) та одержували дві фракції – рідку та цільову (кристалічну). Аналізуючи цільову фракцію, визна-

чали її вихід (Y, %) та температуру плавлення (Z, °С). Ці показники і обрано параметрами відгуку у матриці планування. Умови проведення досліджень представлено у табл. 1.

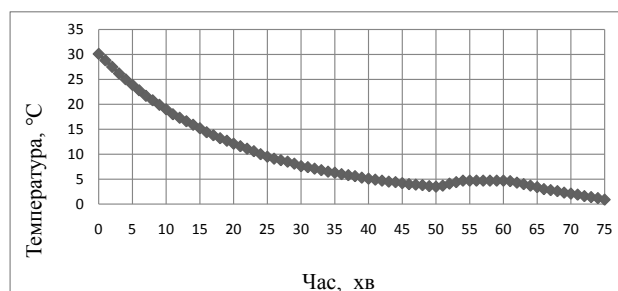


Рис. 1. Кінетична залежність температури соняшникової олії пальмітинового типу лінії Мх 53 Б (°С) від часу охолодження у приладі Жукова (хв)

Таблиця 1

Умови проведення досліджень

Фактори	Темп охолодження, °С/год	Час кристалізації, год
Код	X ₁	X ₂
Основний рівень, X _ю	2	48
Інтервал варіювання, ΔX ₁	1	24
Верхній рівень, +1	3	72
Нижній рівень, -1	1	24
Верхня зіркова точка, +1	3	72
Нижня зіркова точка, -1	1	24

Матриця планування експерименту у натуральному і кодованому вигляді факторів та його результати представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця планування експерименту та його результати

№ досліду	Фактори в натуральному вигляді		Фактори в кодованому вигляді		Результати експерименту	
	Темп охолодження, °С/год	Час кристалізації, год	X ₁	X ₂	Вихід цільової фракції, % Y	Температура плавлення фракції, °С Z
1	2	3	4	5	6	7
1	1	24	-1	-1	3,03	22,3
2	3	24	+1	-1	2,85	22,1
3	1	72	-1	+1	17,00	20,4
4	3	72	+1	+1	6,15	20,7
5	1	48	-1	0	17,78	20,2
6	3	48	+1	0	6,00	23,1
7	2	24	0	-1	4,00	20,1
8	2	72	0	+1	16,20	19,7
9	2	48	0	0	14,55	20,7

На підставі відповідних розрахунків знайдено значення функцій відгуку та одержано криві регресії. Залежність виходу цільової фракції після фракціонування (Y, %) від основних параметрів процесу кристалізації (темпу охолодження та часу кристалізації) описується наступним рівнянням. У кодових змінних воно має вигляд:

$$Y = 9,729 - 3,802 \cdot X_1 + 4,912 \cdot X_2 - 2,668 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2,787 \cdot (X_1^2 - X_1^{-2}) - 4,586 \cdot (X_2^2 - X_2^{-2}). \quad (16)$$

Значимість коефіцієнтів перевіряли за умови t_{ip} ,

$$t_{iip}, \quad t_{iip} > t_{табл.} \quad (t_{табл.} = 4,3, f = 2, Sb_o = 0,175, Sb_i = 0,214,$$

$Sb_{ij} = 0,262, Sb_{ii} = 0,371)$ у відповідності з розрахованими значеннями критерія Стьюдента:

$$t_0 = 55,613,$$

$$t_1 = -17,744,$$

$$t_2 = 22,924,$$

$$t_{12} = -10,165,$$

$$t_{11} = -7,511,$$

$$t_{22} = -12,358.$$

При $X_1^{-2} = 0,67$ [14] та оскільки всі розраховані коефіцієнти перевищують табличне значення критерія Стьюдента можна зробити висновок, що всі коефіцієнти і відповідні фактори або взаємодії факторів є значимими. Крива регресії має наступний вигляд:

$$Y = 14,669 - 3,802 \cdot X_1 + 4,912 \cdot X_2 - 2,668 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2,787 \cdot X_1^2 - 4,586 \cdot X_2^2. \quad (17)$$

Розрахункове значення критерія Фішера $F_{розрах.} = 10,49$, табличне значення $F_{табл.} = 215,70$ (при рівні значимості 0,05). Оскільки $F_{розрах.} < F_{табл.}$, рівняння (17) адекватно описує поверхню відгуку.

Аналіз цієї моделі показує, що домінуючим фактором впливу на вихід цільової фракції є час кристалізації олії. Разом з тим, помітний вплив справляє також і темп охолодження та ефект взаємодії темпу охолодження і часу кристалізації. Квадратична залежність виходу цільової фракції від темпу охолодження та часу кристалізації передбачає наявність екстремальної області значень цих перемінних, при яких вихід цільової фракції буде оптимальним.

Залежність виходу цільової фракції після процесу фракційної кристалізації від основних параметрів процесу у фізичних перемінних має вигляд:

$$y = -27,787 + 12,674 \cdot x_1 + 1,195 \cdot x_2 - 0,111 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2,787 \cdot x_1^2 - 0,008 \cdot x_2^2. \quad (18)$$

Другим важливим показником спеціальних жирів, які отримують в результаті процесу фракційної кри-

сталізації є температура плавлення отриманого жиру (Z, °C), яка нормується відповідно до ДСТУ 4335:2004 та визначається за кривою (19). У кодових змінних вона має вигляд:

$$Z = 21,03 + 0,50 \cdot X_1 - 0,62 \cdot X_2 + 0,13 \times X_1 \cdot X_2 + 1,29 \cdot (X_1^2 - X_1^{-2}) - 0,48 \cdot (X_2^2 - X_2^{-2}). \quad (19)$$

Значимість коефіцієнтів перевіряли за умови

$$t_{ip}, \quad t_{iip}, \quad t_{iip} > t_{табл.} \quad (t_{табл.} = 4,3, f = 2, Sb_o = 0,088,$$

$Sb_i = 0,108, Sb_{ij} = 0,132, Sb_{ii} = 0,187)$ у відповідності з розрахованими значеннями критерія Стьюдента:

$$t_0 = 238,496,$$

$$t_1 = 4,629,$$

$$t_2 = -5,709,$$

$$t_{12} = 0,945,$$

$$t_{11} = 6,895,$$

$$t_{22} = -2,574.$$

При $X_1^{-2} = 0,67$ та після виключення незначимих коефіцієнтів і відповідних факторів або взаємодій факторів крива регресії має наступний вигляд:

$$Z = 20,49 + 0,50 \cdot X_1 - 0,62 \cdot X_2 + 1,29 \cdot X_1^2. \quad (20)$$

Розрахункове значення критерія Фішера $F_{розрах.} = 16,89$, табличне значення $F_{табл.} = 230,20$ (при рівні значимості 0,05). Оскільки $F_{розрах.} < F_{табл.}$, рівняння (20) адекватно описує поверхню відгуку.

Як і в попередній залежності величина цього показника визначається часом кристалізації (X_2). Вплив темпу охолодження на температуру плавлення цільової фракції також достатньо значний. Квадратична залежність температури плавлення фракції від темпу охолодження олії також передбачає наявність екстремальної області значень цієї перемінної, при яких температура плавлення фракції буде оптимальною.

Залежність температури плавлення фракції спеціального жиру, отриманої в результаті процесу фракційної кристалізації, від основних параметрів процесу у фізичних перемінних має вигляд:

$$z = 25,89 - 4,66 \cdot x_1 - 0,03 \cdot x_2 + 1,29 \cdot x_1^2. \quad (21)$$

Для залежностей (18), (21) знайдено екстремальні значення, які представлено в табл. 3.

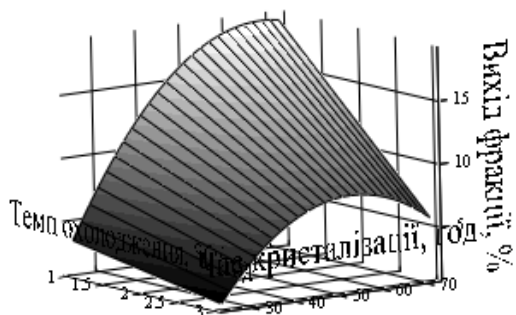
Отже, в ході математичного описання встановлено кількісну залежність (у вигляді регресійної моделі) виходу цільової фракції та її температури плавлення від темпу охолодження та часу кристалізації, а також розраховано раціональні параметри процесу.

Графічні зображення поверхонь відгуку та зон раціональних значень (рис. 2, 3).

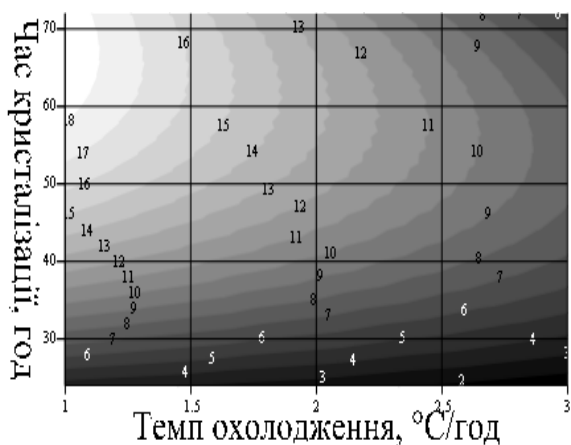
Таблиця 3

Екстремальні значення кривих регресій

Значення функції, %	Темп охолодження, °С/год	Час кристалізації, год
Код	x_1	x_2
Вихід цільової фракції		
Найбільше значення $y = 18,804$	1	68
Найменше значення $y = 1,859$	2,9	24
Температура плавлення фракції		
Найбільше значення $z = 22,61$	2,9	24
Найменше значення $z = 19,82$	1,8	72



а



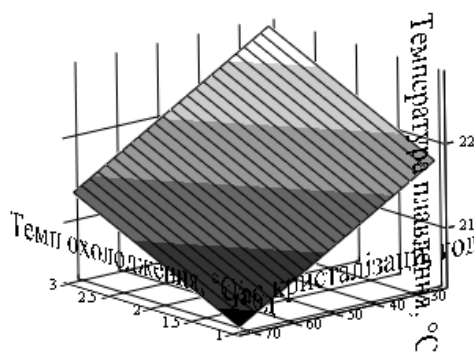
б

Рис. 2. Залежність виходу цільової фракції жиру (Y , %) від темпу охолодження (X_1 , °С/год) та часу кристалізації (X_2 , год): а – модель поверхні відгуку; б – зона раціональних значень

Аналізуючи графічні залежності, наведені на рис. 2, 3, слід зазначити, що різниця в температурах плавлення отриманих спеціальних жирів у всіх дослі-

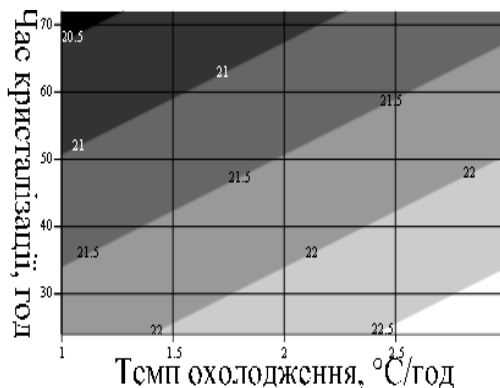
дах є незначною і складає $\sim 2^\circ\text{C}$, тому вихід фракції є тим параметром, на який потрібно орієнтуватися під час проведення фракційної кристалізації з метою збільшення економічної ефективності процесу.

В результаті фракційної кристалізації соняшникової олії насиченого типу лінії Мх 53 Б можна отримати спеціальний жир, який за органолептичними та фізико-хімічними показниками згідно з ДСТУ 4335:2004 «Жири кондитерські, кулінарні, хлібопекарські та для молочної промисловості. Загальні технічні умови» відповідає хлібопекарському жиру, що може використовуватися в рецептурах хлібобулочних виробів. Регламентована температура плавлення таких жирів знаходиться в межах $17\text{--}27^\circ\text{C}$, таким чином жири, отримані у всіх дослідях, відповідають цій вимозі.



rez

а



б

Рис. 3. Залежність температури плавлення фракції (Z , °С) від темпу охолодження (X_1 , °С/год) та часу кристалізації (X_2 , год): а – модель поверхні відгуку; б – зона раціональних значень

Окрім цільової фракції в процесі фракційної кристалізації має місце друга фракція (рідка олійна), яка може бути застосована як олія салатна, олія для консервної промисловості та мати інші харчові призначення.

Ефективність проведення процесу кристалізації найвірніше було б оцінити якісними показника-

ми цільової кристалічної фракції, яку отримують в результаті процесу фракційної кристалізації. Органолептичні та фізико-хімічні показники отриманої фракції у порівнянні з показниками хлібопекарського жиру згідно з ДСТУ 4335:2004 наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Органолептичні та фізико-хімічні показники хлібопекарського жиру та отриманої кристалічної фракції

Назва показника	Хлібопекарський жир згідно з ДСТУ 4335:2004	Цільова кристалічна фракція
Запах і смак	Чистий смак. Запах введеного ароматизатора	Без стороннього запаху, присмаку та гіркоти
Колір	Від світло-жовтого до жовтого	Світло-жовтий
Консистенція за температури 18 °С	Однорідна, рухома (вимірюється за температури 16 °С)	Однорідна
Масова частка жиру, %, не менше ніж	99,70	99,97
Масова частка вологи та летких речовин, %, не більше ніж	0,30	0,03
Кислотне число, мг КОН/г, не більше ніж	0,80	0,42
Температура плавлення, °С	17,00–27,00	19,70–23,10
Температура застигання, °С	не вище 15,00	14,90
Пероксидне число, ½ О ммоль/кг		
- під час випуску з підприємства	5,00	1,52
- на прикінці терміну зберігання	10,00	

Жирно-кислотний склад початкової олії та отриманих фракцій наведено в табл. 5.

Отже, жирно-кислотний склад отриманих фракцій засвідчує, що методом фракційної кристалізації соняшникової олії насиченого типу лінії Мх 53 Б можна отримати фракції жиру, що мають спеціальне призначення.

Таблиця 5

Жирно-кислотний склад початкової олії та отриманих фракцій

Жирні кислоти	Початкова олія	Цільова кристалічна фракція	Рідка олійна фракція
C _{16:0} (П)	21,40	39,24	15,63
C _{16:1} (ПО)	3,00	1,34	2,16
C _{18:0} (С)	2,60	2,93	3,00
C _{18:1} (О)	17,70	11,24	18,54
C _{18:2} (Л)	53,20	42,76	57,11
C _{20:0} (Еа)	0,20	0,22	0,27
C _{20:1} (Ее)	0,10	–	0,12
C _{22:0} (Б)	0,80	0,83	1,19
C _{22:1} (Д)	0,10	0,18	0,25
C _{24:0} (Та)	0,60	0,87	1,17
C _{24:1} (Те)	0,30	0,39	0,56

6. Висновки

Таким чином, пошук раціональних умов фракційної кристалізації олії відбувався із розплаву при зазначеній температурі з використанням методу математичного планування експерименту. Використовували ортогональний центрально-композиційний план другого порядку – ОЦКП з наступною обробкою даних в програмних пакетах MathCad і Microsoft Excel. На підставі відповідних розрахунків знайдено значення функцій відгуку та одержано рівняння регресій, які адекватно описують поверхні відгуку. Раціональні умови фракційної кристалізації, які забезпечують збільшення виходу цільової кристалічної фракції з необхідною температурою плавлення, будуть необхідними для подальшого дослідження закономірностей фракціонування соняшникової олії насиченого типу методом кристалізації із розплаву при використанні допоміжних речовин з метою інтенсифікації процесу.

Література

- Garces, R. Current advances in sunflower oil and its applications [Текст] / R. Garces, E. Martinez-Force, J. Salas, M. Venegas-Caleron // J. Lipid Technology. – 2009. – Vol. 21. – P. 79–82.
- Мазалова, Л. М. Методы модификации специализированных жиров [Текст] / Л. М. Мазалова // Пищевая промышленность. – 2006. – № 9. – С. 66.
- Moran, D. P. J. Fats in food products [Текст] / D. P. J. Moran, K. K. Rajah. – New York : Springer US, 1995. – 415 p.
- Garti, N. Crystalization processes in fats lipid systems [Текст] / N. Garti, K. Sato. – New York : CRC Press, 2001. – 552 p.
- Фракционная кристаллизация в производстве пищевых модифицированных жиров [Текст] / В. В. Сухонос, О. К. Филатов, Ю. А. Тырсин [и др.] // Пищевая промышленность. – 2003. – № 5. – С. 34–37.
- Wrenn, L. B. Cottonseed oils rise to prominence [Текст] / L. B. Wrenn // INFORM: International News on Fats, Oils and Related Materials. – 1998. – Vol. 9. – No. 1. – P. 100–106.

7. Гринберг, Г. Модифицированные жиры [Текст] / Г. Гринберг, Г. Щепаньская. – М. : Пищевая промышленность, 1973. – 105 с.
8. Химия жиров : [учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология жиров»] : [Текст] / [Б. Н. Тютюнников, З. И. Бухштаб, Ф. Ф. Гладкий и др.]. – [3-е изд.]. – М. : Колос. – 1992. – 448 с. : ил.
9. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : [учебник для студентов высших учебных заведений]. В 2 частях. Часть 2 / [Товажнянский Л.Л., Готлинская А.П., Лещенко В.А и др.] ; под ред. Л.Л. Товажнянского. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2005. – 523 с. : ил.
10. Wright, A. J. The effect of minor component milk fat crystallization [Текст] / A. J. Wright, A. C. Marangoni // J. Am. Oil Chemists' Soc. – 2000. – Vol. 77. – No. 5. – P. 463-475.
11. Widlak, N. Crystallization and solidification properties of lipids [Текст] / N. Widlak, R. W. Hartel, S. Narine. – USA : Am. Oil Chemists' Soc. (AOCS), 2001. – 246 p.
12. Jacobsberg, B. Studies in palm oil crystallisation [Текст] / B. Jacobsberg, C. H. Oh // J. Am. Oil Chemists' Soc. – 1976. – Vol. 53. – P. 609–616.
13. О'Браєн, Р. Жири и масла. Производство, состав и свойства, применение [Текст] / Р. О'Браєн; [пер. с англ. [В. Д. Широкова, Д. А. Бабейкиной, Н. С. Селивановой, Н. В. Маглы]]. – [2-е изд.] . – СПб. : Профессия, 2007. – 752 с.
14. Ахназарова, С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии [Текст] / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М. : Высшая школа, 1985. – 327 с.
15. Бондарь, А.Г. Планирование эксперимента в химической технологии (основные положения, примеры и задачи) [Текст] / А.Г. Бондарь, Г.А. Статюха. – Издательское объединение «Вища школа», 1976. – 184 с.
16. Куниця, К.В. Структура ацилглицеринів олії нових ліній насіння соняшнику насиченого типу [Текст] / К.В. Куниця, О.А. Литвиненко, Ф.Ф. Гладкий // Східно-Європейський журнал передових технологій, [S.l.], v. 2, n. 6(62), с. 7-10.