

Розроблено теоретичну модель стеричної стабілізації структури повітряно-горіхового напівфабрикату, шляхом додаткового введення дистильованих моноглицеридів та натрій-карбоксиметилцелюлози. Експериментально доведено, що введення низькомолекулярних поверхнево-активних речовин в олію забезпечує гідрофілізацію жирової фази та зменшує десорбцію білка з бульбашок повітря. Введення натрій-карбоксиметилцелюлози забезпечує підвищення в'язкості, зменшує флоатацію твердих частинок горіхів, забезпечує стійкість системи до перемішування

Ключові слова: напівфабрикат повітряно-горіховий, стерична стабілізація, флоатація, піноутворююча здатність, стійкість піни, міжфазні шари

Разработана теоретическая модель стерической стабилизации структуры воздушного орехового полуфабриката путем дополнительного введения дистиллированных моноглицеридов и натрий-карбоксиметилцелюлозы. Экспериментально доказано, что введение низкомолекулярных поверхностно-активных веществ в масло обеспечивает гидрофилизацию жировой фазы и уменьшает десорбцию белка из пузырьков воздуха. Введение натрий-карбоксиметилцелюлозы обеспечивает повышение вязкости, уменьшает флоатацию твердых частиц орехов, обеспечивает устойчивость системы к перемешиванию

Ключевые слова: полуфабрикат воздушного-ореховый, стерическая стабилизация, флоатация, пенообразующая способность, устойчивость пены, межфазные слои

РОЗРОБКА МОДЕЛІ СТЕРИЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ НАПІВФАБРИКАТУ ПОВІТРЯНО-ГОРІХОВОГО

А. Б. Горальчук

Доктор технічних наук, доцент*

E-mail: abgora@gmail.com

О. О. Гринченко

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*

С. М. Губський

Кандидат хімічних наук, доцент

Кафедра хімії, мікробіології та гігієни харчування**

E-mail: s.gubsky@hduht.edu.ua

Л. Ф. Товма

Кандидат технічних наук

Кафедра тилового забезпечення

Національна академія Національної гвардії України

пл. Захисників України, 3, м. Харків, Україна, 61001

E-mail: l.f.tovma@gmail.com

С. В. Журавльов

Кандидат технічних наук*

E-mail: guravlevsv52@gmail.com

*Кафедра технології харчування**

**Харківський державний університет харчування та торгівлі
вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

1. Вступ

Випечені збивні напівфабрикати повітряно-горіхові (НФПГ) та бісквіти є кондитерською продукцією, що відносяться до складних колоїдних систем з сумішшю харчових інгредієнтів. В таких системах одночасно існує декілька фаз в газоподібному, рідкому та твердому станах: бульбашки повітря, краплі жиру та тверді частинки горіху подрібненого (ГП). Впродовж технологічного процесу НФПГ мають ознаки піни на етапі збивання білково-цукрової суміші. На етапі введення ГП до збитої білково-цукрової суміші утворюється суспензія та емульсія. Кінцевим етапом в виробництві НФПГ є процес висушування або випікання. Після випікання та охолодження маємо напівфабрикат з повітряною фазою в твердому середовищі. Випікання передбачає необхідність забезпечення в технологічному процесі механізму стійкості дисперсної системи. Сутність останнього полягає в створенні умов, при

яких відсутня адгезія жирових чи твердих частинок на бульбашках повітря. Така структура НФПГ забезпечує після випікання одержання продукції з високим питомим об'ємом.

Розробка наукових принципів стабілізації пінової структури є актуальним дослідженням. Практична цінність питання полягає в зниженні собівартості НФПГ та створенні умов для розширення асортименту кулінарної та кондитерської продукції на його основі. Оскільки НФПГ виробляється в ручному режимі або з мінімальною механізацією процесу через низьку стійкість піни. Індустріалізація виробництва НФПГ стримується відсутністю наукових основ стабілізації дисперсних систем на основі яєчного білка, що містять ГП. Саме ГП є фактором, що призводить до руйнування піни за рахунок виділення жиру під час подрібнення горіхів та адгезії твердих частинок на бульбашках повітря.

Поточна робота є продовженням досліджень з розробки теоретичних аспектів забезпечення стійкості

харчових колоїдних систем зі складною фазовою мікроструктурою [1, 2].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Проблеми стійкості піноподібних білкових систем з введеним жиром вирішується шляхом використання низькомолекулярних поверхнево активних речовин (ПАР). Так, в дослідженні [3] на основі кількісних характеристик піни було показано, що введення ПАР різної природи у олію дозволяє підвищити стійкість піни харчової системи. Механізм дії низькомолекулярних ПАР був пов'язаний в роботі [4] з процесом конкурентної адсорбції за рахунок величини поверхневої активності утворених комплексів. Значним фактором впливу на цей механізм є хімічна природа білків і низькомолекулярних ПАР, а також вид межі розділу фаз вода-олія та вода-повітря [5]. Конкурентна адсорбція в багатокомпонентних харчових системах ускладнюється наявністю декількох фаз, зокрема жирових кристалів [6].

При розгляді харчових пінних систем на основі яєчного білка рішення про використання ПАР в якості стабілізатора стійкості піни зберігається. Так, в дослідженні [7] використання камедей та полімерів дозволило регулювання структурно-механічних властивостей піни с кінцевим результатом її стабілізації до стану, що дозволяє її висушування.

Значну роль в стабілізатора відіграють органолептичні властивості кінцевого продукту [8] або структурно-механічні властивості піни [9]. Розуміння взаємозв'язку фізичних властивостей піни з кінцевою якістю харчових продуктів не є вирішеною проблемою та потребує додаткових досліджень [10]. В якості фізичних властивостей для характеристики цього зв'язку розглядаються наступні кількісні показники:

- висота піни;
- розмір та просторове розташування компонентів;
- текстура та характеристики поверхні виробів.

Так, висота піни в харчових системі (типу мородива) може збільшуватись за рахунок введення водорозчинних ПАР Tweens та зменшуватися за введення жиророзчинних ПАР Spans. Загальноприйнята модель пояснює цю тенденцію реологічними властивостями міжфазного шару (МШ) та середнім розміром бульбашок повітря [11]. Однак зазначена модель не в змозі передбачити просторове розміщення жирових частинок в системі. В роботі [12] зазначається, що текстура складних харчових продуктів з колоїдною структурою формується за рахунок трьох основних факторів: утворення МШ, флокуляції дисперсних частинок та адсорбцією дисперсних частинок на міжфазну поверхню. Так, збита емульсія однакового складу залежно від умов піноутворення та міжфазних процесів має різні механічні властивості [13].

Запропоновані раніш моделі Пікерінг стабілізації [1] або Пікерінг-стеричної стабілізації [2] структури в даному випадку не можуть використовуватися. Причина цьому – попадання жирових та твердих частинок горіхової сировини на міжфазну поверхню вода-повітря. Під час нагрівання цей процес призводить до руйнування піни. Механізм стеричної стабілізації за рахунок використання білків [14], комплексів білків з низькомолекулярними ПАР [15], комплексів білків

з полісахаридами [16] ефективно реалізується для стабілізації пін та емульсій. Стабілізація цих колоїдних систем відбувається за рахунок утворення міжфазних шарів (МШ) з високими структурно-механічними властивостями.

Аналіз літературних джерел засвідчив, що застосування низькомолекулярних ПАР та стабілізаторів в технології створення піноподібних білкових систем з введеним жиром дозволяє стабілізувати піну. Однак не вирішена проблема просторового розміщення різних фаз у таких системах, зокрема НФПГ. Цей фактор є вирішальним для якості готового продукту в технологіях випечених збивних напівфабрикатів. З цієї точки зору, розробка моделі стеричної стабілізації є необхідною умовою удосконалення існуючої технології виробництва НФПГ.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є теоретичне та експериментальне обґрунтування удосконалення технології НФПГ шляхом стеричної стабілізації.

Для досягнення мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- реалізувати механізми стеричної стабілізації досягненням необхідних реологічних показників міжфазних шарів та системи в цілому, що забезпечить стійкість структури багатофазної харчової системи;
- на прикладі створення реальної харчового продукту (НФПГ) підтвердити практичну реалізацію механізмів стабілізації, які складають сутність моделі стеричної стабілізації;
- обґрунтувати параметри одержання НФПГ;
- здійснити оцінку показників якості випеченого НФПГ.

4. Матеріали та методи дослідження напівфабрикату повітряно-горіхового

4.1. Досліджувані матеріали та обладнання

В дослідженні використовували наступні реагенти кваліфікації «food grade»:

1) харчові інгредієнти: ечний білок сухий (овоальбумінова фракція) з вмістом білків $88 \pm 2\%$ (BELOVO S. A., Бельгія), олію соняшникову (рафіновану, дезодоровану, заморожену), цукор білий, мигдаль очищений;

2) харчові добавки:

– дистильовані моногліцериди (GMS – Glycerol MonoStearate, E471) з йодним числом $3,0 \pm 0,1$ г I₂/100 г;

– натрій карбоксиметилцелюлоза (NaCMC – Natrium CarboxyMethyl Cellulose, E466), Бланоза 7Н4XF (Aqualon France B. V., Франція);

– ефір діацетилвинної кислоти й моно- та дигліцеридів жирних кислот (DATEM – DiAcetyl Tartaric acid Esters of Monoglyceride, E472a);

– натрій стеароїллактат (SSL – Sodium Stearoyl Lactylate, E481)-

Середній діаметр горіха подрібненого визначали за допомогою мікроскопа Биолам Р15 (Lomo, Росія) з цифровою камерою-окуляром ScopeTek DCM-130 E 1.3 Мр (Hangzhou Scopetek Opto-Electric Co., Ltd., Китай). Фотографування та обробку зображень здійснювали з

використанням програмного продукту Scope Photo 3.0 (Hangzhou Scopetek Opto-Electric Co., Ltd., Китай).

Граничне напруження зсуву міжфазних шарів (ГНЗ МШ) здійснювали на поверхневому віскозиметрі, конструкція якого наведена в [1]. Ефективну в'язкість визначали на віскозиметрі ВПН-0,2М (ВНДІХП, Росія).

4. 2. Підготовка зразків та методики дослідження

Жирові розчини ПАР отримували розчиненням у соняшниковій рафінованій олії при нагріванні до температури 65–70 °С.

Піноутворюючу здатність (ПЗ, %) визначали за формулою:

$$ПЗ = \frac{V_{п}}{V_{р}} \times 100, \quad (1)$$

де $V_{п}$ – об'єм піни, $см^3$; $V_{р}$ – об'єм розчину до збивання, $см^3$.

Розрахунок стійкості піни (СП, %) здійснювали за формулою:

$$СП = \frac{V_{к}}{V_{н}} \times 100, \quad (2)$$

де $V_{к}$ – об'єм піни через 1 год, $см^3$; $V_{н}$ – початковий об'єм піни, $см^3$.

Граничне напруження зсуву (ГНЗ) міжфазних шарів (МШ) визначали за [1]. Для визначення ГНЗ МШ використовували два кристалізатори, з'єднані трубкою, що моделюють наявність двох меж розділу фаз у досліджуваних системах. У кристалізатор наливали водний розчин білка, систему витримували протягом 2,5 годин за $t=20 \pm 1$ °С, після чого в один із кристалізаторів на поверхню розчину наливали соняшникову олію. Систему витримували протягом 2,5 годин за $t=20 \pm 1$ °С й визначали ГНЗ МАШ на межі вода-повітря та вода-олія.

Питомий об'єм випечених (М, $м^3/кг$) НФПГ визначали за відношенням об'єму зразка до його маси за [17].

4. 3. Статистична обробка експериментальних даних

Для статистичної обробки використовували одnofакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) для серії паралельних вимірів ($n=3-4$). Відмінність значень аналізували за t-тестом Стьюдента з статистичною значимістю ($p < 0,05$). Всі експериментальні величини приведені у вигляді $X \pm \Delta X$, де X – середнє значення експериментальної величини та ΔX – її довірчий інтервал. Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою програми Excel пакету Microsoft Office 2010 v.10 (Microsoft Corp., США) та IBM SPSS Statistic v. 20 (IBM Corp., США).

5. Розробка моделі стеричної стабілізації структури напівфабрикату повітряно-горіхового

Технологічний процес виробництва НФПГ за традиційною технологією передбачає збивання яєчного білка з цукром білим з вмістом останнього 10 %. Наступним є введення в одержану піну ГП, змішаного з 40–45 % цукровою пудрою. З наступним перемішуванням, дозуванням та випіканням. Основним недоліком

такої технології є низька стійкість піни. Причиною цього є тверді частинки горіхової сировини та краплини олії, які адсорбуються на міжфазній поверхні вода-повітря (рис. 1, а). Випікання такої піни значно знижує об'єм. Завадити адсорбції можливо введенням в систему необхідної кількості яєчного білка. Як слідство, відбувається утворення МШ на кожній межі розділу фаз: вода-повітря, вода-олія, вода-тверда речовина. Введення білка підвищує в'язкість середовища. Обидва фактори протидіють адсорбції. Але таке рішення з економічної точки зору є не доцільним.



Рис. 1. Просторове розміщення фаз в НФПГ: а – за традиційної технології; б – за реалізації моделі стеричної стабілізації

Більш раціональним підходом є введення окремих ПАР для кожного розділу фаз в системі. Це означає використання яєчного білка для піноутворення, низькомолекулярної ПАР для емульгування олії, а поверхнево-активних полісахаридів для підвищення в'язкості середовища. З технологічної точки зору такий підхід повинен забезпечити високе граничне напруження зсуву МШ на бульбашках повітря та жирових частинках. А також призвести до відсутності флоатції гідрофобних жирових та твердих частинок ГП. Обидва фактори дозволяють зменшити десорбцію білків із міжфазної поверхні вода-повітря за рахунок гідрофілізації інших дисперсних частинок.

Для реалізації цього підходу було запропоновано модель стеричної стабілізації структури НФПГ (рис. 1, б). Вона включає два механізми стабілізації. Перший з них, пов'язаний з емульгуванням та гідрофілізацією жирових частинок при додатковому введенні ПАР в олію. Другий механізм сприяє зменшенню флоатції зважених частинок ГП при підвищенні в'язкості дисперсійного середовища за рахунок використання стабілізатора з поверхнево-активними властивостями.

Важливим етапом в розробці розглянутої моделі є вибір стабілізатора. Для забезпечення високого питомого об'єму в якості останнього розглядалися камедь ксантана, аравійська камедь та нагрій карбоксиметилцелюлоза. Перші два представники не давали змоги отримати вироби с необхідними текстурними властивостями. Випечені вироби були м'якими, не було крихкості. Використання ж NaCMC забезпечувало необхідні текстурні властивості. Цей стабілізатор володіє необхідними поверхнево-активними власти-

востями та здатен адсорбуватися на межі розділу фаз вода-тверда частинка [18]. Це забезпечить протидію флотації дисперсних твердих частинках горіхової сировини.

За значного превалювання вмісту яєчного білка над вмістом NaСМС системи є термодинамічно не стійкими [19]. Цей фактор протидіє процесу десорбції білка з міжфазної поверхні вода-повітря в об'єм розчину в разі введення NaСМС в розчин збитого білка.

6. Обговорення результатів дослідження структури напівфабрикату повітряно-горіхового

6.1. Реологічні властивості міжфазних адсорбційних шарів

Попередні реологічні дослідження ГНЗ МШ на окремих розділах фаз вода-повітря та вода-олія не дали змогу виявити кореляцію зі стійкістю піни яєчного білка, що містить олію [3, 20]. Виходячи з цих закономірностей, було проведено дослідження МШ в системах, в яких окрім існування розділу фаз вода-повітря з'являється розділ фаз вода-олія. Виникнення нової поверхні розділу фаз ініціює процес конкурентної адсорбції.

ГНЗ МШ на межі розділу фаз води з повітрям при введенні олії в розчин яєчного білка (7,5 %) зменшується в 4,3 рази через 2,5 години (табл. 1). Подальше витримування системи практично не впливає на ГНЗ МШ. Зазначені результати корелюють з піноутворюючою здатністю та стійкістю піни на основі яєчного білка при введенні в систему олії [3].

Таблиця 1

Динаміка граничної напруги зсуву МШ на межі розділу фаз вода-повітря за введення в систему олії

Час, τ , год	0	1,0	1,5	2,0	2,5
ГНЗ, $P_s \times 10^3$, Н/м	0,4725	0,2625	0,21	0,1575	0,105

Введення ПАР в олію забезпечує екстремальний характер залежності ГНЗ МШ на межі розділу фаз вода-повітря (рис. 2). Так, максимальна ГНЗ МШ у системах, що містять GMS, досягається за вмісту 0,8 % (рис. 2, а). Практично така ж сама ГНЗ досягається у системах з DATEM за вмісту 0,075 %. На основі отриманих даних можна стверджувати, що за вмісту DATEM 0,6 % ГНЗ МШ відповідає ГНЗ МШ яєчного білка без використання ПАР. У разі використання SSL максимальна ГНЗ досягається за вмісту ПАР 0,6 %. Грунтуючись на принципах безпечності харчової продукції, піноутворюючої здатності, стійкості піни та ГНЗ МАШ, із досліджених ПАР було обрано GMS.

Одержані закономірності ГНЗ МШ від виду та вмісту ПАР дають змогу стверджувати, що введення ПАР у олію дозволяє підвищити ГНЗ МШ на межі з повітрям. Пояснення цьому факту в тому, що введення ПАР зменшує міжфазний натяг вода-олія, забезпечуючи гідрофілізацію жирової фази, і тим самим зменшуючи рушійну силу десорбції білка з міжфазної границі вода-повітря.

В рецептурному складі НФПГ вміст цукру складає 50–55 %, що може змінювати співвідношення яєчний білок та ПАР, за якого збільшується ГНЗ МШ. Так,

введення 10,0 % цукру до розчину яєчного білка 7,5 % забезпечує збільшення ГНЗ МШ на межі з повітрям у системах з двома розділами фаз вода-повітря та вода-олія. Максимальне значення ГНЗ МШ відповідає вмісту GMS 0,6–0,8 % (рис. 2, б). Збільшення вмісту цукру до 50,0 % сприяє збільшенню абсолютних значень ГНЗ МШ за вмісту GMS 0,6 %. Аналогічна тенденція щодо впливу цукру була відзначена в роботі [21] при вивченні модулю пружності міжфазного шару овоальбуміну. Як свідчить рис. 2, б, введення 0,6 % GMS у систему «яєчний білок-GMS-цукор» дозволяє збільшити ГНЗ МШ на межі розділу фаз вода-повітря в 4,4–6 разів порівняно із системами, які містять лише яєчний білок.

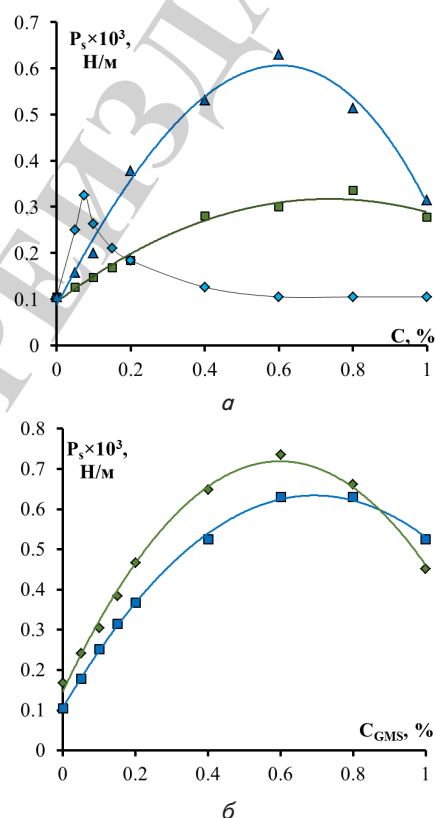


Рис. 2. Гранична напруга зсуву міжфазних шарів систем: а – «білок-ПАР» від вмісту ПАР на межі розділу фаз вода-повітря за вмісту ПАР: \square – GMS; \diamond – DATEM; Δ – SSL; б – «яєчний білок-ПАР-цукор» від вмісту GMS на межі розділу фаз вода-повітря за вмісту цукру, %: \square – 10,0; \diamond – 50,0

6.2. Раціональні параметри одержання напівфабрикату повітряно-горіхового

Для визначення раціональних параметрів збивання яєчного білка визначено вплив тривалості збивання на величину ПЗ 7,5 % розчину відновленого яєчного білка. Встановлено, що за тривалості збивання 8–10 хв та швидкості обертання робочого органу $n=18 \text{ c}^{-1}$ досягається максимальна ПЗ 629 % при СП 100 %. Введення ГП (мигдального) у кількості 20–40 % призводить до зниження об'єму піни з 320 до 110 % (табл. 2).

В експерименті як рецептурну суміш використовували модельну систему. Модельну систему одержували наступним чином: розчин, що містить 7,5 % білка яєчного та 10 % цукру, збивали. Потім додавали

30 % подрібненого мигдалю, який містить 0,6 % GMS та цукор (забезпечуючи вміст цукру у розчині 50 %). Зниження ПЗ можна розглядати як руйнування піни під час перемішування збитого розчину білка з ГП. Після припинення перемішування та подальшого вистоявання піна залишається стійкою.

Таблиця 2

Вплив вмісту $\omega_{\text{ГП}}$ ГП на параметри піни

$\omega_{\text{ГП}}$, %	20	25	30	35	40
ПЗ, %	320	260	210	160	110
СП, %	100	100	100	100	100

Встановлено, що рецептурна суміш з ПЗ, нижче 150 %, характеризуються низьким питомим об'ємом після випікання і не відповідає заданим показникам якості. З урахуванням цього раціональний вміст ГП складає 30–35 %. Такий вміст характерний і для традиційної технології НФПГ. Випечені напівфабрикати із вмістом ГП нижче 30 % характеризуються низькою інтенсивністю горіхового смаку. Тому зменшення вмісту горіхової сировини для підвищення стійкості піни є не раціональним з точки зору показників якості.

Виходячи з того, що ступінь подрібнення ГП визначає ПЗ та СП, визначено середній діаметр основної фракції ГП, що забезпечує максимальну ПЗ (табл. 3). Аналіз даних табл. 3 засвідчив, що максимальною ПЗ характеризуються системи, що містять ГП з середнім діаметром частинок 0,4 мм (вміст фракції більше 60 %). З подальшим збільшенням дисперсності ПЗ зменшується, ймовірно, через злипання частинок горіхової сировини. Зі зменшенням дисперсності зменшується як СП, так і ПЗ. Це пов'язано з тим, що значні розмірні характеристики горіхової сировини призводять до руйнування піни за рахунок седиментації.

Таблиця 3

Характеристики піни рецептурної суміші від середнього діаметра основної фракції частинок горіхової сировини

Середній діаметр, 10^{-3} , м	ПЗ, %	СП, %
0,2±0,1	142±7	99±1
0,4±0,1	210±11	99±1
0,6±0,1	155±8	99±1
0,8±0,1	112±6	94±1

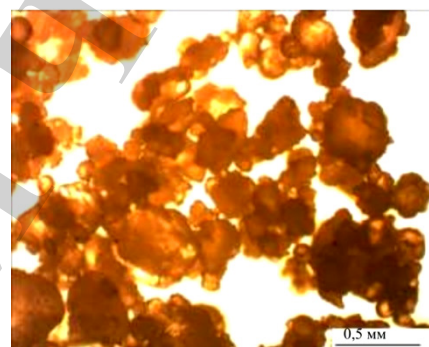
Додатково доведено, що за однакових умов додавання GMS під час подрібнення горіхової сировини сприяє збільшенню ступеня подрібнення та зменшенню злипання частинок (рис. 3).

Збільшення дисперсності частинок горіхової сировини за додавання GMS можна пояснити зменшенням міцності ГП в присутності ПАР (ефект Ребіндера). Факт зменшення злипання частинок є дією процесу кристалізацією жиру за рахунок високої температури плавлення GMS. Таким чином, GMS раціонально вводити під час подрібнення горіхової сировини для забезпечення підвищення дисперсності та зменшення аутогезії (злипання).

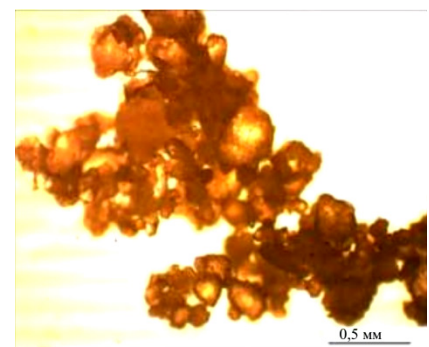
На адекватність раціонального обраного вмісту GMS вказують результати дослідження ПЗ та СП рецептур-

ної суміші з вмістом 30 % ГП (рис. 4, а). Встановлено, що введення 0,6 % GMS забезпечує 100 % ПЗ та ПЗ на рівні 210 %, що є задовільним результатом. Отже введення 0,6 % GMS позитивно впливає на ступінь подрібнення горіхової сировини, ПЗ та СП.

Вдосконалення технології НФПГ базується на забезпеченні стійкості піни для здійснення індустріального виробництва, яке передбачає механічне перемішування рецептурної суміші під час введення подрібненої горіхової сировини. Механічне перемішування забезпечує рівномірний розподіл ГП у системі за тривалості перемішування 1–2 хв за швидкості обертання робочого органу $n=3-4 \text{ с}^{-1}$. Однак за цих умов об'єм піни зменшується до величини 106–112 %. У ході експозиції рецептурної суміші протягом 1–2 години не виявлено подальшого руйнування піни: стійкість складає 100 %. Тобто використання GMS не забезпечує стійкості піни до механічної дії за наявності твердих частинок горіхової сировини. Таким чином, доведено необхідність введення стабілізатора NaCMS.



а



б

Рис. 3. Фотографії подрібненої горіхової сировини: а – з введенням GMS; б – без використання GMS

Введення NaCMS до рецептурної суміші за механічного перемішування протягом 1–2 хв за швидкості обертання робочого органу $n=3-4 \text{ с}^{-1}$ забезпечує збереження об'єму піни. Так, за вмісту NaCMS 0,15–0,25 % ПЗ складає 340 %, що в 3,1 рази вище, ніж без використання NaCMS (рис. 4, б). Імовірно, таку поведінку можна пояснити підвищенням в'язкості системи, що протидіє флоатції. На основі аналізу отриманих даних встановлено, що раціональним вмістом NaCMS з позиції піноутворюючої здатності є вміст 0,15–0,25 %.

Проведені реологічні дослідження показали, що ефективна в'язкість (при швидкості зсуву 100 с^{-1}) розчину білка 7,5 % із вмістом цукру 50 % після введен-

ня 30 % ГП знижується в 7,5 разів (табл. 4). Введення 30 % горіхового борошна в систему, яка містить 0,2 % NaСМС, призводить до незначного зниження ефективної в'язкості в 1,48 рази (табл. 4). Таким чином, темп зменшення ефективної в'язкості у 5,0–5,1 разів менше.

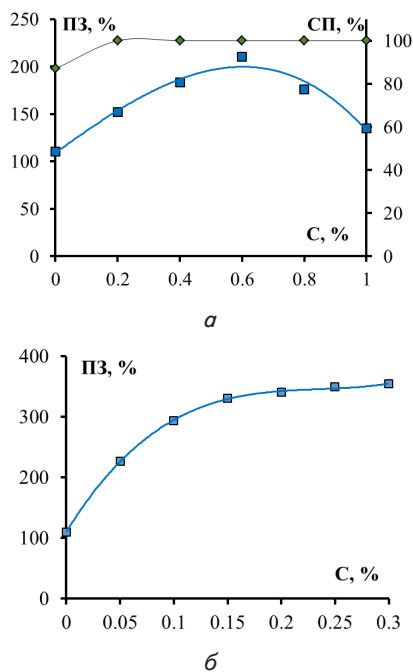


Рис. 4. Піноутворююча здатність (□) та стійкість піни (◇) рецептурної суміші: а – від вмісту GMS; б – від вмісту NaСМС (за вмісту GMS 0,6 %)

Таблиця 4

Вплив перемішування на ефективну в'язкість η рецептурної суміші

Найменування стану системи	Ефективна в'язкість, Па·с	
	без NaСМС	з NaСМС (0,2 %)
До перемішування	0,15	0,68
Після перемішування	0,02	0,46

Зниження ефективної в'язкості, ймовірно, пов'язано з тим, що за введенням ГП відбувається адсорбція білків яйця на поверхні твердих частинок. Це викликає зниження в'язкості. NaСМС адсорбується на твердих частинках, знижує різницю полярності між твердою та водною фазами. Це дозволяє зменшити десорбцію білка з поверхні розділу фаз вода-повітря, зменшити руйнування піни і забезпечити високу в'язкість системи, яка протидіє флоатації дисперсних частинок.

6. 3. Оцінка показників якості напівфабрикату повітряно-горіхового

Згідно традиційної технології температура випікання НФПГ становить 140–150 °С. У вдосконаленій технології температуру випікання не змінювали. Шляхом повнофакторного експерименту визначено раціональну тривалість термообробки залежно від різної маси тіста. При варіюванні маси тіста від 5 до 200 г тривалість термообробки становила 12–45 хв.

На рис. 5 приведені зразки НФПГ, отриманих за традиційної та вдосконаленою технологіями. Питомий

об'єм повітряно-горіхового напівфабрикату за традиційною технологією складає $M=3,1 \text{ м}^3/\text{кг}$.



Рис. 5. Зовнішній вигляд зразків напівфабрикату повітряно-горіхового: а – традиційна технологія; б – вдосконалена технологія

Шляхом органолептичної оцінки визначено раціональний питомий об'єм напівфабрикату повітряно-горіхового, що характеризуються максимальними показниками якості та становить $M=3,7 \text{ м}^3/\text{кг}$. Порівняння зазначених величин свідчить на користь зразка, отриманого за вдосконаленою технологією.

7. Висновки

1. Розроблено модель стеричної стабілізації для забезпечення стійкості харчових систем з декілька фазами у різних агрегатних станах. Модель забезпечує в технологічному процесі створення харчового продукту реалізацію двох важливих механізмів. Перший пов'язаний з забезпеченням високих значень реологічних показників міжфазних шарів. Високі значення величини граничної напруги зсуву міжфазних шарів забезпечують протидію потрапляння жирових або твердих частинок на міжфазну поверхню вода-повітря. Наслідком дії другого механізму є досягнення в системі необхідного значення в'язкості, що протидіє флоатації дисперсних частинок.

2. Практичне застосування розробленої моделі стеричної стабілізації показано на прикладі виробництва напівфабрикату повітряно-горіхового. Проведені дослідження підтвердили дію механізмів моделі стеричної стабілізації. Введення достатньої кількості поверхнево-активних речовин дозволило отримати міжфазні шари з високим граничним напруженням зсуву. Додаткове введення низькомолекулярних поверхнево-активних речовин в олію забезпечило збільшення граничного напруження зсуву міжфазних шарів на межі вода-повітря в системі з двома фазами. Використання натрій карбоксиметилцелюлози як стабілізатора дозволило забезпечити високу в'язкість дисперсійного середовища для протидії флоатації дисперсних частинок за механічної дії на систему. Розроблена модель може бути застосована і в інших технологіях виробництва продуктів харчування. Зокрема, це стосується технологій шоколадних бісквітів, горіхових бісквітів та інших піноподібних випечених напівфабрикатів.

3. Обґрунтовано раціональні параметри збивання яєчного білка. Тривалість збивання складає 8–10 хв при швидкості обертання робочого органу 18 с^{-1} . Збивання відбувається з вмістом 10 % цукру білого. Після чого вводиться 30–35 % горіха подрібненого. Показано, що подрібнення горіхової сировини з GMS до середнього діаметра частинок основної фракції 0,4 мм забезпечує високі характеристики процесу піноутворення. Встановлено, що введення 0,6 % GMS, та 0,2 % NaСМС

забезпечують стабілізацію структури напівфабрикату повітряно-горіхового до механічного перемішування. Зазначені вище чинники дозволяють отримати напівфабрикат повітряно-горіхового з необхідними органолептичними показниками.

4. Встановлено, що за удосконаленою технологією можна одержувати напівфабрикат повітряно-горіховий індустріальними методами з питомим об'ємом 3,7 м³/кг проти 3,1 м³/кг, одержаного за традиційною технологією.

Література

- Goralchuk, A. Developing a model of the foam emulsion system and confirming the role of the yield stress shear of interfacial adsorption layers to provide its formation and stability [Text] / A. Goralchuk, S. Omel'chenko, O. Kotlyar, O. Grinchenko, V. Mikhaylov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 3, Issue 11 (81). – P. 11–19. doi: 10.15587/1729-4061.2016.69384
- Goralchuk, A. Development of a theoretical model for obtaining the whipped emulsions from a dry fat-containing mixture and its experimental verification [Text] / A. Goralchuk, S. Gubsky, O. Tereshkin, O. Kotlyar, S. Omel'chenko, L. Tovma // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 2, Issue 10 (86). – P. 12–19. doi: 10.15587/1729-4061.2017.98322
- Товма, Л. Ф. Стабілізація структури повітряно-горіхових напів-фабрикатів поверхнево-активними речовинами [Текст] / Л. Ф. Товма, А. Б. Горальчук, О. О. Гринченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 1, № 10 (67). – С. 48–53. doi: 10.15587/1729-4061.2014.20069
- Seta, L. The effect of surfactant type on the rheology of ovalbumin layers at the air/water and oil/water interfaces [Text] / L. Seta, N. Baldino, D. Gabriele, F. R. Lupi, B. de Cindio // Food Hydrocolloids. – 2012. – Vol. 29, Issue 2. – P. 247–257. doi: 10.1016/j.foodhyd.2012.03.012
- Rouimi, S. Foam stability and interfacial properties of milk protein-surfactant systems [Text] / S. Rouimi, C. Schorsch, C. Valentini, S. Vaslin // Food Hydrocolloids. – 2005. – Vol. 19, Issue 3. – P. 467–478. doi: 10.1016/j.foodhyd.2004.10.032
- Murray, B. S. Stabilization of bubbles and foams [Text] / B. S. Murray // Current Opinion in Colloid & Interface Science. – 2007. – Vol. 12, Issue 4-5. – P. 232–241. doi: 10.1016/j.cocis.2007.07.009
- Ptaszek, P. The non-linear rheological properties of fresh wet foams based on egg white proteins and selected hydrocolloids [Text] / P. Ptaszek // Food Research International. – 2013. – Vol. 54, Issue 1. – P. 478–486. doi: 10.1016/j.foodres.2013.07.028
- Muthukumar, A. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling Part I Optimization of Egg White Foam Stability [Text] / A. Muthukumar, C. Ratti, V. G. S. Raghavan // Drying Technology. – 2008. – Vol. 26, Issue 4. – P. 508–512. doi: 10.1080/07373930801929581
- Zmudzinski, D. The role of hydrocolloids in mechanical properties of fresh foams based on egg white proteins [Text] / D. Zmudzinski, P. Ptaszek, J. Kruk, K. Kaczmarczyk, W. Roznowski, W. Berski et. al. // Journal of Food Engineering. – 2014. – Vol. 121. – P. 128–134. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.08.020
- Foegeding, E. A. Factors determining the physical properties of protein foams [Text] / E. A. Foegeding, P. J. Luck, J. P. Davis // Food Hydrocolloids. – 2006. – Vol. 20, Issue 2-3. – P. 284–292. doi: 10.1016/j.foodhyd.2005.03.014
- Eisner, M. D. Stability of foams containing proteins, fat particles and nonionic surfactants [Text] / M. D. Eisner, S. A. K. Jeelani, L. Bernhard, E. J. Windhab // Chemical Engineering Science. – 2007. – Vol. 62, Issue 7. – P. 1974–1987. doi: 10.1016/j.ces.2006.12.056
- Dickinson, E. Stabilising emulsion-based colloidal structures with mixed food ingredients [Text] / E. Dickinson // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2012. – Vol. 93, Issue 4. – P. 710–721. doi: 10.1002/jsfa.6013
- Allen, K. E. Acidified sodium caseinate emulsion foams containing liquid fat: A comparison with whipped cream [Text] / K. E. Allen, E. Dickinson, B. Murray // LWT – Food Science and Technology. – 2006. – Vol. 39, Issue 3. – P. 225–234. doi: 10.1016/j.lwt.2005.02.004
- Wierenga, P. A. Reconsidering the importance of interfacial properties in foam stability [Text] / P. A. Wierenga, L. van Norel, E. S. Basheva // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2009. – Vol. 344, Issue 1-3. – P. 72–78. doi: 10.1016/j.colsurfa.2009.02.012
- Day, L. Tailoring the digestion of structured emulsions using mixed monoglyceride-caseinate interfaces [Text] / L. Day, M. Golding, M. Xu, J. Keogh, P. Clifton, T. J. Wooster // Food Hydrocolloids. – 2014. – Vol. 36. – P. 151–161. doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.09.019
- Dickinson, E. Food emulsions and foams: Stabilization by particles [Text] / E. Dickinson // Current Opinion in Colloid & Interface Science. – 2010. – Vol. 15, Issue 1-2. – P. 40–49. doi: 10.1016/j.cocis.2009.11.001
- Апет, Т. К. Справочник технолога кондитерского производства. Т. 1 [Текст] / Т. К. Апет, З. Н. Пащук // Технологии и рецептуры. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 560 с.
- Bayol, E. Adsorption Behavior and Inhibition Corrosion Effect of Sodium Carboxymethyl Cellulose on Mild Steel in Acidic Medium [Text] / E. Bayol, A. Gurten, M. Dursun, K. Kayakirilmaz // Acta Physico-Chimica Sinica. – 2008. – Vol. 24, Issue 12. – P. 2236–2243. doi: 10.1016/s1872-1508(08)60085-6

19. Delben, F. Interaction of food polysaccharides with ovalbumin [Text] / F. Delben, S. Stefancich // Food Hydrocolloids. – 1998. – Vol. 12, Issue 3. – P. 291–299. doi: 10.1016/s0268-005x(98)00017-4
20. Товма, Л. Ф. Визначення закономірностей формування міжфазних адсорбційних шарів у технології повітряно-горіхового напівфабрикату [Текст] / Л. Ф. Товма, А. Д. Пуніна, А. Б. Горальчук // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – 2013. – Вип. 1 (17). – С. 109–115.
21. Yang, X. Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: Factors determining properties of wet and dry foams (cakes) [Text] / X. Yang, E. A. Foegeding // Food Hydrocolloids. – 2010. – Vol. 24, Issue 2-3. – P. 227–238. doi: 10.1016/j.foodhyd.2009.09.011

НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРВИЗДАНИЕМ

