

УДК 665.32:613.288:665.112.2

*К.В. Куниця*<sup>а</sup>, *А.М. Пугач*<sup>б</sup>, *В.О. Панасенко*<sup>в</sup>, *Г.В. Криворучко*<sup>г</sup>, *Я.О. Свіщова*<sup>д</sup>,  
*М.С. Пономарьова*<sup>д</sup>, *В.П. Романюк*<sup>е</sup>, *О.А. Яценко*<sup>є</sup>, *О.М. Варипаєв*<sup>д</sup>

## РОЗРОБЛЕННЯ СКЛАДУ МОДИФІКОВАНИХ ЖИРОВИХ СИСТЕМ СТАБІЛЬНИХ ДО ОКИСНЕННЯ

<sup>а</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

<sup>б</sup> Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна,

<sup>в</sup> Державна установа «Державний науково-дослідний і проєктний інститут основної хімії»,  
м. Харків, Україна

<sup>г</sup> Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, ННІ «Українська інженерно-педагогічна академія», м. Харків, Україна

<sup>д</sup> Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

<sup>е</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ, Україна

<sup>є</sup> Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна

Досліджено вплив складу модифікованих жирових систем на їх стабільність до розшарування та окиснення. Особливість роботи полягає у встановленні апроксимаційних графічних та математичних залежностей стабільності до розшарування та окиснення структурованих жирових систем від вмісту та співвідношення структуроутворювачів та олійних компонентів. Об'єктом дослідження є залежність стабільності до розшарування та окиснення від вмісту та співвідношення структуроутворювачів та олійних складових. Доведено можливість зниження вмісту структуроутворювачів в жировій системі одночасно забезпечуючи необхідний рівень стабільності до розшарування. Запропоновано співвідношення рідких олій в продукті, що знижує пероксидне число після прискореного окиснення до 7 ммоль 1/2 О/кг, що в 2,6 рази менше за такий в контрольному зразку. Отримані дані пояснюються підвищеною стабільністю олійних складових продукту до окислювального псування за рахунок особливостей жирнокислотного та антиоксидантного складу. Доведено економічну доцільність виробництва стабільних до окиснення структурованих жирових систем на основі рідких олій. Вартість такого продукту є в 9 разів нижчою, ніж у комерційного аналогу (структурованої жирової системи на базі кокосової олії, стабілізованої етилцелюлозою). Особливістю отриманих результатів є можливість прогнозування термінів фізико-хімічної та хімічної придатності структурованих жирових систем на базі стабільної до окиснення сировини. З практичної точки зору результати досліджень дозволяють проводити розробку жирових систем з урахуванням як технологічних, так і економічних потреб. Прикладним аспектом використання наукового результату є можливість розширення асортименту конкурентоздатних структурованих жирових систем підвищеного терміну зберігання.

**Ключові слова:** структурована жирова система, рослинна олія, бджолиний віск, карбоксиметилцелюлоза, окисна стабільність.

**DOI:** 10.32434/0321-4095-2026-166-3-132-141



**Вступ**

Потреба різних галузей промисловості у пластичних жирових системах традиційно задовольняється за рахунок модифікації олій методами гідрогенізації, переетерифікації, фракціонування та купажування [1]. Однак класичні методи мають суттєві обмеження. Зокрема, гідрогенізація, що надає бажану твердість і стійкість, призводить до утворення транс-ізомерів жирних кислот, сполук з доведеним шкідливим впливом на здоров'я людини, що обумовило жорсткі законодавчі обмеження щодо їх вмісту у продуктах [2]. Інші методи, такі як фракціонування або переетерифікація, часто не забезпечують необхідної комбінації структури, стійкості та вартості [3,4].

Альтернативою є структурування рідких рослинних олій за допомогою низькомолекулярних гелеутворювачів з отриманням олеогелів. Ця технологія дозволяє створювати тверді пластичні системи без введення транс-жирів та зі зниженим вмістом насичених жирних кислот [5]. Однак процес їх одержання часто потребує високотемпературної обробки, що може ініціювати окислювальне псування олійної фази та погіршувати якість кінцевого продукту.

Зазначених недоліків позбавлені олеогелі – тверді дисперсні системи, що утворюють постійну однорідну структуру. При цьому в процесі одержання олеогелів є необхідність високотемпературної обробки, що сприяє розвитку окиснювальних процесів та погіршує показники якості [6]. Отже, удосконалення такої технології дозволить створити структуровані жирові продукти, які мають необхідні функціонально-технологічні властивості для використання в жировмісних продуктах та можуть слугувати альтернативним продуктом замість інших видів модифікованих жирів, зокрема гідрогенізованих. Таким чином, з метою розширення асортименту сировинних джерел структурованих жирових систем олеогелів з різними технологічними особливостями, зокрема стабільності до окислювального псування є доцільним визначення впливу складу олійної сировини на їхні технологічні властивості. Результати дослідження є важливими, оскільки існує потреба розширення джерела пластичних жирів з одночасним зменшенням вмісту насичених і транс-жирів для різних галузей промисловості.

Найбільш дослідженими як стабілізатори гелеутворення є рослинні воски [7]. Основним принципом отримання олеогелів є нагрівання окремих компонентів до температури плавлення воску (80–90°C) з подальшим охолодженням для формування структури [8]. Перевагою такого підходу є відносно шадна термічна обробка та збе-

реження показників вихідної олії. Однак недоліком є високий ступінь насиченості самих восків, а також той факт, що їхнє пероксидне число часто істотно вище, ніж у вихідній олійній сировині, що не сприяє загальній окисній стабільності системи [9]. Крім того, залишається відкритим питання впливу на організм людини значних кількостей цих насичених сполук з високою температурою плавлення. Дослідження бінарних комбінацій різних восків (парафін, бджолиний, соняшниковий, віск рисових висівок) показали можливість корекції властивостей гелю, зокрема через явища евтектичної поведінки та співкристалізації [10]. Однак фундаментальна проблема – високий вміст насичених компонентів у структурі – залишається невирішеною. Визначено, що міцність та консистенція таких олеогелів критично залежать від фракційного складу воску: вуглеводні та вільні жирні кислоти підвищують міцність, тоді як більша кількість воскових ефірів може призводити до утворення крихкої структури з високою межею текучості [11].

Дослідження демонструють потенціал олеогелів на основі восків як заміників твердих жирів. Наприклад, заміна шортенінгу олеогелем (соняшникова олія, структурована гідроксипропілметилцелюлозою) у листовому тісті дозволила зменшити вміст насичених жирів та покращити жирнокислотний профіль продукту без суттєвого погіршення текстурних характеристик [6]. Аналогічно, олеогель із соняшникової олії та бджолиного воску досліджувався для застосування в кондитерських виробках [12]. Однак основним обмеженням таких систем є низька окисна стабільність, особливо при використанні олій з високим вмістом поліненасичених жирних кислот (наприклад, соняшnikової) та в умовах високотемпературної обробки, необхідної при виробництві багатьох продуктів.

Найбільш вивченим полімерним агентом є етилцелюлоза (E 462). Технологія її застосування вимагає нагрівання олійної суспензії полімеру вище температури його склування (близько 140°C) з подальшим охолодженням, що дозволяє формувати тривимірну полімерну мережу [13]. Міцність та властивості такого гелю можна регулювати молекулярною масою полімеру, його концентрацією, а також швидкістю охолодження. Незважаючи на високі структуроутворювальні здатності, ключовим недоліком цього методу є необхідність інтенсивної високотемпературної обробки, що неминує ініціює та прискорює окислювальні процеси в ненасиченій олійній фазі. Спроби підвищити стабільність шляхом використання купажів олій (наприклад, канолі, со-

євої, лляної) також не є достатнім рішенням, оскільки олії ліноленової групи, що входять до таких купажів, самі по собі вкрай схильні до термоокиснення [14].

Проводяться дослідження щодо використання таких сполук, як кераміди та фітостерини, здатних формувати самоорганізовані ниткоподібні структури за рахунок міжмолекулярних водневих зв'язків без високотемпературної обробки [15]. Проте їхня висока вартість наразі суттєво обмежує можливості промислового застосування, особливо у харчовому секторі.

Таким чином, аналіз літератури виявляє певний брак систематичних даних щодо впливу складу олійної сировини на стабільність до окиснення структурованих олійних систем. Відсутні комплексні дані щодо впливу жирнокислотного та антиоксидантного профілю, а також фізико-хімічних показників олійної сировини на якісні показники олеогелів, одержаних з використанням різних структуроутворювачів. Важливим залишається визначення сумісного впливу компонентів жирової системи (олія, гелутворювач, можливі стабілізатори) на її окисну стабільність, особливо в умовах технологічних режимів, що передбачають високотемпературну обробку. Отже, актуальною є необхідність розробки складів модифікованих жирових систем типу олеогелів, які поєднують необхідні функціонально-технологічні властивості (твердість, пластичність, термостабільність) з високою стабільністю до окислювального псування. Вирішення даного питання потребує цілеспрямованого дослідження взаємозв'язку між складом та якістю олійної основи, типом та концентрацією структуроутворювача та кінцевою окисною стабільністю системи для створення альтернатив традиційним пластичним жирам.

Метою дослідження є розробка складу стабільних до окиснення модифікованих жирових систем. Це дасть змогу отримувати структуровані жирові системи, зокрема, олеогелі, стабільні до окислювального псування, технологія яких передбачає застосування високих температур під час створення продукції. Також отримані дані будуть корисними для обґрунтування технологій які передбачають застосування високих температур під час створення продукції.

Для досягнення поставленої мети доцільним є вирішення наступних задач:

– визначити показники якості, склад жирних кислот та антиоксидантів олійних складових структурованих жирових систем – рафінованих соняшникової, високоолеїнової соняшни-

кової, кукурудзяної та кунжутної олій;

– визначити сумісний вплив структуроутворюючих агентів – бджолиного воску та карбоксиметилцелюлози на стабільність до розшарування структурованих жирових систем;

– визначити сумісний вплив олійних складових структурованих жирових систем – рафінованих високоолеїнової соняшникової, кукурудзяної та кунжутної олій на стабільність до окиснення.

#### **Матеріали та методи дослідження**

##### *Об'єкт та гіпотеза дослідження*

Об'єктом дослідження є вплив складу олійної сировини на стабільність до окиснення структурованих жирових систем. Основною гіпотезою дослідження є збільшення стабільності до окиснення структурованих жирових систем, що містять в своєму складі специфічні антиоксиданти та переважну більшість жирних кислот низького ступеню ненасиченості.

##### *Досліджувані матеріали та обладнання*

Під час досліджень використано наступні матеріали та реактиви:

– олія соняшникова рафінована (виробництво Україна), згідно з ДСТУ 4492/CAS 8001-21-6;

– олія соняшникова високоолеїнова рафінована (виробництво Україна), згідно з ДСТУ 9127/CAS 164250-88-8;

– олія кукурудзяна рафінована (виробництво Україна), згідно з ДСТУ 8808/CAS 8001-30-7;

– олія кунжутна рафінована (виробництво Україна), згідно з ДСТУ 2423/CAS 8008-74-0;

– воск бджолиний E901 (виробництво Україна), згідно з ДСТУ 4229/CAS 8012-89-3;

– карбоксиметилцелюлоза E466 (виробництво Україна), згідно з CAS 198084-97-8.

*Методика визначення фізико-хімічних показників та складу сировини для структурованих жирових систем*

Масову частку вологи та летких речовин зразків сировини для структурованих жирових систем визначено гравіметричним методом згідно з ДСТУ 4603. Кислотне число зразків визначено згідно з ДСТУ ISO 660. Пероксидне число зразків визначено згідно з ДСТУ ISO 3960.

Вміст токоферолу в зразках проведено хроматографічним методом (високоєфективний рідинний хроматограф Agilent Technologies 1200 series (США), колонка Zorbax XDB-18) згідно з ДСТУ EN 12822.

Вміст сезамолу і сезаміну в зразках визначено спектрофотометричним методом (спектрофотометр V-1200 (КНР)). Аналіз кунжутної олії на вміст вільного сезамолу, включав екстракцію се-

замолу з олійного розчину комплексу хлороформ–ізооктан (1:4) водно-спиртовим розчином лугу. Подальша колориметрична реакція з сірчаною кислотою у водному розчині в присутності фурфуролу та спектрофотометричне визначення сезамолу (при довжині хвилі 518 нм). Аналіз кунжутної олії на вміст зв'язаного сезамолу (сезамоліну), проводили в олійному розчині в комплексі хлороформ–ізооктан після виділення з нього вільного сезамолу. Аналіз включав вимірювання спектру поглинання олійного розчину в діапазоні 250–320 нм. Сезамолін не дає фіолетового кольору продукту колориметричної реакції з цими реагентами.

Метиллові ефіри жирних кислот зразків сировини для структурованих жирових систем отримано згідно з ДСТУ ISO 5509. Жирнокислотний склад одержаних зразків визначено згідно з ДСТУ ISO 5508 на хроматографі Shimadzu (Японія).

*Методика отримання структурованих жирових систем*

Зразки структурованих жирових систем, що містили різні концентрації та співвідношення структуроутворювачів та олійної сировини, одержували шляхом постадійного змішування складових. На першому етапі в оліїну сировину додавали бджолиний воск, нагрівали до 90°C і перемішували до повного розчинення воску (4±1 хв). На другому етапі отриману суміш нагрівали до 140°C, додавали карбоксиметилцелюлози натрову сіль і проводили гомогенізацію до отримання прозорого розчину. Одержану суміш залишали для застигання протягом 24 год за температури 20±1°C.

*Методика визначення стабільності структурованих жирових систем*

Визначення стабільності до руйнування структурованих жирових систем визначено за допомогою методу центрифугування (лабораторна центрифуга 800-1 (КНР)). Зразок продукту поміщали у пробірку та центрифугували 5 хв зі швидкістю 1500 об/хв.

*Методика проведення прискореного окиснення зразків структурованих жирових систем*

Прискорене окиснення зразків структурованих жирових систем проводили за температури 35±0,5°C протягом 20 діб. Протягом цього часу в зразках відбувалися окисні процеси, які характеризувалися накопиченням первинних продуктів окиснення (пероксидів та гідрпероксидів), що ідентифікувалися за допомогою визначення величини пероксидного числа.

*Методика визначення економічної доцільності використання обґрунтованого складу структурованих жирових систем*

Економічний ефект ( $E_e$ ) є зниженням собівартості продукції за умови порівняння використання у виробництві складових структурованих жирових систем із комерційним аналогом і розраховується за формулою (1):

$$E_e = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i - \sum_{j=1}^m P_j \cdot C_j, \quad (1)$$

де  $P_i, P_j$  – вартість складових структурованих жирових систем у складі комерційного аналогу та запропонованих, відповідно, (\$/кг);  $C_i, C_j$  – вміст складових структурованих жирових систем у складі комерційного аналогу та запропонованих, відповідно, (кг/т).

*Планування досліджень та обробка результатів*

В дослідженнях щодо визначення впливу структуроутворюючих агентів на стабільність і термостабільність структурованих жирових систем використано двофакторний експеримент. В дослідженнях щодо визначення сумісного впливу компонентів жирової системи на їхню стабільність до окиснення використано трифакторний експеримент.

Кожен дослід виконано у трьох паралелях. Статистичні моделі залежностей визначено через апроксимацію експериментальних даних за допомогою побудови ліній тренду. Статистичне оброблення експериментальних даних, а також побудовання графічних залежностей виконані з використанням пакету Stat Soft Statistica v 6.0 (США).

Значущість коефіцієнтів вказаних апроксимаційних залежностей доведено через перевірку гіпотези про рівність нульових параметрів рівняння. Розраховано абсолютне значення критерію Стюдента, яке порівняно з його критичним теоретичним значенням при заданому рівні значущості і заданому числі ступенів свободи для множинної регресії. Якість рівнянь апроксимаційних залежностей та повноту впливу обраних факторів на функції відгуків оцінено за допомогою коефіцієнтів детермінації  $R^2$ . Значущість розроблених апроксимаційних моделей визначено шляхом порівняння розрахованого критерію Фішера з його критичним табличним значенням при рівні значущості  $p=0,05$  і відповідному числі ступенів свободи.

**Результати та їх обговорення**

*Визначення показників якості, складу жирних кислот та антиоксидантів олійної сировини для структурованих жирових систем*

Визначено фізико-хімічні показники, які мають безпосередній вплив на стабільність до окиснення, зразків олій рафінованих соняшникової, високоолеїнової соняшникової, кукурудзяної та кунжутної, що досліджувалися (табл. 1).

Визначено вміст антиоксидантів в зразках олійної сировини для структурованих жирових систем (табл. 2).

Результати визначення фізико-хімічних показників та вмісту антиоксидантів (табл. 1 і 2 відповідно) свідчать, що зразки обраних олій відповідають вимогам нормативної документації.

*Визначення сумісного впливу структуроутворюючих агентів на показники якості структурованих жирових систем*

Досліджено залежність стабільності і термо-стабільності структурованих жирових систем на основі олії соняшникової рафінованої від вмісту структуроутворюючих агентів – бджолиного воску та карбоксиметилцелюлози.

За допомогою рівняння (2) надано апроксимаційну залежність стабільності структурованих жирових систем ( $S_0$ , хв) від вмісту бджолиного воску ( $c_{bw}$ ) та карбоксиметилцелюлози ( $c_{cmc}$ ).

$$S_0(c_{bw}, c_{cmc}) = 15,2523 + 36,3967 \cdot c_{bw} + 21,8172 \cdot c_{cmc} - 5,2874 \cdot c_{bw}^2 - 2,3749 \cdot c_{bw} \cdot c_{cmc} - 2,2231 \cdot c_{cmc}^2. \quad (2)$$

Поверхню отриманої залежності стабільності структурованих жирових систем від вмісту структуроутворювачів наведено на рис. 1.

Апроксимаційна залежність (2) адекватно описує стабільність структурованих жирових систем від вмісту структуроутворювачів в інтервалах вмісту бджолиного воску 0–3,0% і карбоксиметилцелюлози 0–4%.

Аналіз результатів проведених експериментальних досліджень свідчить про сумісний вплив структуроутворювачів бджолиного воску і карбоксиметилцелюлози на стабільність структурованої жирової системи. Зокрема, додавання 3% бджолиного воску до модельної жирової системи на основі олії соняшникової рафінованої приводить до стабільності системи на рівні 77%, а додавання 4% карбоксиметилцелюлози приводить до стабільності жирової системи лише до величини 67%. У випадку спільного використання структуроутворюючих агентів бджолиного воску від 2% і карбоксиметилцелюлози від 3% зразки структурованих жирових систем набувають стабільності на рівні 100%. Для стабілізації жирових систем на базі рідких рослинних олій запропоновано застосовувати означені структуроутворювачі на рівні:

- бджолиний воск 2%;
- карбоксиметилцелюлоза 3%.

*Визначення сумісного впливу олійних складових структурованих жирових систем на стабільність до окиснення*

З метою визначення співвідношення олійних складових структурованої жирової системи на стабільність до окислювального псування досліджено залежність вмісту первинних продуктів окиснення від співвідношення складових після прискореного окиснення продукту. Як компоненти структурованої жирової системи обрано рафі-

Таблиця 1

**Фізико-хімічні показники зразків олійної сировини для структурованих жирових систем**

Фізико-хімічні показники	Значення			
	соняшникова	високоолеїнова соняшникова	кукурудзяна	кунжутна
масова частка вологи, %	0,01	0,01	0,01	0,01
кислотне число, мг КОН/г	0,10	0,12	0,12	0,14
пероксидне число, ммоль 1/2 О/кг	0,22	0,28	0,15	0,18

Таблиця 2

**Вміст антиоксидантів в зразках олійної сировини для структурованих жирових систем**

Вміст антиоксидантів	Значення			
	соняшникова	високоолеїнова соняшникова	кукурудзяна	кунжутна
вміст токоферолів, %	$7,85 \cdot 10^{-4}$	$5,52 \cdot 10^{-4}$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	$7,13 \cdot 10^{-4}$
вміст сезамолу, %	–	–	–	$1,10 \cdot 10^{-2}$
вміст сезаміну, %	–	–	–	$8,46 \cdot 10^{-1}$

новані олії кукурудзяну, соняшникову високоолеїнову і кунжутну через їхній специфічний антиоксидантний і жирнокислотний склад. За допомогою рівняння (3) надано апроксимаційну залежність пероксидного числа ліпідів структурованих жирних систем ( $PN$ , ммоль 1/2 О/кг) від співвідношення масових часток кукурудзяної ( $c_c$ ), високоолеїнової соняшникової ( $c_{hos}$ ) та кунжутної ( $c_s$ ) олій після прискореного окиснення. Величина пероксидного числа ліпідів характеризує вміст первинних продуктів окиснення в продукті.

$$PN(c_c, c_{hos}, c_s) = 15,458 \cdot c_c + 9,5236 \cdot c_{hos} + 3,1184 \cdot c_s + 0,5814 \cdot c_c \cdot c_{hos} - 12,7152 \cdot c_c \cdot c_s - 8,3162 \cdot c_{hos} \cdot c_s - 24,7153 \cdot c_c \cdot c_{hos} \cdot c_s \quad (3)$$

Варто відзначити, що пероксидне число структурованої олійної системи на основі олій соняшникової рафінованої (є контрольним зразком) складало 18,2 ммоль 1/2 О/кг.

Поверхню отриманої залежності величини пероксидного числа ліпідів структурованих жирних систем від співвідношення олійної сировини наведено на рис. 2.

Необхідно зазначити, що апроксимаційне рівняння (3) адекватно описує величини пероксидного числа ліпідів окиснених зразків структурованих жирних систем в інтервалах

співвідношення складових 0,00–1,00 масової частки. На рис. 2 наведено діапазон співвідношень складових жирної системи, де пероксидне число є меншим, ніж у контрольному зразку, навіть у 5 разів.

Запропоновано діапазон співвідношень складових структурованої жирної системи, який забезпечує величину пероксидного числа після прискореного окиснення на рівні 6–8 ммоль 1/2 О/кг, що в 2,3–3,3 рази менший за такий в контрольному зразку:

- олія кукурудзяна 0,40–0,70 мас. частки;
- олія соняшnikова високоолеїнова 0,25–0,75 мас. частки;
- олія кунжутна 0,15–0,40 мас. частки.

Підвищення масової частки кунжутної олії в жирній системі приводить до підвищення стабільності до окиснення. Меншою мірою впливають на стабільність до окиснення жирної системи високоолеїнова соняшnikова і кукурудзяна олії, відповідно.

З огляду на економічну складову, для одержання структурованих жирних систем на базі рідких рослинних олій, стабілізованих низькомолекулярними складовими та полімерами, запропоновано застосовувати означені рослинні олії на рівні:

- олія соняшnikова високоолеїнова 0,70 мас.

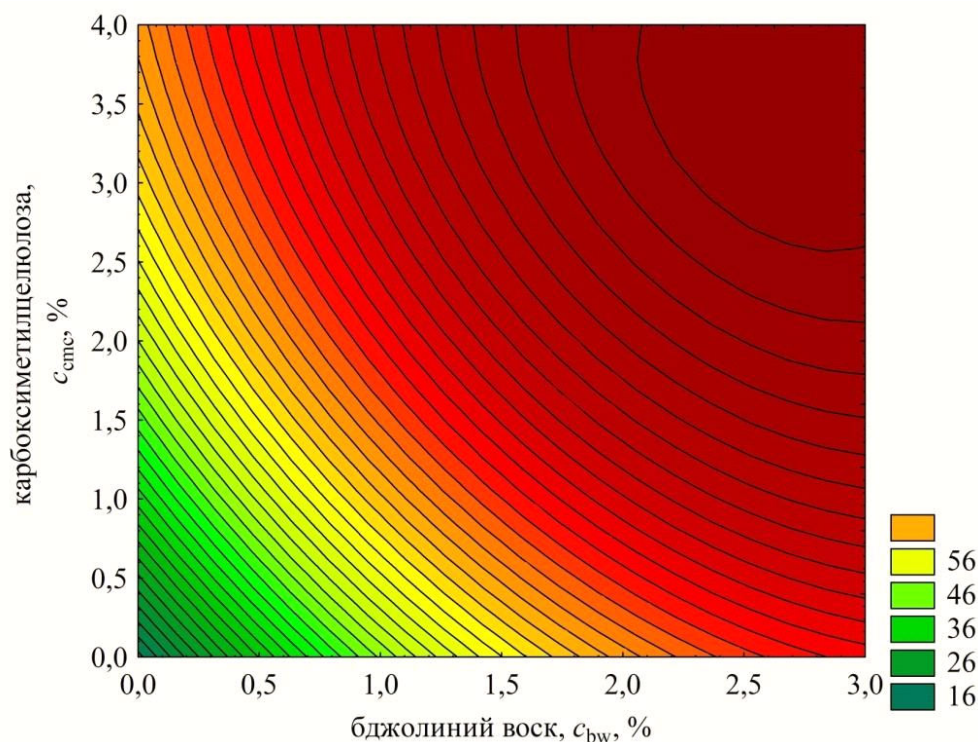


Рис. 1. Залежність стабільності структурованих жирних систем від вмісту бджолиного воску та карбоксиметилцелюлози

частки;

- олія кунжутна 0,20 мас. частки;
- олія кукурудзяна 0,10 мас. частки.

Експериментально визначена величина пероксидного числа структурованої жирової системи означеного складу становить 7,0 ммоль 1/2 O/kg (розрахункове пероксидне число – 7,1 ммоль 1/2 O/kg).

*Обговорення результатів визначення впливу складу олійної сировини на стабільність до окиснення структурованих жирних систем*

Досліджено залежність впливу складу модифікованих жирних систем на їх стабільність до розшарування та окиснення. Отримані результати досліджень дають змогу комбінувати співвідношення структуроутворювачів для отримання певних органолептичних особливостей структурованої жирової системи, а також прогнозувати термін придатності залежно від співвідношення олійних складових. Відповідно до даних табл. 1 досліджувані зразки олійної сировини для структурованих жирних систем мають показники якості, що свідчать про відповідність вимогам нормативної документації щодо вмісту вологи, вільних жирних кислот, а також первинних про-

дуктів окиснення. Це має забезпечити адекватність залежності (3) величини пероксидного числа ліпідів окиснених зразків структурованих жирних систем від співвідношення олійних складових.

Дані, наведені в табл. 2, свідчать про присутність в обраній для структурованої жирової системи олійній сировині значної кількості жиророзчинних антиоксидантів (токоферолів), у тому числі специфічних (сезамом, сезамін). Ця особливість має сприяти стабілізації показників готового продукту під час хімічного псування (окиснення), що доведено експериментальними дослідженнями (рівняння (3), рис. 2). Крім того, результати визначення жирнокислотного складу олійної сировини доводять доцільність використання олії соняшnikової високоолеїнової, економічно привабливої сировини, що належить до олеїнової групи олій, стабільних до окисного псування.

Отримані результати досліджень, наведені в рівнянні (2) та рис. 1, свідчать про сумісний вплив структуроутворювачів бджолиного воску і карбоксиметилцелюлози на стабільність до розшарування структурованої жирової системи. Це дозволяє знизити вміст структуроутворюючих агентів

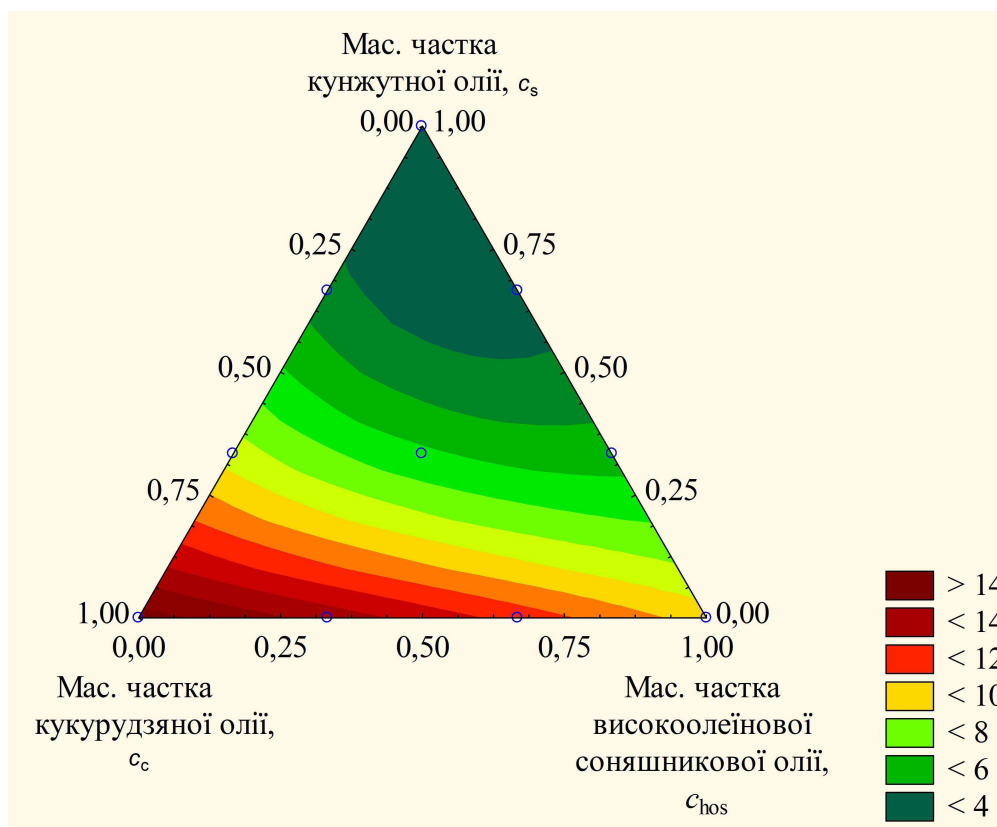


Рис. 2. Залежність величини пероксидного числа ліпідів окиснених зразків структурованих жирних систем від співвідношення олійних складових

в продукті до мінімуму (бджолиний воск 2%; карбоксиметилцелюлоза 3%) одночасно забезпечуючи необхідний рівень стабільності до розшарування. В результаті досліджень стабільності структурованих жирових систем від вмісту бджолиного воску та карбоксиметилцелюлози змодельовано двохфакторну залежність (2) для діапазону вмісту бджолиного воску 0–3,0% і карбоксиметилцелюлози 0–4%. В результаті дослідження пероксидного числа окиснених структурованих жирових систем з різним співвідношенням олійних складових (рис. 2) модельовано трифакторну залежність величини пероксидного числа ліпідів окиснених зразків структурованих жирових систем від співвідношення олійних складових.

Результати проведених досліджень дозволяють ефективно враховувати антиоксидантний (табл. 2) та жирнокислотний склад обраної олійної сировини під час застосування в технології структурованих жирових систем, зокрема олеогелів. Крім того, отримані залежності (2), (3) є корисними для прогнозування стабільності щодо розшарування структурованих систем в залежності від співвідношення структуроутворювачів, а також термінів придатності готової продукції. Однак обмеження використання результатів дослідження може бути прихованим у тому, що в експериментальних дослідженнях використано як низькомолекулярний структуроутворювач бджолиний воск, а як полімер – одне з численних похідних целюлози – карбоксиметилцелюлозу. Тому у випадку використання в технології структурованих жирових систем восків іншого походження або інших похідних целюлози, необхідним є експериментальний аналіз факторів складу для коригування фізико-хімічної стабільності нових жирових систем. Варто відзначити недолік проведеного дослідження. Це відсутність даних щодо окисної стабільності жирових систем за температури зберігання продукції (0–20°C). Означений недолік можна компенсувати способом порівняння стабільності до окиснення розробленої жирової системи з контрольною (на базі олії соняшникової рафінованої), строк придатності якої відомий.

Варто відзначити перспективні напрямки роботи щодо дослідження впливу складу модифікованих жирових систем на їх стабільність до окиснення. Це, дослідження фізико-хімічної і хімічної стабільності трикомпонентної жирової системи і двокомпонентного стабілізатору в умовах емульгування в водному середовищі модельних жирових систем.

### **Висновки**

1. Визначено показники якості (вміст вологи, вільних жирних кислот, первинних продуктів окиснення), вміст жиророзчинних антиоксидантів, жирнокислотний склад складових структурованих жирових систем – рафінованих олій соняшникової, високоолеїнової соняшникової, кукурудзяної, кунжутної. Зразки рослинних олій, що досліджувалися, відповідають вимогам, встановленим у нормативній документації – ДСТУ 4492/CAS 8001-21-6; ДСТУ 9127/CAS 164250-88-8; ДСТУ 8808/CAS 8001-30-7; ДСТУ 2423/CAS 8008-74-0, відповідно.

2. Визначено сумісний вплив структуроутворюючих агентів – бджолиного воску та карбоксиметилцелюлози – на стабільність до розшарування структурованих жирових систем. Структуроутворювачі чинять сумісний вплив на стабільність структурованої жирової системи. У разі сумісного використання бджолиного воску від 2% і карбоксиметилцелюлози від 3% зразки структурованих жирових систем набувають стабільності на рівні 100%.

3. Визначено сумісний вплив олійних складових структурованих жирових систем – рафінованих високоолеїнової соняшникової, кукурудзяної та кунжутної олій – на стабільність до окиснення. Доведено принциповий вплив вмісту олії кунжутної рафінованої (пероксидне число після прискореного окиснення 3,1 ммоль 1/2 O/кг) на стабільність до окиснення структурованих жирових систем. Рафіновані кукурудзяна та високоолеїнова соняшникова олії мали відповідно величину пероксидного числа 9,5 і 15,5 ммоль 1/2 O/кг за таких же умов.

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. *A nickel/palladium/ruthenium-graphene based nanocatalyst for selective catalytic hydrogenation of vegetable oils* / Sarno M., Iuliano M., Viscusi G., Zarli A., Ciambelli P. / *Ind. Crops Prod.* – 2021. – Vol.170. – Art. No. 113815.
2. *Identification of patterns in the production of a biologically-active component for food products* / Kovaliova O., Tchursinov Yu., Kalyna V., Koshulko V. // *East.-Eur. J. Enterprise Technol.* – 2020. – Vol.2. – No.11(104). – P.61-68.
3. *Esonye C., Onukwuli O.D., Ofoefule A.U.* Chemical kinetics of a two-step transesterification of *dyacrodes edulis* seed oil using acid-alkali catalyst // *Chem. Eng. Res. Des.* – 2019. – Vol.145. – P.245-257.

4. *Improvement* of fatty systems biotechnological interesterification with immobilized enzyme preparation usage / Belinska A., Bliznjuk O., Shcherbak O., Masalitina N. // East.-Eur. J. Enterprise Technol. – 2022. – Vol.6. – No. 6(120). – P.6-13.

5. *Determination* of the influence of natural antioxidant concentrations on the shelf life of sunflower oil / Sytnik N., Kunitsa E., Mazaeva V., Chernukha A. // East.-Eur. J. Enterprise Technol. – 2020. – Vol.4. – No. 11(106). – P.55-62.

6. *Assessing* the effectiveness of wax-based sunflower oil oleogels in cakes as a shortening replacer / Oh I.K., Amoah C., Lim J., Jeong S., Lee S. // LWT. – 2017. – Vol.86. – P.430-437.

7. *Cellulose-rich* oleogels prepared with an emulsion-templated approach / Jiang Y., Liu L., Wang B., Sui X., Zhong Y., Zhang L., et al. // Food Hydrocoll. – 2018. – Vol.77. – P.460-464.

8. *Effects* of thickening agents on the formation and properties of edible oleogels based on hydroxypropyl methyl cellulose / Meng Z., Qi K., Guo Y., Wang Y., Liu Y. // Food Chem. – 2018. – Vol.246. – P.137-149.

9. *Rational* parameters of waxes obtaining from oil winterization waste / Sytnik N., Kunitsa E., Mazaeva V., Chernukha A. // East.-Eur. J. Enterprise Technol. – 2020. – Vol.6. – No. 10(108). – P.29-35.

10. *Development* of novel shortenings structured by ethylcellulose oleogels / Ye X., Li P., Lo Y.M., Fu H., Cao Y. // J. Food Sci. – 2019. – Vol.84. – No. 6. – P.1456-1464.

11. *Chemical* profiling of the major components in natural waxes to elucidate their role in liquid oil structuring / Doan C.D., To C.M., De Vrieze M., Lynen F., Danthine S., Brown A., et al. // Food Chem. – 2017. – Vol.214. – P.717-725.

12. *Sunflower* oil-based oleogel as fat replacer in croissants: textural and sensory characterisation / Espert M., Wang Q., Sanz T., Salvador A. // Food Bioprocess Technol. – 2023. – Vol.16. – P.1943-1952.

13. *Davidovich-Pinhas M.* Thermo-gelation of ethylcellulose oleogels // Edible oil structuring: concepts methods and applications. – The Royal Society of Chemistry, 2017. – P.133-149.

14. *Structuring* of oils with high PUFA content: evaluation of the formulation conditions on the oxidative stability and structural properties of ethylcellulose oleogels / Millao S., Iturra N., Contardo I., Morales E., Quilaqueo M., Rubilar M. // Food Chem. – 2023. – Vol.405. – Art. No. 134772.

15. *Development* of innovative ethyl cellulose–hydroxypropyl methylcellulose biopolymer oleogels as low saturation fat replacers: physical, rheological and microstructural characteristics / Naeli M.H., Milani J.M., Farmani J., Zargaraan A. // Int. J. Biol. Macromol. – 2020. – Vol.156. – P.792-804.

Надійшла до редакції 10.02.2026

Надійшла після виправлення 15.04.2026

Прийнята до публікації 27.05.2026

Опублікована 26.06.2026

## DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF MODIFIED FAT SYSTEMS STABLE AGAINST OXIDATION

*K.V. Kunitsa*<sup>a,\*</sup>, *A.M. Puhach*<sup>b</sup>, *V.O. Panasenko*<sup>c</sup>, *H.V. Kryvoruchko*<sup>d</sup>, *Ya.O. Svishchova*<sup>e</sup>, *M.S. Ponomarova*<sup>e</sup>, *V.P. Romaniuk*<sup>f</sup>, *O.A. Yashchenko*<sup>g</sup>, *O.M. Varypaiev*<sup>e</sup>

<sup>a</sup> National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

<sup>b</sup> Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

<sup>c</sup> State Institution «State Research and Design Institute of Basic Chemistry», Kharkiv, Ukraine

<sup>d</sup> V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

<sup>e</sup> State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

<sup>f</sup> Ivan Chernyakhovsky National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>g</sup> National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

\* e-mail: [ekaterina.kunitsia@gmail.com](mailto:ekaterina.kunitsia@gmail.com)

The influence of the composition of modified fat systems on their stability to stratification and oxidation was investigated. A distinctive feature of the work is the establishment of approximate graphical and mathematical dependences of stability to stratification and oxidative damage of structured fat systems on the content and ratio of structure-forming agents and oil components. The study focused on the dependence of stability to stratification and oxidation on the content and ratio of structure-forming agents and oil components. The possibility of reducing the content of structure-forming agents in the fat system while ensuring the required level of stability to stratification was proven. A ratio of liquid oils in the product was proposed that reduces the peroxide value after accelerated oxidation to 7 mmol 1/2 O/kg, which is 2.6 times lower than that of the control sample. The obtained data are explained by the increased stability of the oil components of the product to oxidative damage due to the characteristics of the fatty acid and antioxidant composition. The economic feasibility of producing oxidation-stable structured fat systems based on liquid oils has been proven. The cost of such a product is 9 times lower than that of a commercial analogue (a structured fat system based on coconut oil stabilized with ethyl cellulose). A feature of the obtained results is the ability to predict the physicochemical and chemical shelf life of structured fat systems based on oxidation-stable raw materials. From a practical point of view, the research results allow the development of fat systems taking into account both technological and economic needs. A practical application of the obtained results is the possibility of expanding the range of competitive structured fat systems with an increased shelf life.

**Keywords:** structured fat system; vegetable oil; beeswax; carboxymethyl cellulose; oxidative stability.

## REFERENCES

1. Sarno M, Iuliano M, Viscusi G, Zarli A, Ciambelli P. A nickel/palladium/ruthenium-graphene based nanocatalyst for selective catalytic hydrogenation of vegetable oils. *Ind Crops Prod.* 2021; 170: 113815. doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113815.

2. Kovaliova O, Tehursinov Yu, Kalyna V, Koshulko V. Identification of patterns in the production of a biologically-active component for food products. *East Eur J Enterprise Technol.* 2020; 2/11(104): 61-68. (in Ukrainian). doi: 10.15587/1729-4061.2020.200026.
3. Esonye C, Onukwuli OD, Ofoefule AU. Chemical kinetics of a two-step transesterification of dyacrodes edulis seed oil using acid-alkali catalyst. *Chem Eng Res Des.* 2019; 145: 245-257. doi: 10.1016/j.cherd.2019.03.010.
4. Belinska A, Bliznjuk O, Shcherbak O, Masalitina N. Improvement of fatty systems biotechnological interesterification with immobilized enzyme preparation usage. *East Eur J Enterprise Technol.* 2022; 6/6(120): 6-13. (in Ukrainian). doi: 10.15587/1729-4061.2022.268373.
5. Sytnik N, Kunitsa E, Mazaeva V, Chernukha A. Determination of the influence of natural antioxidant concentrations on the shelf life of sunflower oil. *East Eur J Enterprise Technol.* 2020; 4/11(106): 55-62. (in Ukrainian). doi: 10.15587/1729-4061.2020.209000.
6. Oh IK, Amoah C, Lim J, Jeong S, Lee S. Assessing the effectiveness of wax-based sunflower oil oleogels in cakes as a shortening replacer. *LWT.* 2017; 86: 430-437. doi: 10.1016/j.lwt.2017.08.021.
7. Jiang Y, Liu L, Wang B, Sui X, Zhong Y, Zhang L, et al. Cellulose-rich oleogels prepared with an emulsion-templated approach. *Food Hydrocoll.* 2018; 77: 460-464. doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.10.023.
8. Meng Z, Qi K, Guo Y, Wang Y, Liu Y. Effects of thickening agents on the formation and properties of edible oleogels based on hydroxypropyl methyl cellulose *Food Chem.* 2018; 246: 137-149. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.10.154.
9. Sytnik N, Kunitsa E, Mazaeva V, Chernukha A. Rational parameters of waxes obtaining from oil winterization waste. *East Eur J Enterprise Technol.* 2020; 6/10(108): 29-35. (in Ukrainian). doi: 10.15587/1729-4061.2020.219602.
10. Ye X, Li P, Lo YM, Fu H, Cao Y. Development of novel shortenings structured by ethylcellulose oleogels. *J Food Sci.* 2019; 84(6): 1456-1464. doi: 10.1111/1750-3841.14615.
11. Doan CD, To CM, De Vrieze M, Lynen F, Danthine S, Brown A, et al. Chemical profiling of the major components in natural waxes to elucidate their role in liquid oil structuring. *Food Chem.* 2017; 214: 717-725. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.123.
12. Espert M, Wang Q, Sanz T, Salvador A. Sunflower oil-based oleogel as fat replacer in croissants: textural and sensory characterisation. *Food Bioprocess Technol.* 2023; 16: 1943-1952. doi: 10.1007/s11947-023-03029-w.
13. Davidovich-Pinhas M. Thermo-gelation of ethyl-cellulose oleogels. In: Patel AR, editor. *Edible oil structuring: concepts methods and applications.* The Royal Society of Chemistry; 2017. p. 133-149. doi: 10.1039/9781788010184-00133.
14. Millao S, Iturra N, Contardo I, Morales E, Quilaqueo M, Rubilar M. Structuring of oils with high PUFA content: evaluation of the formulation conditions on the oxidative stability and structural properties of ethylcellulose oleogels. *Food Chem.* 2023; 405: 134772. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134772.
15. Naeli MH, Milani JM, Farmani J, Zargaraan A. Development of innovative ethyl cellulose-hydroxypropyl methylcellulose biopolymer oleogels as low saturation fat replacers: physical, rheological and microstructural characteristics. *Int J Biol Macromol.* 2020; 156: 792-804. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.087.