

УДК 665.383

В. С. КАЛИНА, К. В. КУНИЦЯ, Ф. Ф. ГЛАДКИЙ, М. В. ЛУЦЕНКО, О. А. ЛИТВИНЕНКО

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ УМОВ ФРАКЦІЙНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЖИРНОЇ КОРІАНДРОВОЇ ОЛІЇ

Стаття присвячена визначенню раціональних умов фракціонування жирної коріандрової олії із розплаву. Визначено основні закономірності фракційної кристалізації олії. Отримано математичні описи залежності виходу цільової фракції і її температури плавлення від основних параметрів процесу, а саме: темпу охолодження та тривалості кристалізації. Встановлено, що в результаті процесу фракційної кристалізації жирної коріандрової олії одержано дві фракції: жир спеціального призначення відповідно до ДСТУ 4335:2004, а саме – хлібопекарського, та рідка фракція (рідка олійна), яка може бути застосована як олія салатна, як олія для консервної промисловості та мати інші харчові призначення.

Ключові слова: жирна коріандрова олія, фракційна кристалізація, температура плавлення, розплав, ортогональний центральний композиційний план.

Вступ. 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.

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]. Вони можуть бути розділені на декілька фракцій з метою отримання нових сировинних матеріалів, що мають більш широкі функціональні і технологічні властивості, ніж натуральні продукти.

У зв'язку зі специфікою жирнокислотного складу жирну коріандрову олію до теперішнього часу піддавали повній неселективній гідрогенізації з метою отримання низькоодного саломасу для виробництва стеаринової кислоти [2]. Разом з тим, така особливість складу жирної коріандрової олії дає можливість застосувати до неї фізичний процес модифікації – фракціонування, який не потребує хімічних реагентів та має безліч переваг.

Фракціонування є процесом зворотної термомеханічної 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 [3, 4]. Фракційна кристалізація – розділення жирів на групи триацилгліцеринів за температурою застигання, є одним із старіших методів модифікації жирів [5 – 7], 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 [8]. У процесі фрак-

ціонування 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.

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 фракції 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. Так при швидкому охолодженні розплав утворюється α -модифікація, при помірному – β' , при повільному – β [9]. Швидкий темп охолодження викликає сильне переохолодження, яке призводить до утворення великої кількості дрібних, безформних, м'яких кристалів змішаного типу, які погано відділяються при фільтруванні [10].

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

Кристалізація жиру відбувається у дві стадії: утворення центрів кристалізації (зародків кристалізації) та зростання кристалів.

Швидкість і характер кристалізації триацилгліцеринів залежать від ступеню очищення жиру, оскільки моно- та діацилгліцерини, фосфоліпіди та інші полярні домішки гальмують кристалізацію [11]. 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 [12].

©В. С. Калина, К. В. Куниця, Ф. Ф. Гладкий, М. В. Луценко, О. А. Литвиненко. 2015

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.

Темп охолодження є головним чинником, що визначає розмір, кількість і стабільність утворених кристалів. Взагалі кристали приймають найбільш досконалі і характерні форми при повільному вирощуванні з розплаву або розчину з незначним переохолодженням [13].

Швидкість зростання кристалів залежить від температури кристалізації та тривалості процесу. Ретельний 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 [14].

Мета дослідження. Метою роботи є визначення основних закономірностей і раціональних умов фракціонування жирної коріандрової олії із розплаву та отримання залежностей виходу цільової фракції і її температури плавлення від основних параметрів процесу.

Методика дослідження фракційної кристалізації жирної коріандрової олії. 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 дослідів в центрі плану проведено у трьох паралелях. Розрахунок помилки дослідів за паралельними дослідями в центрі плану виконано за формулою (1):

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

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

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

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

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

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

$$b'_0 = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N}, \quad (3)$$

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

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

$$b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^N x'_{iu} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x'_i)^2}. \quad (6)$$

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):

$$S_{b'_0} = \sqrt{\frac{S_0^2}{N}}, \quad (7)$$

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

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

$$S_{b_{ii}} = \sqrt{\frac{S_0^2}{\sum_{u=1}^N (x'_i)^2}}. \quad (10)$$

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

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}, \quad (11)$$

$$t_{ijp} = \frac{|b_{ij}|}{S_{b_{ij}}}, \quad (12)$$

$$t_{iip} = \frac{|b_{ii}|}{S_{b_{ii}}}. \quad (13)$$

Перевірка значимості коефіцієнтів рівняння регресії чиняться так. Табличне значення критерію Стюдента знаходимо за таблицею [15] 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_{ijp} , $t_{iip} \geq t_{0(q, f)}$, 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:

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

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):

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

Табличне значення критерію Фішера знаходимо за таблицею [16] в залежності від $q = 0,05$, $f_{ad} = N - L$ та $f_0 = N_0 - 1$.

Далі порівнюємо розраховане значення критерію Фішера з табличним. Якщо $F_{pt} < F_0(q_{ad}, f)$, то

нелінійна модель вважається адекватною, її можна використовувати для побудови оптимуму та визначення координати оптимума процесу.

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

Експериментальні дані та їх обробка. Результати попередніх досліджень щодо складу ацилгліцеринів зразків ЖКО підтверджують наявність в ній триптерозелінових гліцеридів (Реререр) – 41,80 % [17], що складають основу жирів кондитерських, кулінарних, хлібопекарських та для молочної промисловості.

Дослідження процесу кристалізації ЖКО у приладі Жукова, результати яких представлено на рис. 1, показали, що на кривій застигання спостерігається один чітко виражений пік в інтервалі температур 4–6 °С, який свідчить про вивільнення теплового ефекту фазового переходу жиру та відповідає кристалізації високоплавких триацилгліцеринів. Таким чином, можна стверджувати, що температура фракціонування для жирної коріандрової олії знаходиться в діапазоні 4–6 °С.

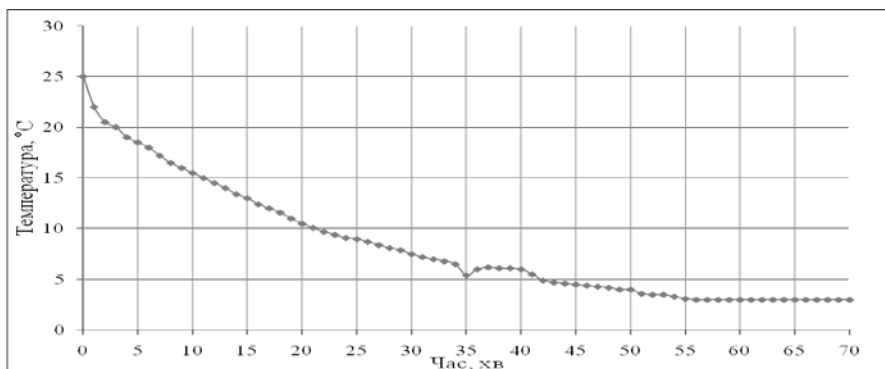


Рис. 1 – Залежність температури жирної коріандрової олії (°С) від часу охолодження у приладі Жукова (хв)

В серії дослідів (всього 9) нагріту жирну коріандрову олію охолоджували із заданою швидкістю та витримували певний час, потім фільтрували під вакуумом (або можна центрифугувати) та одержували дві фракції – рідку та цільову (кристалічну). Аналізуючи цільову фракцію, визначали її вихід (Y , %) та температуру плавлення (Z , °С). Ці показники і обрано параметрами відгуку у матриці планування. Умови проведення досліджень представлено у табл. 1.

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

Таблиця 1 – Умови проведення досліджень

Фактори	Швидкість охолодження, °С/год	Тривалість кристалізації, год
Код	X_1	X_2
Основний рівень, X_{i0}	2	16
Інтервал варіювання, ΔX	1	8
Верхній рівень, +1	3	24
Нижній рівень, -1	1	8
Верхня зіркова точка, +1	3	24
Нижня зіркова точка, -1	1	8

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту та його результати

№ дослідів	Фактори в натуральному вигляді		Фактори в кодованому вигляді		Результати експерименту	
	Швидкість охолодження, °С/год	Тривалість кристалізації, год	X_1	X_2	Вихід цільової фракції, %У	Температура плавлення фракції, °С Z
1	2	3	4	5	6	7
1	1	8	-1	-1	10,40	22,9
2	3	8	+1	-1	10,10	22,5
3	1	24	-1	+1	24,35	18,9
4	3	24	+1	+1	13,50	19,4
5	1	16	-1	0	25,01	18,4
6	3	16	+1	0	13,20	23,6
7	2	8	0	-1	11,10	18,3
8	2	24	0	+1	23,20	17,1
9	2	16	0	0	22,15	19,0

На підставі відповідних розрахунків знайдено значення функцій відгуку та одержано криві регресій. Залежність виходу цільової фракції після фракціювання (V , %) від основних параметрів процесу кристалізації (швидкості охолодження та тривалості кристалізації) описується наступним рівнянням. У кодових змінних воно має вигляд:

$$V = 17,012 - 3,810 \cdot X_1 + 4,908 \cdot X_2 - 2,638 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2,716 \cdot (X_1^2 - X_1^{-2}) - 4,737 \cdot (X_2^2 - X_2^{-2}) \quad (16)$$

Значимість коефіцієнтів перевіряли за умови t_{ip} , t_{ijp} , $t_{iip} > t_{табл.}$ ($t_{табл.} = 4,3$, $f = 2$, $Sb_o = 0,299$, $Sb_i = 0,366$, $Sb_{ij} = 0,449$, $Sb_{ii} = 0,635$) у відповідності з розрахованими значеннями критерія Стюдента:

$t_0 =$	56,868
$t_1 =$	-10,399
$t_2 =$	13,397
$t_{12} =$	-5,878
$t_{11} =$	-4,280
$t_{22} =$	-7,465

При $X_1^{-2} = 0,67$ [15] та після виключення незначимих коефіцієнтів і відповідних факторів або взаємодій факторів крива регресії має наступний вигляд:

$$V = 22,006 - 3,810 \cdot X_1 + 4,908 \cdot X_2 - 2,638 \cdot X_1 \cdot X_2 - 4,737 \cdot X_2^2 \quad (17)$$

Розрахункове значення критерія Фішера $F_{розрах} = 12,73$, 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 основним домінуючим фактором впливу на вихід цільової фракції є тривалість кристалізації жирної коріандрової олії. Разом з тим, помітний вплив справляє також і швидкість охолодження та ефект взаємодії швидкості охолодження і тривалості кристалізації. Квадратична залежність виходу цільової фракції від тривалості кристалізації передбачає наявність екстремальної області значення цієї перемінної, при якій вихід цільової фракції буде оптимальним.

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

$$y = -9,694 + 1,470 \cdot x_1 + 3,642 \cdot x_2 - 0,330 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,074 \cdot x_2^2 \quad (18)$$

Іншим важливим показником жирів спеціального призначення, які отримують в результаті процесу фракційної кристалізації 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:

$$Z = 19,989 + 0,917 \cdot X_1 - 1,467 \cdot X_2 + 0,350 \cdot X_1 \cdot X_2 + 2,774 \cdot (X_1^2 - X_1^{-2}) - 0,697 \cdot (X_2^2 - X_2^{-2}) \quad (19)$$

Значимість коефіцієнтів перевіряли за умови t_{ip} , t_{ijp} , $t_{iip} > t_{табл.}$ ($t_{табл.} = 4,3$, $f = 2$, $Sb_o = 0,067$, $Sb_i = 0,082$, $Sb_{ij} = 0,100$, $Sb_{ii} = 0,141$) у відповідності з розрахованими значеннями критерія Стюдента:

$t_0 =$	299,833
$t_1 =$	11,227
$t_2 =$	-17,963
$t_{12} =$	3,500
$t_{11} =$	19,617
$t_{22} =$	-4,926

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

$$Z = 18,597 + 0,917 \cdot X_1 - 1,467 \cdot X_2 + 2,774 \cdot X_1^2 - 0,697 \cdot X_2^2 \quad (20)$$

Розрахункове значення критерія Фішера $F_{розрах} = 63,75$, 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 тривалістю кристалізації (X_2). Вплив швидкості охолодження на температуру плавлення цільової фракції також достатньо значний. Квадратична залежність температури плавлення фракції від швидкості охолодження олії та тривалості кристалізації передбачає наявність екстремальної області значень цих перемінних, 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:

$$z = 27,977 - 10,179 \cdot x_1 + 0,169 \cdot x_2 + 2,774 \cdot x_1^2 - 0,011 \cdot x_2^2 \quad (21)$$

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

Таблиця 3 – Екстремальні значення кривих регресії (18), (21)

Значення функції, %	Швидкість охолодження, °C/год	Тривалість кристалізації, год
Код	x_1	x_2
<i>Вихід цільової фракції</i>		
Найбільше значення $y = 28,70$	1,0	23
Найменше значення $y = 11,74$	2,9	8
<i>Температура плавлення фракції</i>		
Найбільше значення $z = 23,01$	2,9	8
Найменше значення $z = 18,41$	1,0	24

Отже, в ході математичного описання встановлено кількісну залежність (у вигляді регресійної моделі) виходу цільової фракції та її температури плавлення від швидкості охолодження та часу кристалізації, а також розраховано раціональні параметри процесу. Графічні зображення поверхонь відгуку та зон раціональних значень показано на рис. 2 (а, б) і 3 (а, б).

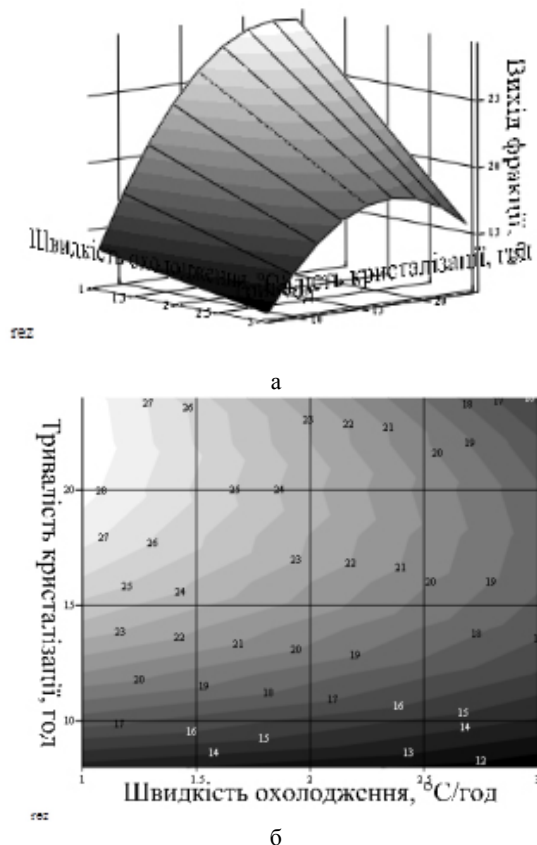


Рис. 2 – Залежність виходу цільової фракції жиру від швидкості охолодження та тривалості кристалізації: а - модель поверхні відгуку; б - зона раціональних значень

Аналізуючи графічні залежності, наведені на рис. 2 і 3, слід зазначити, що в результаті процесу фракційної кристалізації жирної коріандрової олії одержано жир спеціального призначення, а саме – хлібопекарського. Різниця в значенні температур плавлення отриманих фракцій у всіх дослідів є незначною, тому вихід фракції є тим параметром, на який потрібно орієнтуватися під час проведення фракційної кристалізації з метою збільшення економічної ефективності процесу. Визначено, що раціональними умовами фракційної кристалізації є швидкість охолодження 1 °C/год, тривалість кристалізації 23 год, це забезпечує збільшення виходу цільової кристалічної фракції з необхідною температурою плавлення.

В результаті фракційної кристалізації ЖКО 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 17-27°C, таким чином жири, отримані у всіх дослідів, відповідають цій вимозі.

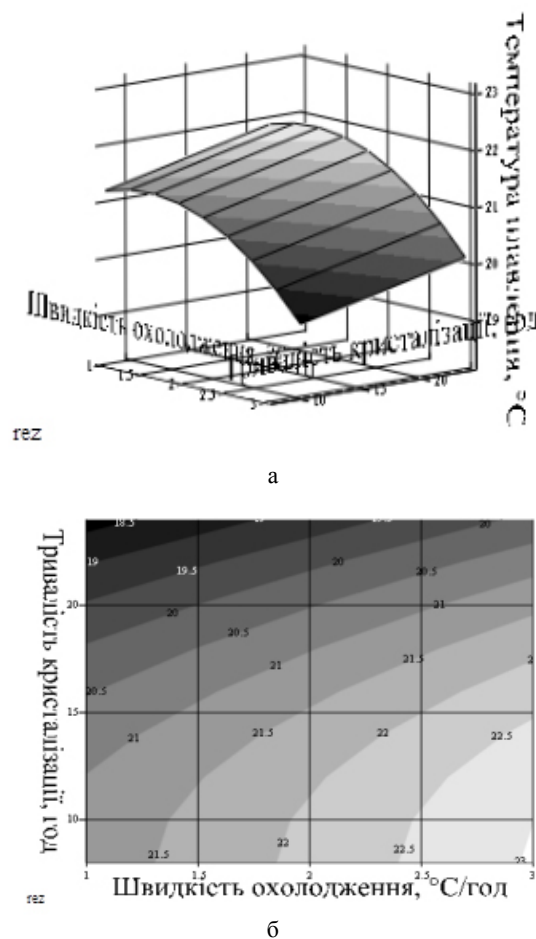


Рис. 3 – Залежність температури плавлення фракції від швидкості охолодження та тривалості кристалізації: а - модель поверхні відгуку; б - зона раціональних значень

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

Ефективність проведення процесу кристалізації найвірніше було б оцінити якісними показниками 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 °C	Однорідна, рухома (вимірюється за температури 16 °C)	Однорідна
Масова частка жиру, %, не менше ніж	99,70	99,97
Масова частка води та летких речовин, %, не більше ніж	0,30	0,02
Кислотне число, мг КОН/г, не більше ніж	0,80	0,42
Температура плавлення, °C	17,00–27,00	19,70–24,10
Температура застигання, °C	не вище 15,00	14,90
Пероксидне число, ½ О ммоль/кг - під час випуску з підприємства - наприкінці терміну зберігання	5,00 10,00	4,02

Висновки. Таким чином, пошук раціональних умов фракційної кристалізації олії відбувався із розплаву при зазначеній температурі з використанням методу математичного планування експерименту. Використовували ортогональний центральнокмпозиційний 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 жирної коріандрової олії методом кристалізації із розплаву при використанні допоміжних речовин з метою інтенсифікації процесу.

Список літератури: 1. Garces, R. Current advances in sunflower oil and its applications [Text] / R. Garces, E. Martinez-Force, J. Salas, M. Venegas-Calero // J. Lipid Technology. – 2009. – Vol. 21. – P. 79–82. 2. Осейко, Н. И. Исследование процесса обработки кориандрового жирного масла с целью замены им пищевых масел в промышленных производствах: дис. канд. техн. наук: 175 [Текст] / Н. И. Осейко; Киевский технологический институт пищевой промышленности. – К., 1969. – 185 с. 3. Мазалова, Л. М. Методы модификации специализированных жиров [Текст] / Л. М. Мазалова // Пищевая промышленность. – 2006. – No 9. – С. 66. 4. Moran, D. P. J. Fats in food products [Text] / D. P. J. Moran, K. K. Rajah. – New York: Springer US, 1995. – 415 p. 5. Garti, N. Crystallization processes in fats lipid systems [Text] / N. Garti, K. Sato. – New York: CRC Press, 2001. – 552 p. 6. Суханос, В. В. Фракционная кристаллизация в производстве пищевых модифицированных жиров [Текст] / В. В. Суханос, О. К. Филатов, Ю. А. Тырсин [и др.] // Пищевая промышленность. – 2003. – No 5. – С. 34–37. 7. Wrenn, L. B. Cottonseed oils rise to prominence [Text] / L. B. Wrenn // INFORM: International News on Fats, Oils and Related Materials. – 1998. – Vol. 9. – No. 1. – P. 100–106. 8. Гринберг, Г. Модифицированные жиры [Текст] / Г. Гринберг, Г. Щепанская. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 105 с. 9. Тютюнников, Б. Н. 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. 10. Товажнянский, Л. Л. Процессы и аппараты химической технологии [Текст]: [учебник для студентов высших учебных заведений]. В 2 частях. Часть 2 / [Товажнянский Л. Л., Готинская А. П., Леценко В. А. и др.]; под ред. Л. Л. Товажнянского. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – 523 с.: ил. 11. Wright, A. J. The effect of minor component milk fat crystallization [Text] / A. J. Wright, A. C. Marangoni // J. Am. Oil Chemists' Soc. – 2000. – Vol. 77. – No. 5. – P. 463–475. 12. Widlak, N. Crystallization and solidification properties of lipids [Text] / N. Widlak, R. W. Hartel, S. Narine. – USA: Am. Oil Chemists' Soc. (AOCS), 2001. – 246 p. 13. Ja-

cobsberg, B. Studies in palm oil crystallisation [Text] / B. Jacobsberg, C. H. Oh // J. Am. Oil Chemists' Soc. – 1976. – Vol. 53. – P. 609–616. 14. О'Брайен, Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение [Текст] / Р. О'Брайен; [пер. с англ. [В. Д. Широкова, Д. А. Бабейкиной, Н. С. Селивановой, Н. В. Маглы]]. – [2-е изд.]. – СПб.: Профессия, 2007. – 752 с. 15. Ахназарова, С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии [Текст] / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с. 16. Бондарь, А. Г. Планирование эксперимента в химической технологии (основные положения, примеры и задачи) [Текст] / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха. – Издательское объединение «Высшая школа», 1976. – 184 с. 17. Subbaram M. R., Youngs C. G. Determination of the glyceride structure of fats. glyceride structure of fats with unusual fatty acid compositions [Text] / M. R. Subbaram, C. G. Youngs // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1967. – T. 44. – No. 7. – С. 425–428.

Bibliography (transliterated): 1. Garces, R., Martinez-Force, E., Salas, J., Venegas-Calero, M. (2009). Current advances in sunflower oil and its applications. Journal Lipid Technology, 21, 79–82. 2. Oseyko N. I. (1969) Issledovanie processa obrabotki koriandrovogo girnogo masla s celyu zamenu im pishevuh masel v promyshlennuh proizvodstvakh: dis. kand. tehn. nauk; Kievskiy tehnologicheskii institut pishevoy promyshlennosti, 185. 3. Mazalova, L. M. (2006). Metody modyfykatsyy spetsyalizirovannykh zhyrov. Pyshechevaia promyshlennost, 9, 66. 4. Moran, D. P. J., Rajah, K. K. (1995). Fats in food products. – New York, Springer US, 415. 5. Garti, N., Sato, K. (2001). Crystallization processes in fats lipid systems. – New York, CRC Press, 552. 6. Sukhonos, V. V., Fylatov, O. K., Tyrsyn, Yu. A. (2003). Fraktsionnaya krystallizatsiya v proyzvodstve pyshechevykh modyfytsirovannykh zhyrov. Pyshechevaia promyshlennost, 5, 34–37. 7. Wrenn, L. B. (1998). Cottonseed oils rise to prominence. INFORM: International News on Fats, Oils and Related Materials, 9, 1, 100–106. 8. Hrynberh, H., Shchepanskaia, H. (1973). Modyfykovannyye zhyry. – M., Pyshechevaia promyshlennost, 105. 9. Tiutunnikov, B. N., Bukhshtab, Z. I., Hladkyi, F. F. et al. (1992). Khymia zhyrov: [uchebnyk dlia studentov vuzov, obuchaiushchysia po spetsialnosti «Tekhnologiya zhyrov»]. [3-e yzd.]. Moscow, Kolos, 448. 10. Tovazhniyskiy, L. L., Hotlynskaia, A. P., Leshchenko, V. A. et al. (2005). Protsesty y apparaty khymicheskoi tekhnolohyy: [uchebnyk dlia studentov vysshykh uchebnykh zavedeniy]. V 2 chastiakh. Chast 2; pod red. L. L. Tovazhniyskogo. Kharkov, NTU «KhPI», 523. 11. Wright, A. J., Marangoni, A. C. (2000). The effect of minor component milk fat crystallization. J. Am. Oil Chemists' Soc., 77, 5, 463–475. 12. Widlak, N., Hartel, R. W., Narine, S. (2001). Crystallization and solidification properties of lipids. – USA, Am. Oil Chemists' Soc., 246. 13. Jacobsberg, B., Oh, C. H. (1976). Studies in palm oil crystallisation. J. Am. Oil Chemists' Soc., 53, 609–616. 14. O'Braien, R. (2007). Zhyry y masla. Proyzvodstvo, sostav y svoystva, prymeneniye / R. O'Braien; [per. s angl. [V. D. Shyroкова, D. A. Babeiynoi, N. S. Selyvanovoi, N. V. Mahly]]. [2-e yzd.]. St. Petersburg, Professyia, 752. 15. Akhnazarova, S. L., Kafarov, V. V. (1985). Metody optimyzatsyy eksperymenta v khymicheskoi tekhnolohyy. Moscow, Vysshiaia shkola, 327. 16. Bondar, A. H., Statiukha, H. A. (1976). Planirovaniye eksperymenta v khymicheskoi tekhnolohyy (osnovnye polozenia, primery y zadachy). Kiev, Yzdatelskoe obiedyneniye «Vysshia shkola», 184. 17. Subbaram, M. R., Youngs, C. G. (1967). Determination of the glyceride structure of fats. glyceride structure of fats with unusual fatty acid compositions. Journal of the American Oil Chemists' Society, 44, 7, 425–428.

Надійшла (received) 12.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Калина Вікторія Сергіївна, здобувач, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», здобувач кафедри «технологія жирів та продуктів бродіння»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002; e-mail: viktoriya-kalina@mail.ru.

Калина Виктория Сергеевна – соискатель, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», соискатель кафедры «технология жиров и продуктов брожения»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002; e-mail: viktoriya-kalina@mail.ru.

Kalina Viktoriia – postgraduate student, National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Department of Technology of fats and fermentation products; 21 Frunze str., Kharkov, Ukraine, 61002; tel.:

Куниця Катерина Вікторівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник кафедри «технологія жирів та продуктів бродіння»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002; тел.: (057) 707-64-95; E-mail: ekaterina-kunitsa@mail.ru

Куниця Екатерина Викторовна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», научный сотрудник кафедры «технология жиров и продуктов брожения»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: (057) 707-64-95; E-mail: ekaterina-kunitsa@mail.ru

Ekaterina Kunitsa – PhD, National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, scientific researcher «Department of Technology of fats and fermentation products»; 21 Frunze str., Kharkov, Ukraine, 61002; tel.: (057) 707-64-95; E-mail: ekaterina-kunitsa@mail.ru

Гладкий Федір Федорович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «технологія жирів та продуктів бродіння»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002; тел.: (057) 707-64-95; E-mail: gladky2009@gmail.com

Гладкий Федор Федорович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедры «технология жиров и продуктов брожения»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: (057) 707-64-95; E-mail: gladky2009@gmail.com

Gladkiy Fedor – doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Head of Technology of fats and fermentation products, Department of Technology of fats and fermentation products; 21 Frunze str., Kharkov, Ukraine, 61002; tel.: (057) 707-64-95; E-mail: gladky2009@gmail.com

Луценко Марина Василівна – кандидат технічних наук, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, доцент кафедри «технологія зберігання та переробки сільськогосподарської продукції»; вул. Ворошилова, 25, м. Дніпропетровськ, Україна, 49000; E-mail: mariwka_11@mail.ru

Луценко Марина Васильевна – кандидат технических наук, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, доцент кафедры «технология хранения и переработки сельскохозяйственной продукции»; ул. Ворошилова, 25, м. Днепропетровск, Украина, 49000;

Lytsenko Maryna – PhD, Dnepropetrovsk state agrarian and economic university, Department of Technology of storage and processing of agricultural products; 25 Voroshilova str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49000; tel.: (067) 567-79-19; E-mail: mariwka_11@mail.ru

Литвиненко Олена Анатоліївна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри «технологія жирів та продуктів бродіння»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002; тел.: (057) 707-64-95; e-mail: elalitvinenko@yandex.ua

Литвиненко Елена Анатольевна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры «технология жиров и продуктов брожения»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002;

Elena Litvinenko – PhD, National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Department of Technology of fats and fermentation products; 21 Frunze str., Kharkov, Ukraine, 61002

УДК 621.3:622:519.24

Б. Б. КОБЫЛЯНСКИЙ, А. Г. МНУХИН**СТРАТЕГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

В статье рассмотрена стратегия обеспечения безопасности угольной промышленности которая базируется исходно на системе представления научной информации для отрасли, включающей в себя учет последствий аварий с оценкой стоимостей человеческих жизней. В рамках проведенных исследований показано, что представление ячейки макросистемы, т.е. непосредственно шахты в виде эргатического объекта, дает возможность оптимизации параметров безопасности угольных шахт с учетом конкретных характеристик применяемого в ней оборудования, причем все упомянутые элементы расчетов или управления должны строиться исключительно на компьютерной основе.

Ключевые слова: макросистема, угольные шахты, эргатический объект, оптимизация, безопасность, эффективность работы, управления угольной шахтой

© Б. Б. Кобылянский, А. Г. Мнухин . 2015