

## Обґрунтування емульгувальних властивостей напівфабрикату на основі низьколактозної молочної сироватки

В. А. Гніщевич, Т. І. Юдіна, Ю. М. Гончар, О. О. Васильєва, Л. С. Дячук

Представлено реологічні та органолептичні дослідження емульсійних систем за використання напівфабрикату на основі згущеної низьколактозної молочної сироватки та ферментованого пюре м'якоті гарбуза (НЗНМС). Встановлено позитивний вплив НЗНМС на структуру емульсійних систем, що підтверджено експертною сенсорною оцінкою. Підтверджено компонентну сумісність НЗНМС та олії рослинної у складі емульсійних систем. Науково обґрунтовано вплив технологічних чинників на параметри емульгування напівфабрикату для забезпечення реалізації його цільових властивостей як емульгатора та стабілізатора у технології емульсійних соусів. Експериментально встановлено зміну кількісних значень визначальних показників емульсійних систем, таких як в'язкість та інверсійна стійкість, залежно від значень рН середовища, температури емульгування, швидкості викапування олії та обертання робочого органу мішалки. Встановлено, що закислення середовища сприяє підвищенню в'язкості емульсійної системи, в зв'язку з чим доцільним є використання НЗНМС у складі солоних соусів емульсійного типу. Встановлено пряму залежність між проявами інверсійної нестійкості та підвищенням температури процесу емульгування. Виявлено обернено пропорційний вплив швидкості обертання робочого органу мішалки на зростання в'язкості досліджуваних систем. Здійснено математичну оптимізацію визначених діапазонів числових значень параметрів окремих показників технологічного процесу. Встановлено раціональні параметри процесу емульгування: температурний показник – 18 °С, швидкість емульгування – 0,09...0,11 мл/с, рН від 5,0 до 5,5, швидкість обертання робочого органу мішалки – 500 об/хв. Підтверджено можливість використання НЗНМС у складі емульсійних систем, зокрема соусів емульсійного типу

**Ключові слова:** низьколактозний згущений напівфабрикат, емульгувальні властивості, ефективна в'язкість, інверсійна стійкість

### 1. Вступ

Зважаючи на тенденцію до ведення здорового способу життя, спостерігається зростання попиту на спеціальні харчові продукти. Зокрема, безлактозні або зі зниженим вмістом лактози продукти призначені для вживання за наявності функціональних розладів шлунково-кишкового тракту (ФРШКТ), а саме синдромом роздратованого кишківника (СРК), функціональне здуття живота, запор, діарея тощо [1].

Часткова несприйнятливості до лактози, що характеризується неповним її всмоктуванням стінками кишечника, називається мальабсорбцією лактози [2]. Незалежно від причини, дефіцит лактази призводить до утворення неабсорбо-

ваної лактози в кишковому тракті, що може призвести до появи СРК [3]. Найчастіше появу СРК викликають харчові продукти, які містять у своєму складі лактозу [4]. Даний факт дозволяє припустити, що виключення компонентів харчування, що викликають симптоми, може бути перспективним варіантом лікування СРК [5]. Відповідно виключення лактозвмісних продуктів харчування із раціону або їх часткове обмеження теоретично має сприяти одужанню. Проте подібне коригування раціону харчування сприяє частковому покращенню, але не призводять до одужання [6]. Наслідками такого корегування є споживання недостатньої кількості необхідних поживних речовин, таких як кальцій, фосфор, вітамін В<sub>2</sub> (рибофлавін) та вітамін D (ергокальциферол), що може спричинити їх дефіцит і розвиток супутніх хвороб [7, 8]. Дієта також негативно впливає на мікробіологію товстого кишківника [9].

Для вирішення цієї проблеми пропонується споживання молочної сировини з низьким вмістом лактози та кулінарної продукції з її використанням.

На ринку споживчих товарів представлено широкий асортимент харчових продуктів на основі молочної сировини. Але асортимент продукції з використанням молокопродуктів для харчування хворих на мальабсорбцію лактози залишається обмеженим.

Таким чином, актуальним є питання розробки асортименту продукції на основі молокопродуктів зі зниженим вмістом лактози для спеціального харчування осіб з мальабсорбцією до лактози. Цінною сировиною для вирішення цієї проблеми є молочна сироватка та продукти її перероблення.

Запропоновано технологію отримання згущеної низьколактозної молочної сироватки в установці за розрідження  $P = -0,1$  Па і температури  $50 \pm 2$  °С з фактором концентрування – 10 та вмістом лактози 2–2,2 % [10]. Визначені її високі емульгувальні властивості та можливість використання як основи соусної продукції. В якості стабілізатора емульсійних систем пропонується використання ферментованого пюре м'якоті гарбуза [11] з підвищеним вмістом пектинових речовин. Із використанням цих ферментованих складових розроблена технологія напівфабрикату молочно-рослинного низьколактозного (далі – НЗНМС) [12]. Використання напівфабрикату в харчовій промисловості та закладах ресторанного господарства дозволить розширити асортимент продуктів із зниженим вмістом лактози для збалансованого харчування хворих на мальабсорбцію лактози.

Зокрема, завдяки відмінним емульгувальним властивостям компонентів напівфабрикату можливим постає його використання в соусах емульсійного типу. Саме тому доцільним є визначення раціональних параметрів та співвідношень компонентів системи для виготовлення емульгованої продукції на основі розробленої технології напівфабрикату.

Найпоширенішим соусом емульсійного типу є майонез. Проте, завдяки своєму складу соус «Майонез» володіє невисокою харчовою та біологічною цінністю, не використовується в лікувально-профілактичному харчуванні, збіднюючи асортимент споживаної продукції [13]. Таким чином, доцільним є удосконалення технології соусу «Майонез» з метою підвищення його споживчих якостей.

Також обґрунтованим є розроблення технології продукції зі зниженим вмістом лактози, для харчування хворих на мальабсорбцію. Використання напівфаб-

рикату та емульсійного соусу на його основі в харчовій промисловості та закладах ресторанного господарства забезпечить розширення асортименту низьколактозної продукції для збалансованого харчування хворих на мальабсорбцію лактози.

Поставлена мета стає досяжною за рахунок використання пропонованого низьколактозного напівфабрикату для виробництва соусів емульсійного типу на основі напівфабрикату, за умови збереження структурно-механічних властивостей, притаманних соусам «Майонез».

У зв'язку з усім вище викладеним, актуальним постає дослідження емульгувальних властивостей напівфабрикату на основі низьколактозної молочної сироватки для розроблення емульсійних соусів «Майонез».

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

Широко розповсюдженими емульгаторами, дозволеними до використання у складі емульсійних соусів типу майонез є карбоксиметилцелюлоза та полісорбат. Проте, у результаті проведених клінічних досліджень встановлено шкідливий вплив на мікробіоту кишечника цих емульгаторів. Навіть за низьких концентрацій карбоксиметилцелюлози та полісорбату спостерігали появу запальних захворювань кишечника навіть у здорових особин та суттєве погіршення стану тих піддослідних, які вже мали порушення у роботі ШКТ. Крім того, дослідники стверджують, що широке використання емульгуючих агентів може сприяти збільшенню загальної захворюваності на ожиріння та синдром роздратованого кишечника, супроводжуватися іншими хронічними запальними захворюваннями і навіть сприяти розвитку раку [14]. В зв'язку з чим актуальним є дослідження емульгувальних властивостей альтернативних складників емульсійної продукції, зокрема НЗНМС. Вивчення характеру емульгувальних процесів за участі НЗНМС дозволить обґрунтувати використання розробленого напівфабрикату у складі емульсійних соусів.

Зрештою, спостерігається суттєве зростання попиту на використання природніх харчових систем, які виявляють емульгувальні та стабілізаційні властивості, таких як яєчні та рослинні білкові системи, через прагнення споживати натуральну корисну продукцію [15]. В той же час, суттєво зріс сегмент споживачів, які віддають перевагу альтернативам яєць для задоволення алергічних, веганських або інших дієтичних потреб [16]. Було виявлено, що ультрафільтровані сироваткові пептидні фракції та соєвий протеїн виявляють покращені емульгувальні властивості. У роботі [17] досліджено залежність органолептичних показників емульсійного соусу від розміру та розподілу крапель жиру в емульсії олія-оцет у присутності сироваткового білка. Опосередковано зроблено висновок про існування прямої залежності органолептичних показників утворених систем від кількості введеного сироваткового білка у якості загусника, проте подальшого дослідження на дану тематику не було.

У якості ефективного замітника яєчного білка у праці [18] запропоновано використання гідролізованого концентрату сироваткового білка. Останній виявив більш сильні поверхнево-активні властивості, проте його висока гігроскопічність у процесі зберігання сприяла зниженню здатності до утворення комплексів, що не дозволяє отримувати продукт однорідної якості. Аналогічних

висновків дійшли у роботі [19]: використання дегідрованого сироваткового білка підвищує в'язкість емульсій, зв'язуючи краплинки жиру, та перебуває у прямій залежності із органолептичними показниками продукту.

Проте не вивченими залишаються емульгувальні властивості концентрованої нефільтрованої, із не гідролізованою білковою фракцією, молочної сироватки. Також не дослідженими є питання наявності та сили емульгувальних властивостей низьколактозної концентрованої молочної сироватки.

З тієї ж причини зростає зацікавленість, завдяки високим стабілізаційним властивостям, у використанні гідроколоїдів [20]. Так, у терапевтичних цілях для виготовлення симбіотичного соусу по типу «Майонез» було запропоновано використання мікрокапсульованих біфідобактерій кукурудзяним крохмалем та альгінатом кальцію [21]. Проте, незважаючи на суттєве покращення біологічної цінності продукту та задовільні органолептичні показники, висока собівартість і складність виробництва не забезпечила широкого розповсюдження технології.

Досліджувалися також стабілізаційні властивості желатинового ферментованого гідролізату [22]. Однак його відмінні в'язкісні властивості проявлялися тільки за нетривалого зберігання емульсій. При тривалому зберіганні середньозважений об'єм середніх діаметрів крапель жиру суттєво збільшувався і емульсія руйнувалася.

У роботі [23] встановлено, що додавання сполук камеді до емульсійних систем збільшує їх в'язкість, уповільнюючи рух жирових крапель, завдяки захопленню крапель жиру утвореною гелеподібною структурою. Проте додавання сполук камеді негативно впливає на інші органолептичні показники, що не сприяло розповсюдженню даного методу у виробництві.

У дослідженні [24] пропонується заміна яєчного жовтка крохмальною пастою у технології емульсійних соусів по типу «Майонез». Однак використання заміника збільшує тривалість і собівартість виробництва соусу супутньо створюваному несприятливому впливу крохмальної пасти на текстуру та аромат майонезу.

В зв'язку з чим, використання у складі НЗНМС пюре з м'якоті гарбуза, завдяки своїм стабілізуючим властивостям, є вельми актуальним. Доцільним, на вимогу часу, є дослідження структуроутворювальних властивостей напівфабрикату з використанням пектинвмісної рослинної сировини.

В той же час, використання гідроколоїдів, залежно від їх природи, мають як ряд переваг, так і ряд недоліків. Зокрема використання очищених гідроколоїдів може супроводжуватися мікробіологічною нестійкістю, негативно впливати на текстуру соусної продукції. В той же час, науковці відзначають послаблення негативного впливу неочищених гідроколоїдів, у складі рослинних компонентів [24, 25]. Саме тому важливо оцінити залежність сенсорних характеристик соусної продукції на основі напівфабрикату з використанням пектинвмісної рослинної сировини, зокрема текстури. З цією метою доцільним є визначення оптимальних значень структурних показників емульгування, враховуючи експертну оцінку отриманих харчових систем.

Відома також технологія отримання емульсійного соусу, яка передбачає використання сухого знежиреного молока у якості емульгатора, та овочевого

або овочево-фруктового пюре у якості стабілізатора структури. Проте недоліком даної рецептури, як і попередньої, є використання у великій кількості смако-ароматичних добавок, органічних кислот та лугів, що негативно впливають на біологічну цінність продукту. Зокрема, соди харчової для регулювання рН, оцтової кислоти для подовження строку зберігання соусу, солі, цукру та інших смако-ароматичних добавок (гірчиці, хрону, часнику або перцю чорного) [26]. В той же час, використання великої кількості пюре надає незвичного яскравого кольорового забарвлення соусу та яскраво вираженого смаку та аромату, притаманного основному складнику використовуваного пюре. Консистенція соусу за запропонованою технологією – незадовільна, відзначається водянистістю, що пояснюється високим вмістом вологи в пюре.

У роботі [27] обґрунтовано можливість застосуванням в якості ефективної емульгувальної системи білково-вуглеводного напівфабрикату, який виготовляється на основі знежиреного молока та ягідного пюре. Встановлено, що білково-вуглеводний напівфабрикат має високі стабілізувальні та емульгувальні властивості. Визначено раціональну частку введення напівфабрикату до емульсійної продукції, обґрунтовано концентрацію гуарової камеді для стабілізації емульсійних систем, визначено залежність їх стабільності від рН середовища та температури емульгування. Проте такий соус містить стабілізатори та не може використовуватися для харчування хворих на мальабсорбцію лактози.

У дослідженні [28] також пропонується використання комплексу білок-пектин з метою стабілізації емульсійної системи. Проте використання дегідрованої суміші сприяє тривалому процесу обробки продукту, для поєднання компонентів суміші з метою емульгування та неоднорідності отриманої системи. Можна припустити, що використання комплексу білок-пектин у рідкому стані сприятиме кращій взаємодії з жировим компонентом.

Загалом недоліком, що притаманний технологіям емульсійних соусів, є використання в своєму складі яєчних продуктів, моно- та дигліцеридів жирних кислот, сорбіту калію, бензоату натрію, солі органічних кислот та інших штучних добавок, що унеможлиблює їх використання в спеціальному та дієтичному харчуванні [29–33].

Аналогічна ситуація спостерігається і на продовольчому ринку інших держав. Проте, на відміну від України, за кордоном виробництво продукції харчування змінило свій напрямок зі зниження вмісту жиру у продукції до створення функціонального продукту, який не тільки задовольняє харчові потреби споживача, а має лікувальні властивості. З цією метою до майонезу додають пробіотики, пребіотики, антиоксиданти і фітостероли та інші функціональні компоненти [16].

Таким чином, просування на ринок соусів емульсійного типу на основі безлактозної білково-вуглеводної сировини стримується недостатнім рівнем прикладних досліджень в цьому напрямку. Хоча, питання удосконалення існуючих технологій з метою надання продукту лікувальних властивостей є вельми актуальним. Тому виникає необхідність проведення досліджень, спрямованих на обґрунтування режимів виробництва низьколактозних емульсійних соусів для харчування хворих на мальабсорбцію з урахуванням функціонально-технологічних властивостей рецептурних компонентів.

### **3. Мета та задачі дослідження**

Метою дослідження є обґрунтування технологічних параметрів емульгування напівфабрикату для отримання соусу емульсійного типу із заданими властивостями для спеціального харчування хворих на мальабсорбцію.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- визначити вплив технологічних чинників на емульгувальні властивості модельних систем соусів на основі НЗНМС;
- визначити та оптимізувати параметри процесу емульгування соусів на основі НЗНМС.

### **4. Матеріали та методи дослідження реологічних властивостей емульсійних систем залежно від технологічних чинників**

Предметами досліджень були визначені: напівфабрикат молочно-рослинний на основі згущеної низьколактозної молочної сироватки, що складається із згущеної низьколактозної молочної сироватки та ферментованого пюре із м'якоти гарбуза, а також олія соняшникова дезодорована рафінована, модельні системи емульсійного соусу.

Визначення точки інверсії фаз здійснювалось за методикою Гурова О.М. Для цього у хімічну склянку місткістю 100 мл уміщували зразок, що досліджується, обсягом 10 мл, а потім додавали олію до настання інверсії фаз, тобто переходу емульсії олія/вода в емульсію вода/олія. Об'єм олії відповідав значенню точки інверсії фаз.

Показник ефективної в'язкості визначали за допомогою ротаційного віскозиметра ULAB 1–51A (Україна) методом Брукфільда [34]. Вимірювання здійснюються за температури 5–35 °С в діапазоні вимірювання 10–2000000 с·Па.

В процесі вибору оптимальних параметрів протікання процесу емульгування враховували середньозважену експертну оцінку консистенції (ЕО, балів). В основі розрахунку вагового коефіцієнта конкретного експерта лежить розрахунок суми квадратів відхилень запропонованих ним значень від середніх значень, отриманих в результаті аналізу усіх результатів. Ваговий коефіцієнт вище в того експерта, у якого результати менше відрізняються від відповідних середніх значень. Оцінку консистенції здійснювали одночасно 10 експертів.

З метою визначення оптимальних параметрів процесу емульгування було застосовано метод планування експерименту за ортогональним симетричним планом Бокса-Вілсона. Дані, отримані в ході експериментів, оброблено математичними методами з ціллю виявлення регресійної залежності та знаходження функцій відклику по заданих параметрах. Метод полягає в обранні цільової функції (Y) лімітованої до встановленого значення та описі обмежень з системи рівнянь. Всі фактори експерименту варіювалися на верхньому («+») та нижньому («-») рівнях, значення яких були обрані за результатами попередніх експериментів. Було використано повний трифакторний експеримент з рівнями варіювання -1; 0; +1 [35]. Для кожного процесу обробки розроблено системи рівнянь, що характеризують процес, та проведено пошук оптимальних параметрів обробки продуктів методом сполучених градієнтів за допомогою надбудови «Пошук рішень» пакету MS Excel. При розрахунках допущено відносно похибку  $1 \cdot 10^{-6}$ , допустиме відхилення цільо-

вої функції – 5 %. Дослідницькі дані наведено в одиницях міжнародної системи СІ. Повторність всіх дослідів та аналізів – не менш трьох.

## **5. Результати досліджень емульгуювальних властивостей модельних систем залежно від технологічних чинників та оптимізація процесу емульгування**

### **5.1. Дослідження емульгуювальних властивостей модельних систем залежно від технологічних чинників**

Однією з основних вимог, що висуваються до кулінарної продукції емульсійного типу, є наявність необхідної текстури та здатність не змінювати структурні характеристики протягом часу. Одним із способів розв'язання цієї задачі, є застосування харчових композицій, що мають одночасно емульгуювальні та структуроутворювальні властивості.

Модельні системи емульсійного соусу, що досліджуються, представляють двокомпонентну систему, яка складається з олії соняшnikової рафінованої дезодорованої та напівфабрикату на основі низьколактозної ферментованої молочної сироватки.

Для отримання емульсійної структури із заданими структурно-механічними показниками, важливим є визначення впливу технологічних факторів на процес емульгування. При виробництві емульсійних соусів на етапі емульгування, найбільш повно характер процесу відображають показники в'язкості ( $\eta$ , Па·с) та інверсійної стійкості ( $V$ , %). Факторами впливу є значення рН середовища, температури емульгування ( $t$ , °С), швидкість емульгування олії ( $v$ , мл/с) та швидкість обертання робочого органу мішалки ( $V$ , об/хв).

Попередніми дослідженнями встановлено, що емульгуювальна здатність напівфабрикату може варіюватися в діапазоні 40–90 % залежно від вмісту ферментованого пюре гарбуза. Для досліджень впливу технологічних параметрів на процес емульгування обраний напівфабрикат із вмістом ферментованого пюре гарбуза 30 %. Вміст олії в модельній композиції емульсійного соусу складав 60 %.

Досліджували вплив рН середовища на ефективну в'язкість модельної системи (рис. 1).

На рис. 1 представлено залежність ефективної в'язкості від рН середовища. Ця залежність носить екстремальний характер з максимумом в області рН=4,0...4,5. Відзначається підвищення в'язкості з 0,3 до 0,75 Па·с зі зниженням рН з 7,0 до 4,5. Зниження ефективної в'язкості нижче 0,64 Па·с спостерігається за підвищення кислотності середовища до 3,5. Таким чином, найбільшої в'язкості емульсії досягнуто за рН від 5,0 до 5,5 за однаково високих балів, виставлених експертами за консистенцію.

Залежність в'язкості модельної системи від температури емульгування представлено на рис. 2. Емульгування здійснювали в діапазоні температур від 14 °С до 26 °С.

З даних, представлених на рис. 2, видно, що зниження температури емульгування з 18 °С до 14 °С призводить до зниження ефективної в'язкості в 1,79 разів (з  $0,587 \pm 0,004$  Па·с до  $0,322 \pm 0,004$  Па·с). Таким чином, з точки зору стабілізаційних властивостей, раціональним є діапазон температур від 18 °С до 22 °С.

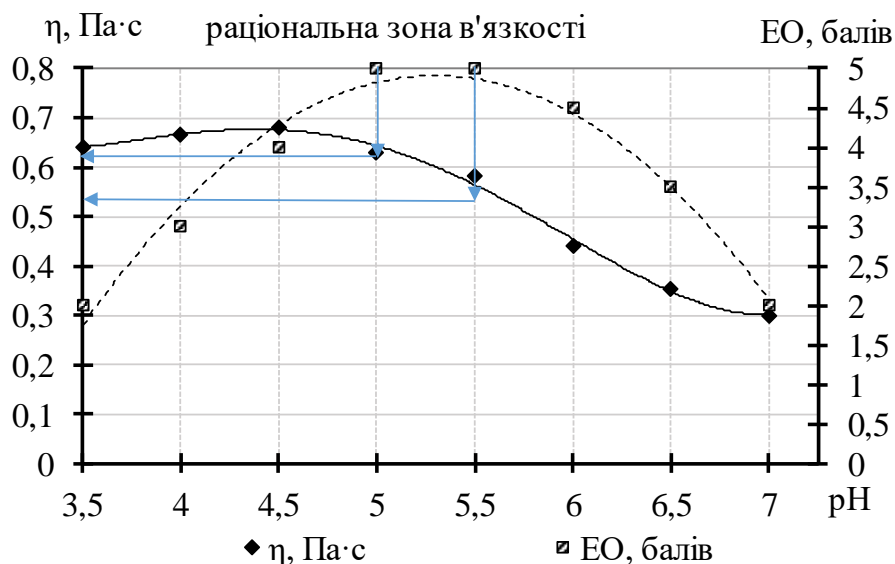


Рис. 1. Залежність ефективної в'язкості емульсійних систем ( $\eta$ , Па·с) та експертної оцінки консистенції (ЕО, балів) від рН середовища

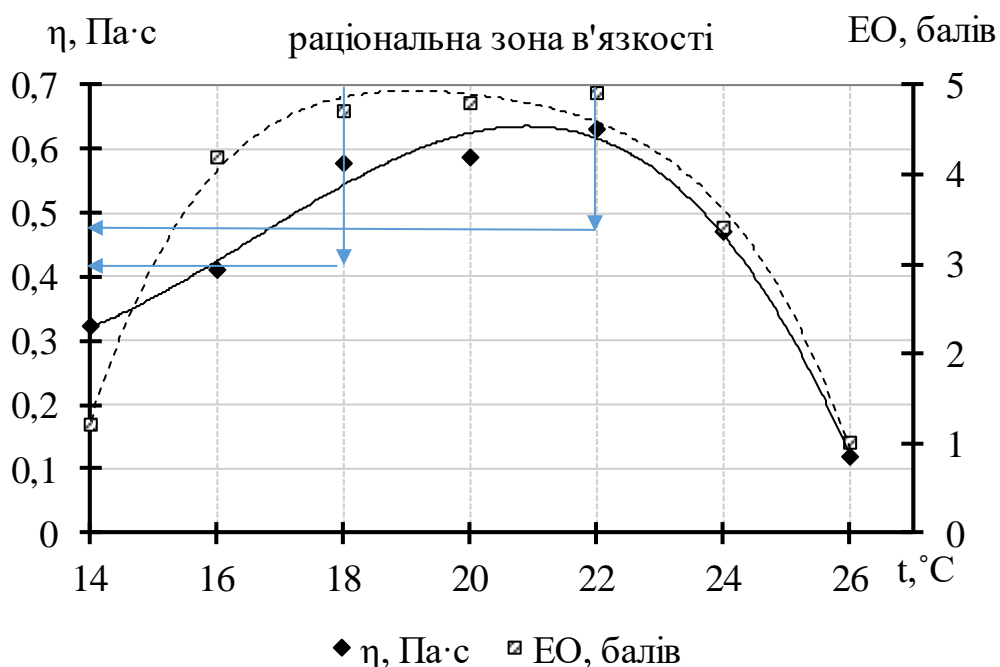


Рис. 2. Залежність ефективної в'язкості емульсійних систем ( $\eta$ , Па·с) та експертної оцінки консистенції (ЕО, балів) за різних температур ( $t$ , °C)

Залежність інверсії фаз емульсійних систем від температури проведення процесу представлено на рис. 3.

За даними рис. 3 очевидно, що максимальна емульгувальна здатність системи проявляється у визначеному діапазоні температур від 18 °C до 22 °C і становить відповідно 60...92 %. Даний факт відзначено відповідно високими балами середньозваженої експертної оцінки. Подальше підвищення температури процесу сприяло розшаруванню системи за значно менших об'ємів емульгова-



ного жиру. За температури нижче 18 °С система була надмірно густою, а емульгування відбувалося значно повільніше. Інверсія наступала раніше, що проявлялось у неемульгованих краплях олії між шарами в'язкого продукту.

Залежність в'язкості системи від швидкості емульгування олії наведено на рис. 4.

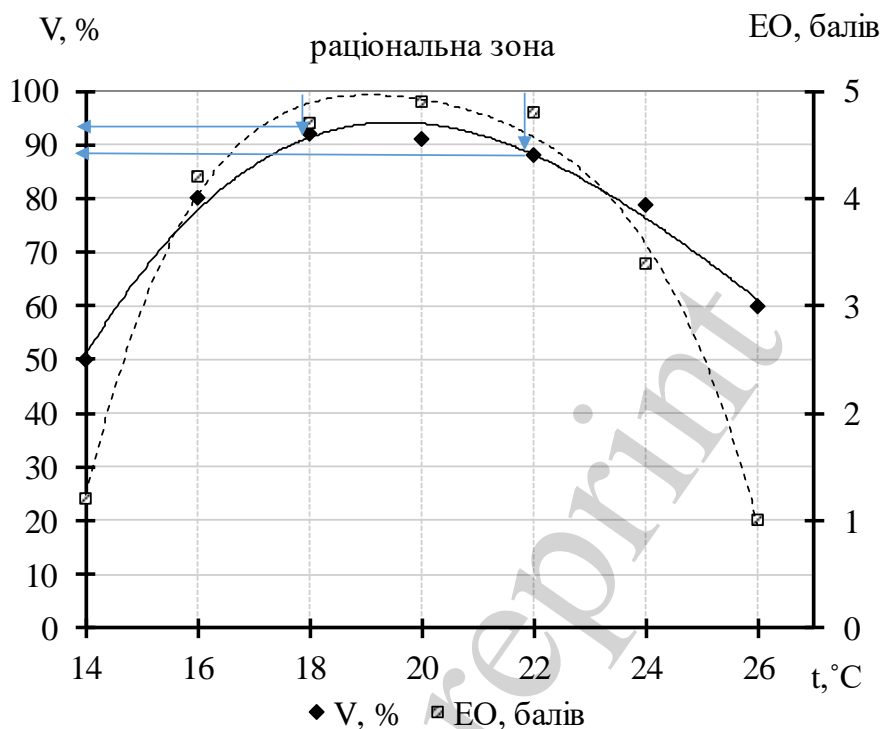


Рис. 3. Залежність інверсії (V, %) та експертної оцінки консистенції (ЕО, балів) за різних температур (t, °C)

Раціональна зона ефективної в'язкості, за визначенням експертів, характеризувалася показниками в діапазоні від 0,586 Па·с до 0,640 Па·с. Даним значенням відповідала швидкість емульгування олії, що становила 0,05 та 0,1 мл/с. Збільшення інтенсивності потоку олії до 0,2...0,4 мл/с призводило до неповного її емульгування і прискорювало час настання інверсії системи. Відповідно даних рис. 5, раціональний діапазон швидкості викапування олії складає 0,05–0,1 мл/с.

Вплив зміни швидкості емульгування олії та стабільність емульсії до розшарування представлено на рис. 5.

Характер залежності стійкості емульсії від швидкості емульгування корелює із виставленими експертними оцінками консистенції продукту. За інтенсивності викапування олії від 0,01 до 0,05 мл/с стійкість системи до розшарування знижується у 1,3 рази у порівнянні з максимальним її значенням при 0,05 – 0,01 мл/с. Натомість за швидкостей понад 0,1 мл/с система розшаровується ще швидше, її стійкість зменшується у понад 1,5 рази.

Встановлено залежність в'язкості від швидкості обертання робочого органу мішалки. Дані наведено на рис. 6.

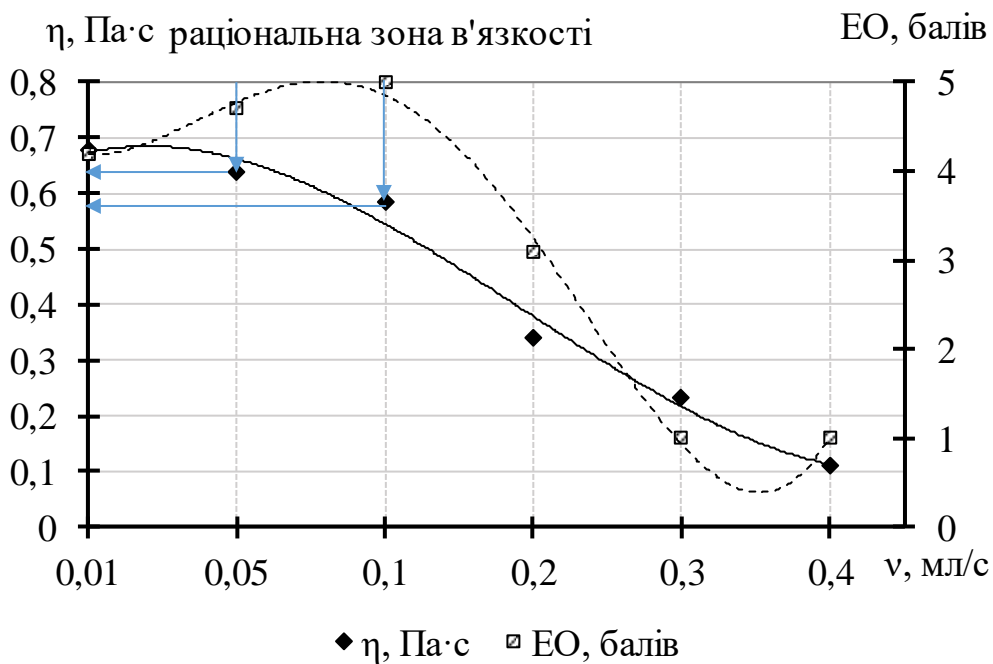


Рис. 4. Залежність ефективної в'язкості емульсійних систем ( $\eta$ , Па·с) та експертної оцінки консистенції (ЕО, балів) від швидкості емульгування олії ( $v$ , мл/с)

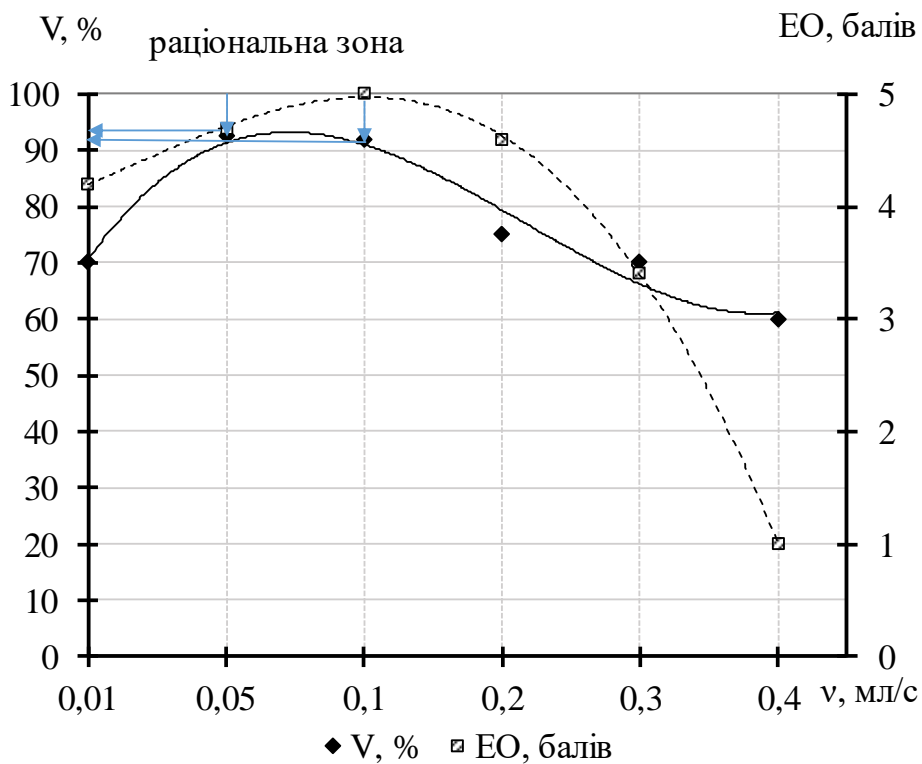


Рис. 5. Залежність інверсії ( $V$ , %) та експертної оцінки консистенції (ЕО, балів) від швидкості емульгування олії ( $v$ , мл/с)

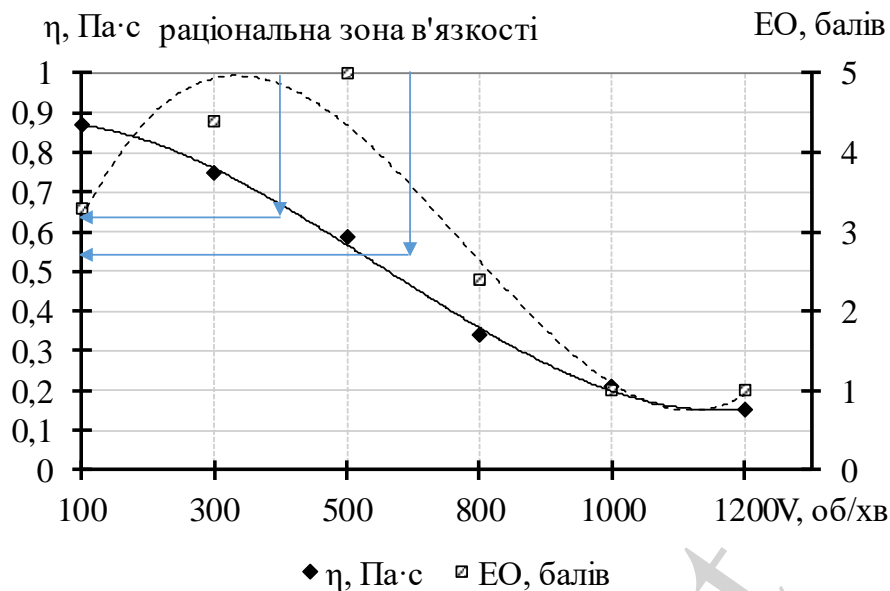


Рис. 6. Залежність ефективної в'язкості емульсійних систем ( $\eta$ , Па·с) та експертної оцінки консистенції (ЕО, балів) від швидкості обертання робочого органу ( $V$ , об/хв)

Як видно із даних рис. 6, зростання в'язкості систем обернено пропорційне збільшенню швидкості обертання робочого органу мішалки. При максимальних значеннях швидкостей обертання до 1200 об/хв в'язкість різко знижується до 0,16 Па·с. Отримання системи, консистенція якої відповідає значенням раціонального діапазону в'язкості від 0,55 до 0,63 Па·с, досягається за обертання робочого органу при 500 об/хв. Натомість ефективність перемішування системи за швидкостей 100 та 300 об/хв є низькою, краплі жиру не однорідні за розміром, розміщуються між шарами системи.

На рис. 7 наочно відображено залежність стійкості системи до розшарування від швидкості обертання робочого органу мішалки.

За графіком, представленим на рис. 7, максимальна стійкість системи у 92 % поглинутої олії досягається за швидкостей обертання робочого органу мішалки від 100 до 500 об/хв. За вищих значень швидкостей обертання робочого органу інверсійна стійкість різко падає у 1,2 і до понад 3 рази при 800 об/хв та 1200 об/хв відповідно.

В результаті проведених досліджень визначено діапазон значень раціональних параметрів окремих показників технологічного процесу приготування соусів емульсійного типу. В зв'язку з цим необхідним є встановлення оптимальних значень параметрів емульгування за допомогою математичного моделювання.

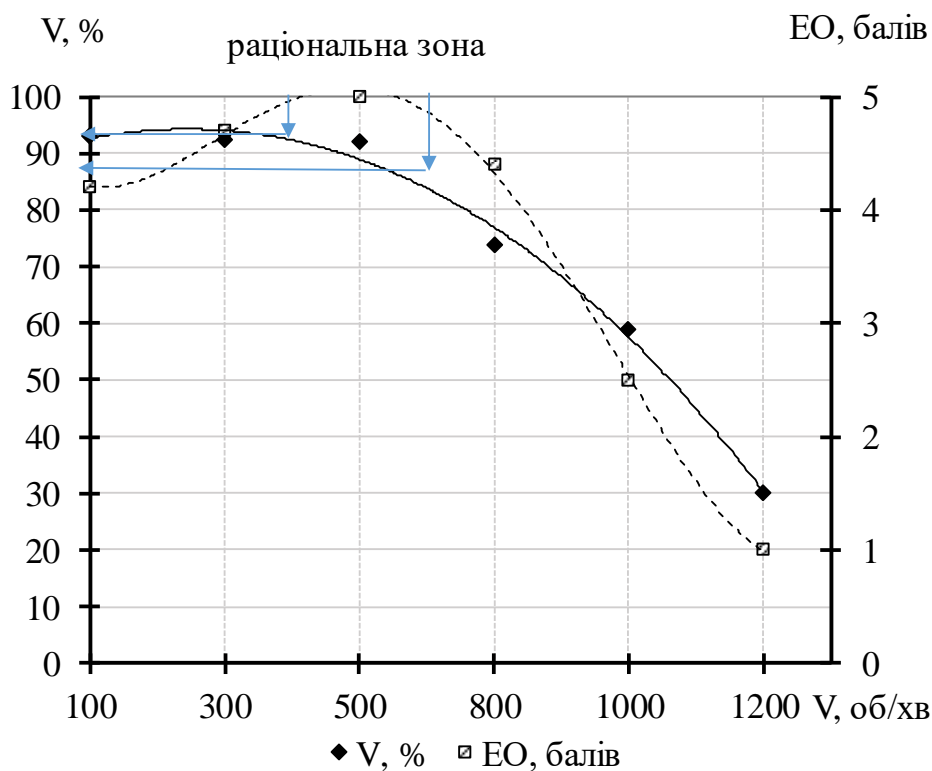


Рис. 7. Залежність інверсії (V, %) та експертної оцінки консистенції (ЕО, балів) від швидкості обертання робочого органу (V, об/хв)

## 5. 2. Визначення та оптимізація параметрів процесу емульгування соусів на основі НЗНМС

З метою визначення оптимальних параметрів процесів емульгування було застосовано метод планування багатofакторного експерименту за ортогональним симетричним планом Бокса–Вілсона.

Найбільш значимими факторами, що впливають на процес емульгування, є кількісно вимірювані і контрольовані ознаки:

$X_1$  – вміст ферментованого пюре гарбуза, %;

$X_2$  – температура емульгування, °С;

$X_3$  – швидкість емульгування, мл/с.

В табл. 1 наведено умови проведення повного трьохфакторного експерименту.

Таблиця 1

Рівні та інтервали факторів варіювання

Рівні	Фактори		
	Вміст пюре з гарбуза, %	Температура емульгування, °С	Швидкість емульгування, мл/с
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Верхній ( $X_{i \max}$ )	20	16	0,05
Основний ( $X_{i0}$ )	30	18	0,1
Нижній ( $X_{i \min}$ )	40	20	0,15

В якості функції відклику  $Y$  прийнято максимальну емульгувальну здатність, %. За результатами трьох серій вимірювань по визначенню жиропоглинаючої здатності для планів багатofакторного експерименту визначено середнє значення емульгувальної здатності (табл. 2).

Таблиця 2  
Результати експерименту

$X_1$	20	40	20	40	20	40	20	40	17,8	42,2	30	30	30	30	30
$X_2$	16	16	20	20	16	16	20	20	18	18	15,6	20,4	18	18	18
$X_3$	0,0 5	0,0 5	0,0 5	0,0 5	0,15	0,15	0,1 5	0,1 5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1
$Y_{\text{сер}}$	53, 5	49, 92	57, 86	57, 99	59,7 3	64,7 7	68, 54	66, 51	89,7	92,1 7	78,7 2	94,3 9	48,9 2	59,8 3	87, 59

Плани побудовані з врахуванням критерію ортогональності. При загальній кількості дослідів 15 для ортогонального центрального композиційного плану величина  $\alpha=1,2153$ .

У зв'язку з тим, що об'єкт дослідження має істотні нелінійні властивості, планування першого порядку не дозволило отримати адекватну регресійну модель. При вивченні області екстремуму і ділянок поверхні відгуку зі значною кривизною за математичний опис було обрано рівняння регресії другого порядку, яке містить, крім основних ефектів  $b_i$  всі парні взаємодії  $b_{ij}$ , квадратичні ефекти  $b_{ii}$  і враховує взаємодію всіх трьох факторів  $b_{123}$ . Після нормування рівнів факторів за допомогою методу найменших квадратів отримано некорельовані між собою оцінки коефіцієнтів регресії. При переведенні в натуральні змінні побудовано регресійну модель поверхні відклику, що набуває вигляду:

$$\begin{aligned}
 Y = & -335,1426 - 1,5201X_1 + 35,4176X_2 + 143,5418X_3 + 0,1137X_1X_2 + \\
 & + 25,8471X_1X_3 + 38,0177X_2X_3 - 1,3463X_1X_2X_3 - \\
 & - 0,0111X_1^2 - 1,0187X_2^2 - 10342,7254X_3^2.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Проведена перевірка встановила однорідність дисперсії відтворюваності для експериментальних значень  $Y_{\text{сер}}$  (табл. 2) та теоретичних рівнів  $Y$ , розрахованих за математичною моделлю (1). За критерієм Фішера маємо  $F=0,099 < 8,73 = F_{\text{кр}}(0,05; 3; 13)$ , де  $\alpha=0,05$  – рівень значущості; степені волі  $m=3$  – кількість факторів у моделі і  $n-2=15-2=13$ , тут  $n$  – число дослідів.

Побудова математичної моделі (1) дозволила сформулювати задачу оптимізації. З фізичного змісту введених змінних впливає їх невід'ємність:  $X_i \geq 0$  ( $i=1, 2, 3$ ). В силу умов проведення процесу обробки маємо обмеження  $X_1 \geq 20$ , оскільки при нижчій концентрації пюре гарбуза, значно знижується біологічна цінність. Для досягнення необхідної якості продукту бажано, щоб емульгувальна здатність була якомога вищою, тому для визначення оптимальних величин параметрів процесу цільова функція  $Y$  спрямовується до її максимально допустимого значення.

Аналітично розв'язуючи за методом крутого сходження оптимізаційну задачу визначення максимуму цільової функції  $Y$  (1)

$$X_1 \geq 20, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0,$$

$$Y(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \max, \quad (2)$$

в середовищі Microsoft Excel, визначаємо оптимальні рівні факторів та максимальне значення функції відклику (табл. 3).

Таблиця 3  
Оптимальні значення процесу

Найменування показника	Змінні			Цільова функція	Напрямок функції
Ім'я	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y(X_1, X_2, X_3)$	→ max
Значення	30,24	18,93	0,10	92,47	
Обмеження					
$X_1 =$	30,24			$\geq$	20
$X_2 =$	18,93			$\geq$	0
$X_3 =$	0,10			$\geq$	0

Як бачимо, одержані оптимальні значення факторів  $X_1=30,24$ ;  $X_2=18,93$ ;  $X_3=0,10$  повністю відповідають основним рівням  $X_{i0}$  кожного фактору. Оптимальне значення емульгувальної здатності складає  $Y_{\max}=92,47$  %.

З урахуванням допустимого відхиленням у 5 % можна зробити висновок: при даних умовах, коли вміст ферментованого пюре гарбуза складає 28,73...31,76 %, температура емульгування дорівнює 17,99...19,88 °С, а швидкість емульгування – 0,09...0,11 мл/с, процес емульгування характеризується максимальною емульгувальною здатністю у 92,47 %.

## 6. Обговорення результатів емульгувальних властивостей модельних систем залежно від технологічних чинників

Аналізуючи дані, представлені на рис. 1, можна зробити висновок, що ефективна в'язкість модельної системи емульсії залежить від рН, її максимум лежить в області рН=3,5...4,5. Ймовірно збільшення концентрації жирової фази у досліджуваному діапазоні значень рН призводить до зростання в'язкості. Так, зі збільшенням концентрації дисперсної фази зменшується простір для вільного переміщення дисперсійного середовища. Натомість незначне зниження ефектної в'язкості з подальшим різким падінням за зниження кислотності середовища до рН=5,5 пояснюється тим, що при малих значеннях рН середовища підвищується іонна сила розчину, відбувається екранування електростатичних взаємодій іонів, макромолекули білків згортаються у відносно щільні агрегати, що призводить до зменшення в'язкості емульсій [36].

З даних, представлених на рис. 2, видно, що температура емульгування в інтервалі 18...22 °С з точки зору стабілізаційних властивостей є раціональною.

Зниження температури нижче 18 °С призводить і до суттєвого зниження ефективної в'язкості до  $0,32 \pm 0,008$  Па·с. Ймовірно, це спричинено механічним руйнуванням білок-пектинових-комплексів та пектатів кальцію за інтенсивного перемішування системи впродовж процесу їх утворення.

Виходячи з даних, наведених на рис. 3, настання інверсії відбувається в діапазоні температур від 18 °С до 22 °С. У визначеному температурному інтервалі емульгувальна здатність системи складає 60...92 % при збереженні стабільності, зберігаючи при цьому однорідність та глянцевість системи. Подальше підвищення температури призводить до руйнування емульсії. Такий вплив температури на стабілізаційні та інверсійні властивості модельної систем пояснюється тим фактом, що системи, які досліджуються, є неньютонівськими рідинами. Підвищення температури емульгування призводить до підвищення рухливості макромолекул, зниження сил взаємного притягання, чим і пояснюється зменшення в'язкості та стійкості систем [37].

Як видно з рис. 4, ефективна в'язкості модельної системи знаходиться в прямій залежності від інтенсивності емульгування олії. Збільшення інтенсивності потоку олії до 0,2...0,4 мл/с призводило до неповного її емульгування, утворення нерівномірної грубодисперсійної системи і прискорювало час настання інверсії (рис. 5). За зменшення інтенсивності потоку до 0,01 мл/с розшарування системи настає вже при 70 % введеної олії, що пояснюється нерівномірністю розподілу жирової фази за встановлених режимів обертання робочого органу мішалки.

Виходячи із даних рис. 6, зростання в'язкості систем обернено пропорційне збільшенню швидкості обертання робочого органу мішалки. За високих швидкостей (понад 800 об/хв) спостерігається стрімке зниження стійкості емульсії (рис. 7). Максимальне емульгування – понад 90 %, досягається за швидкостей від 100 до 500 об/хв. Такі дані узгоджуються із дослідженнями, які констатують, що під впливом інтенсивної механічної дії відбувається руйнування макромолекул білків та полісахаридів, які виступають структуроутворювачами, наслідком чого є зниження в'язкості з розшаруванням емульсії [38]. Натомість ефективність перемішування системи за швидкостей від 100 до 300 об/хв, що є нижчими від раціональних, не достатня для рівномірного розподілу жиру по всій структурі, дроблення його [39].

Встановлено раціональні умови забезпечення максимальної емульгувальної здатності в 92,47 %: концентрація пюре гарбуза – 28,73...31,76 %, температура емульгування – 17,99...19,88 °С, швидкість емульгування – 0,09...0,11 мл/с за результатами проведеної математичної оптимізації. За цих умов забезпечується набуття продуктом відмінних органолептичних характеристик, максимально наближених до характеристик соусу «Майонез», приготовленого за оригінальною технологією відповідно до вимог ДСТУ 4487:2005 [13]. Зважаючи на апіорі високу цінність продукції на основі НЗНМС для хворих на мальабсорбцію лактози, за рахунок зниженого вмісту останньої, в першу чергу доцільним було визначення раціональних умов, за яких продукт набував відмінних органолептичних показників. Зокрема, виходячи з особливостей продукту, найбільш вагомим органолептичним показником є консистенція соусу, його в'язкість, однорідність та глянцевість. Після, на друге місце за релевантністю, виходять біологічна та харчова цінність про-

дукту, що відображено у створенні системи обмежень під час математичних обчислень, де концентрації пюре гарбуза присвоєно значення вище або рівне 20 % від загального об'єму вихідного продукту.

Зважаючи на вище сказане, доцільним у подальшому є дослідження структурно-механічних показників та біологічної і харчової цінності продукту у процесі зберігання за різних умов, дослідження мікробіологічних показників.

## 7. Висновки

1. У результаті проведених досліджень встановлено характер впливу технологічних чинників на процес емульгування. Визначено оптимальне значення рН середовища, що становить 5,0...5,5. Значення температури емульгування, за якої забезпечується максимальна емульгувальна здатність, становить 18–22 °С. Швидкість викапування олії у процесі її емульгування має становити 0,05–0,1 мл/с при заданій швидкості обертання робочого органу мішалки 500 об/хв. За цих умов у емульсійних систем з відсотковим вмістом пюре гарбуза 30 % від маси НЗНМС забезпечується досягнення максимальних значень емульгувальної здатності.

2. Оптимізовано отримані числові значення параметрів процесу методом планування експерименту за ортогональним симетричним планом Бокса-Вілсона, при яких забезпечується досягнення максимальних значень емульгувальної здатності в 92,47 %. Відповідно до проведеного комплексу розрахунків встановлено раціональне значення температури емульгування, за якої забезпечується максимальна емульгувальна здатність, становить 17,99...19,88 °С. Визначено оптимальне значення швидкості викапування олії у процесі її емульгування – 0,09...0,11 мл/с. Діапазон оптимальних значень відсоткового вмісту пюре гарбуза становить 28,73...31,76 % від маси НЗНМС. За отриманими значеннями побудовано трьохмірні поверхні відклику інверсійної здатності для представлення взаємозалежності змінних.

## Література

1. Böhn, L., Störsrud, S., Liljebo, T., Collin, L., Lindfors, P., Törnblom, H., Simrén, M. (2015). Diet Low in FODMAPs Reduces Symptoms of Irritable Bowel Syndrome as Well as Traditional Dietary Advice: A Randomized Controlled Trial. *Gastroenterology*, 149 (6), 1399–1407.e2. doi: <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2015.07.054>

2. Peters, S. L., Yao, C. K., Philpott, H., Yelland, G. W., Muir, J. G., Gibson, P. R. (2016). Randomised clinical trial: the efficacy of gut-directed hypnotherapy is similar to that of the low FODMAP diet for the treatment of irritable bowel syndrome. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 44 (5), 447–459. doi: <https://doi.org/10.1111/apt.13706>

3. Pedersen, N., Andersen, N. N., Végh, Z., Jensen, L., Ankersen, D. V., Felding, M. et. al. (2014). Ehealth: low FODMAP diet vs *Lactobacillus rhamnosus* GG in irritable bowel syndrome. *World Journal of Gastroenterology*, 20 (43), 16215–16226. doi: <https://doi.org/10.3748/wjg.v20.i43.16215>

4. Heizer, W. D., Southern, S., McGovern, S. (2009). The Role of Diet in Symptoms of Irritable Bowel Syndrome in Adults: A Narrative Review. *Journal of the*



American Dietetic Association, 109 (7), 1204–1214. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.04.012>

5. Böhn, L., Störsrud, S., Törnblom, H., Bengtsson, U., Simrén, M. (2013). Self-Reported Food-Related Gastrointestinal Symptoms in IBS Are Common and Associated With More Severe Symptoms and Reduced Quality of Life. *American Journal of Gastroenterology*, 108 (5), 634–641. doi: <https://doi.org/10.1038/ajg.2013.105>

6. Hayes, P., Corish, C., O'Mahony, E., Quigley, E. M. M. (2013). A dietary survey of patients with irritable bowel syndrome. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 27, 36–47. doi: <https://doi.org/10.1111/jhn.12114>

7. Staudacher, H. M., Lomer, M. C. E., Anderson, J. L., Barrett, J. S., Muir, J. G., Irving, P. M., Whelan, K. (2012). Fermentable Carbohydrate Restriction Reduces Luminal Bifidobacteria and Gastrointestinal Symptoms in Patients with Irritable Bowel Syndrome. *The Journal of Nutrition*, 142 (8), 1510–1518. doi: <https://doi.org/10.3945/jn.112.159285>

8. Choque Delgado, G. T., Tamashiro, W. M. da S. C. (2018). Role of prebiotics in regulation of microbiota and prevention of obesity. *Food Research International*, 113, 183–188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.013>

9. Ooi, S. L., Correa, D., Pak, S. C. (2019). Probiotics, prebiotics, and low FODMAP diet for irritable bowel syndrome – What is the current evidence? *Complementary Therapies in Medicine*, 43, 73–80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.01.010>

10. Гніщевич, В. А., Чикун, Н. Ю., Гончар, Ю. М. (2017). Кінетика ферментолізу лактози молочної сироватки. *Товари і ринки*, 2, 97–104. URL: [http://tr.knteu.kiev.ua/files/2017/24\(tom1\)/12.pdf](http://tr.knteu.kiev.ua/files/2017/24(tom1)/12.pdf)

11. Гніщевич, В. А., Гончар, Ю. М. (2018). Дослідження процесу ферментолізу м'якоті гарбуза. *Наукові праці НУХТ*, 24 (2), 202–208. doi: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-2-24>

12. Гніщевич, В. А., Юдіна, Т. І., Гончар, Ю. М. (2018). Технологія напівфабрикату на основі низьколактозної молочної сироватки та м'якоті гарбуза. *Товари і ринки*, 4, 105–114. doi: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018\(28\)10](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018(28)10)

13. ДСТУ 4487:2005. Майонези. Загальні технічні умови (2006). Київ: Держспоживстандарт, 27.

14. Chassaing, B., Koren, O., Goodrich, J. K., Poole, A. C., Srinivasan, S., Ley, R. E., Gewirtz, A. T. (2015). Dietary emulsifiers impact the mouse gut microbiota promoting colitis and metabolic syndrome. *Nature*, 519 (7541), 92–96. doi: <https://doi.org/10.1038/nature14232>

15. Chang, C., Li, J., Li, X., Wang, C., Zhou, B., Su, Y., Yang, Y. (2017). Effect of protein microparticle and pectin on properties of light mayonnaise. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 8–14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.013>

16. Ma, Z., Boye, J. I. (2012). Advances in the Design and Production of Reduced-Fat and Reduced-Cholesterol Salad Dressing and Mayonnaise: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6 (3), 648–670. doi: <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1000-9>

17. Charles, M., Rosselin, V., Beck, L., Sauvageot, F., Guichard, E. (2000). Flavor Release from Salad Dressings: Sensory and Physicochemical Approaches in Relation with the Structure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (5), 1810–1816. doi: <https://doi.org/10.1021/jf9906533>
18. Mirzanajafi-Zanjani, M., Yousefi, M., Ehsani, A. (2019). Challenges and approaches for production of a healthy and functional mayonnaise sauce. *Food Science & Nutrition*, 7, 2471–2484. doi: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1132>
19. Chung, C., Degner, B., McClements, D. J. (2014). Development of Reduced-calorie foods: Microparticulated whey proteins as fat mimetics in semi-solid food emulsions. *Food Research International*, 56, 136–145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.034>
20. Campbell, B. (2019). Current Emulsifier Trends in Dressings and Sauces. *Food Emulsifiers and Their Applications*, 285–298. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29187-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29187-7_9)
21. Bigdelian, E., Razavi, S. (2014). Evaluation of survival rate and physicochemical properties of encapsulated bacteria in alginate and resistant starch in mayonnaise sauce. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, 4 (5). doi: <https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000166>
22. Liu, X., Guo, J., Wan, Z.-L., Liu, Y.-Y., Ruan, Q.-J., Yang, X.-Q. (2018). Wheat gluten-stabilized high internal phase emulsions as mayonnaise replacers. *Food Hydrocolloids*, 77, 168–175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.032>
23. Nikzade, V., Tehrani, M. M., Saadatmand-Tarzjan, M. (2012). Optimization of low-cholesterol–low-fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach. *Food Hydrocolloids*, 28 (2), 344–352. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.023>
24. Dolz, M., Hernández, M. J., Delegido, J. (2006). Oscillatory measurements for salad dressings stabilized with modified starch, xanthan gum, and locust bean gum. *Journal of Applied Polymer Science*, 102 (1), 897–903. doi: <https://doi.org/10.1002/app.24125>
25. Sikora, M., Badrie, N., Deisingh, A. K., Kowalski, S. (2008). Sauces and Dressings: A Review of Properties and Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48 (1), 50–77. doi: <https://doi.org/10.1080/10408390601079934>
26. Романова, Т. Я., Федорова, Т. П. (1997). Пат. № 28805 UA. Емульгований соус. № u97094774; заявл. 25.09.1997; опубл. 16.10.2000, Бюл. № 5. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=77610>
27. Никифоров, Р. П., Гніцевич, В. А. (2015). Обґрунтування технології емульсійних соусів із застосуванням білково-вуглеводного напівфабрикату. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 3 (10 (75)), 15–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43447>
28. Sun, C., Liu, R., Liang, B., Wu, T., Sui, W., Zhang, M. (2018). Microparticulated whey protein-pectin complex: A texture-controllable gel for low-fat mayonnaise. *Food Research International*, 108, 151–160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.036>
29. Носенко, Т. Т., Бахмач, В. О., Бердашкова, Л. О. (2015). Пат. № 105129 UA. Майонез низькокалорійний білковий. № u201507405; заявл. 23.07.2015;

опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=221028>

30. Бабенко, В. І., Бахмач, В. О., Манк, В. В., Бердашкова, Л. О. (2015). Пат. № 103236 UA. Пісний майонез. № u201505199; заявл. 27.05.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=218393>

31. Солодко, Л. М., Сімахіна, Г. О., Штанько, О. А. (2014). Пат. № 97561 UA. Майонез. № u201409784; заявл. 05.09.2014; опубл. 25.03.2015, Бюл. № 6. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=211062>

32. Осейко, М. І., Шевчик, В. І., Ремізова, К. О., Ковальова, О. А. (2013). Пат. № 86341 UA. Майонез низькокалорійний зі смаковими добавками. № u201308418; заявл. 04.07.2013; опубл. 25.12.2013, Бюл. № 24. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=195297>

33. Роїк, М. В., Петік, П. Ф., Федякіна, З. П., Шаповалова, І. Є., Кузнєцова, І. В. (2013). Пат. № 82303 UA. Майонез «Стевія». № u201302237; заявл. 22.02.2013; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=189804>

34. Віскозиметр Брукфільда DV-II+PRO. Інструкція до використання. М/03-65.

35. Кобзар, А. И. (2006). Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 816.

36. Hussain, R., Gaiani, C., Jeandel, C., Ghanbaja, J., Scher, J. (2012). Combined effect of heat treatment and ionic strength on the functionality of whey proteins. *Journal of Dairy Science*, 95 (11), 6260–6273. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5416>

37. Tadros, T. F. (2016). Emulsions: Formation, Stability, Industrial Applications. De Gruyter. doi: <https://doi.org/10.1515/9783110452242>

38. Maphosa, Y., Jideani, V. A. (2018). Factors Affecting the Stability of Emulsions Stabilised by Biopolymers. *Science and Technology Behind Nanoemulsions*. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.75308>

39. Depree, J. A., Savage, G. P. (2001). Physical and flavour stability of mayonnaise. *Trends in Food Science & Technology*, 12 (5-6), 157–163. doi: [https://doi.org/10.1016/s0924-2244\(01\)00079-6](https://doi.org/10.1016/s0924-2244(01)00079-6)