

УДК 664.143

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-168-191

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО -МЕХАНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ТА ПІНОУТВОРЕННЯ ЗЕФІРНИХ МАС З РІЗНИМИ
СТРУКТУРОУТВОРЮВАЧАМИ ПРИ ВВЕДЕННІ В
РЕЦЕПТУРУ ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ “МАГНЕТОФУД”**

Цихановська І. В., к. х. н.

Українська інженерно-педагогічна академія

Тел.095-617-59-89

Євлаш В. В., д. т. н.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Тел.095-487-05-64,

Лазарева Т. А., д. пед. н.

Українська інженерно-педагогічна академія

Тел.066-748-42-93,

Шингісов А. У., д. т. н.

Південно-Казахстанський державний університет ім. М. Ауезова

Тел. (87252)21-19-84

Анотація – у статті наведено результати впливу харчової добавки “Магнетофуд” на показники піноутворення збивних кондитерських мас в технології зефіру (піноутворюючої здатності, піностійкості, густини, пластичної міцності, ефективної в’язкості, ступіня взбитості і кінетики об’єму у процесі зберігання). Доведена поверхнева активність наночастинок добавки “Магнетофуд”. Математичним моделюванням встановлені оптимальні показники збивних мас. Визначені перспективи використання добавки “Магнетофуд” для збивних кондитерських мас як стабілізатора та структуроутворювача піноподібних структур.

Ключові слова – піноутворення, зефір, збивні кондитерські маси, харчова добавка “Магнетофуд”, поверхнева активність, стабілізатор.

Постановка проблеми. Збивні кондитерські вироби (зефір, пастила, цукерки зі збивним корпусом) користуються високим попитом у населення [1–3]. Цінність їх обумовлюється значною часткою повітряної фази, високим ступенем її дисперсності, структурними властивостями. Низькі температурні режими, помірний механічний вплив, наявність пектинових речовин, здатних запобігти окисненню біологічно активних речовин при виробництві збивних кондитерських виробів, дозволяють максимально зберегти корисні

властивості внесених нутрієнтів [4].

В сучасних умовах виробництво і реалізація збивних кондитерських виробів на вітчизняному ринку підпорядковуються жорсткої, і постійно зростаючої конкуренції. У ситуації, що склалася (дефіцит вітчизняної сировини, значна частка імпортних інгредієнтів з високою вартістю та ін.), виробництва зефірної продукції шукають шляхи підвищення конкурентоспроможності готової продукції за рахунок поліпшення і стабілізації якості, зниження собівартості і подовження термінів зберігання збивних кондитерських виробів [2, 3].

У зв'язку з цим активно ведеться робота по використанню нових видів сировини і вдосконаленню технологій, заснованих на застосуванні харчових добавок вітчизняного виробництва мінерального походження, що дозволяють скоротити витрати при одночасному поліпшенні якості і розширенні асортименту збивної кондитерської продукції з подовженим терміном зберігання [5].

Виробництво збивних кондитерських виробів є складним, важким для управління процесом. Розширення й удосконалення їх виробництва вимагає пошуку спрощеної технології: скорочення тривалості технологічних стадій, у тому числі підготовчих операцій і структуроутворення збивних кондитерських виробів, скорочення виробничих площ і енергоресурсів, підвищення стабільності системи і поліпшення якості зефірної продукції [4].

У вирішенні проблем пошуку нових шляхів, сировинних компонентів, технологічних прийомів, розробки інноваційних технологій виробництва кондитерських виробів, що мають пінну або емульсійну структуру, великий внесок внесли роботи А. М. Дорохович, В. Ф. Перцевого, В. І. Оболкіної, Г. А. Магомедової, В. В. Румянцевої, Ю. В. Камбулової, Т. М. Аксьонової, Е. Н. Артемової, Chen Tung-Shan, M. A. Yoslyn, A. Lee, D. Storey та інших вчених. Однак, до сьогоднішнього дня можливість застосування нанопорошкових харчових добавок мінерального походження в якості піно- і структуроутворювача при виробництві збивних кондитерських виробів не розглядали.

“Магнетофуд” – харчова добавка [Патент UA № 126502, МПК А 23L 13/40, А23L 33/10. Харчова добавка “Магнетофуд”] може впливати на процеси структуроутворення желейних мас та піноутворення збивних мас при виробництві збивних кондитерських виробів, а також на показники якості готової продукції. Однак, ці дані відсутні і необхідні додаткові дослідження.

Добавка “Магнетофуд” має певний функціонально-технологічний потенціал та може як самостійно формувати структурно-механічні властивості желейних мас та пінних структур, так і впливати на геле- та піноутворювач, вступаючи з ними в хімічні і електростатичні взаємодії. Тому, харчова добавка “Магнетофуд” може виконувати одразу декілька технологічних функцій в системі:

виконувати роль стабілізатора і структуроутворювача (піно- та драглеутворювача). Хоча харчова добавка “Магнетофуд” не є поверхнево-активною речовиною, вона здатна стабілізувати дисперсні системи (емульсії, суспензії) завдяки її структуруючих і тиксотропних властивостей, перешкоджаючи їх поділу. Зміна текучих властивостей рідкої дисперсної системи в присутності харчової добавки “Магнетофуд” призводить не тільки до стабілізації системи, але і до формування певної консистенції у гелях та пінах. Функціонально-технологічні властивості добавки “Магнетофуд” у харчових системах включають: вологозв’язуючу та вологоутримуючу здатність; стабілізацію емульсій і суспензій; регулювання текучих властивостей; утворення стійких гелів та пін при кімнатній температурі. Тиксотропні властивості гелів та пін з використанням харчової добавки “Магнетофуд” проявляються в оборотних змінах структури гелю та піни при їх деформації і наступному знятті механічного навантаження [6–11].

Таким чином, використання харчової добавки “Магнетофуд” в технологіях зефірної продукції як структуроутворювача і стабілізатора, на наш погляд, дозволить вирішити наступні завдання: поліпшити структурно-механічні показники та споживчі властивості зефірних виробів; ущільнення консистенції, збільшення пористості, надання еластичності і швидкого відновлення своєї форми після легкого натискання; зменшення синерезису при зберіганні продукції.

Тому вивчення впливу харчової добавки “Магнетофуд” на структурно-механічні властивості біло-рожевого зефіру з різними структуроутворювачами, зокрема на процеси піноутворення, є своєчасним і актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Значна частка повітряної фази і, як наслідок, висока пористість зефірних виробів, досягається збиванням яєчного білка до стану стійкої піни. Якість кінцевого продукту в значній мірі визначається якістю білкової піни, тому питання підвищення піноутворюючої здатності яєчного білка і поліпшення реологічних характеристик піни приділяється підвищена увага [4].

Факторами, що впливають на утворення і стабільність піни яєчного білка, є: курячий і яєчний вік, умови зберігання, швидкість і час збивання, температура, пастеризація, рН, вміст сухих речовин, присутність яєчного жовтка або ліпідів, сіль, цукор, харчові добавки, стабілізатори, поверхнево-активні сполуки, іони металів, протеолітичні ферменти [12–14].

Встановлено, що стабільність піни яєчного білка була найвищою при рН 8,6; найвища піноутворююча здатність – при рН 4,8, а найнижча – при рН 10,7.

Виявлено, що додавання в яєчний білок сахарози, лактози, декстрози і мальтози, а також ксантану, гліцерину, сорбіту або інших

хімічних речовин, які збільшують в'язкість яєчного білка, покращують стабільність піни, але знижують піноутворюючу здатність яєчного білка [12, 13].

Низкою дослідників доведено, що металеві катіони можуть впливати на функціональні характеристики яєчного білка через здатність овотрансферина взаємодіяти з багатьма полівалентними катіонами, включаючи алюміній, мідь, залізо, цинк, утворюючи з ними комплекси з підвищеною термостабільністю. В результаті покращується піноутворююча здатність яєчного білка і підвищується стійкість пінних структур [12, 15]. Овотрансферин міститься в яєчному білку в кількості близько 13% і має кращу піноутворюючу здатність у порівнянні з іншими білковими речовинами яєчного білка. Але його денатурація починається при низькій температурі (53 °C) і навіть м'яка термічна обробка, наприклад пастеризація яєчного білка, може привести до пошкодження його функціональних властивостей. Однак, комплексоутворення овотрансферину з катіонами металів покращує стійкість білка в напрямку термоіндукованої денатурації і протеолізу [16].

Встановлено, що фосфатна і лимонна кислоти також мають спорідненість до овотрансферину. Тому додавання їх солей збільшує температуру денатурації овотрансферина, покращуючи піноутворюючу здатність яєчного білка [17]. При цьому стабільність пінної структури збільшується незначно.

Успішно використовуються тринатрійфосфат, пірофосфат, гексаметафосфат і інші фосфати натрію для підвищення піноутворюючої здатності яєчного білка [17, 18]. Однак, міцність пінної структури недостатня.

Відомо застосування продуктів переробки яєць, зокрема яєчної шкаралупи, в технології збивних кондитерських виробів для підвищення піноутворюючої здатності яєчного білка [19]. При цьому стійкість пінної структури не стабільна.

З метою підвищення здатності піноутворення яєчного білка в нього також додають різні овочеві та фруктові пюре, зокрема пюре фейхоа, ківі, топінамбура і ін. [20–22]. Однак, стійкість пінної структури практично не поліпшувалася і зі збільшенням вмісту фруктового компонента піноутворююча здатність системи знижувалася при одночасно відчутному зменшенні її в'язкості.

Останнім часом з метою підвищення стійкості білкових пін як стабілізатор поверхні розділу фаз повітря-вода широко застосовують бінарні суміші біополімерів, що складаються з білка і одного полісахариду (β -лактоглобулін + аравійська камедь, β -лактоглобулін + пуллулан, ізолят сироваткового білка + аравійська камедь, альбумін яєчного білка + пектин і т. д.) [23, 24]. Бінарні білок-полісахаридні суміші (БПС) формують міцніші міжфазні плівки, ніж просто білковий стабілізатор [25–28].

Для поліпшення піноутворюючої здатності яєчного білка використовують екстракт насіння льону [29]. Позитивний ефект пов'язують з утворенням стійких білково-полісахаридних комплексів між протеїнами яйця і слизу льносемян. Однак, при збільшенні змісті екстракту льносемян більше 50% піноутворююча здатність і стійкість пінної структури дещо знижувалася.

В даний час для стабілізації структурно-механічних властивостей збивних кондитерських виробів, зокрема, для підвищення піноутворюючої здатності яєчного білка, застосовують сировину, отриману з зернових культур (вівса, ячменю, сої) [30, 31], а також харчові добавки рослинного походження: лікарські та пряно-ароматичні трави у вигляді порошків або екстрактів, овочеві та плодово-ягідні порошки [32]. Однак, ці інгредієнти недостатньо підвищують стійкість пінної структури.

Аналіз інформаційних джерел [5, 12–32] показує відсутність даних про піноутворення яєчного білку з використанням нанопорошкових добавок, що поліпшують піноутворюючу здатність яєчного білку та підвищують стабільність пінної структури. Як структуроутворювач та стабілізатор харчових білкових систем нами розроблено та запропоновано харчову добавку “Магнетофуд” [ТУ У 10.8-2023017824-001:2018]. Це ультратонкий порошок з великою питомою і високо активною поверхнею.

У харчових системах “Магнетофуд” проявляє сорбційні, комплексоутворюючі, вологозв'язуючі, вологоутримуючі, жирутримуючі, стабілізуючі, структуруючі властивості [6–11].

У зв'язку з цим актуальним є дослідження піноутворення та структурно-механічних показників зефірних мас з різними структуроутворювачами при введенні в рецептуру харчової добавки “Магнетофуд”.

Метою роботи є дослідження піноутворення та структурно-механічних властивостей зефірних мас при введенні в систему харчової добавки “Магнетофуд”.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

– дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на піноутворюючу здатність та піностійкість дослідних зразків яєчного білка;

– дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на ступінь взбитості і кінетику об'єму дослідних зразків збивних мас;

– дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на мікроструктуру та розподіл пухирців повітря за діаметром в дослідних зразках збивних мас;

– дослідити вплив пектину та агару на піноутворюючу здатність та піностійкість у дослідних зразках композиції «яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”»;

- дослідити поверхнево-активні властивості компонентів композиції «гелеутворювач-яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”»;
- дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на густину дослідних зразків збивних мас від тривалості збивання;
- дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на пластичну міцність дослідних зразків збивних мас в процесі вистойки;
- дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на ефективну в’язкість дослідних зразків збивних мас від градієнта швидкості зсуву;
- провести оптимізацію процесу збивання шляхом експериментального моделювання.

Основна частина. У якості базової рецептури зефіру біло-рожевого на агарі і пектині (контроль) було обрано рецептури № 95 та № 126 [33], які наведені в табл. 1. У табл.1 також наведено рецептури з різною масовою часткою харчової добавки “Магнетофуд” (дослід).

Таблиця 1 – Рецептури зефіру біло-рожевого на агарі і пектині (контроль) та з різною масовою часткою харчової добавки “Магнетофуд” (дослід)

Найменування сировини	Витрати сировини на 1 т готової продукції, кг							
	зразки зефіру на агарі				зразки зефіру на пектині			
	№ 1 контроль	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5 контроль	№ 6	№ 7	№ 8
Цукор-пісок	673,0	672,0	671,5	671,0	671,0	670,0	670,5	669,0
Цукрова пудра	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9
Патока	139,4	139,4	139,4	139,4	142,9	142,9	142,9	142,9
Пюре яблучне	390,0	390,0	390,0	390,0	298,0	298,0	298,0	298,0
Білок яєчний	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0
Агар	8,6	8,6	8,6	8,6	–	–	–	–
Пектин яблучний	–	–	–	–	13,4	13,4	13,4	13,4
Кислота молочна	11,8	11,8	11,8	11,8	8,4	8,4	8,4	8,4
Лактат натрію	–	–	–	–	6,8	6,8	6,8	6,8
Есенції різні	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Барвник червоний	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Харчова добавка “Магнетофуд”	–	1,0	1,5	2,0	–	1,0	1,5	2,0

Дослідні зразки яєчного білка:

- дослідний зразок 9 – контроль – 30 %-ий водний розчин сухого яєчного білку [ГОСТ 30363-2013];
- дослідний зразок 10 – 30 %-ий водний розчин сухого яєчного білку з введенням харчової добавки “Магнетофуд” у кількості 0,10 % до маси сухого яєчного білка;
- дослідний зразок 11 – 30 %-ий водний розчин сухого яєчного

білку з введенням харчової добавки “Магнетофуд” у кількості 0,15 % до маси сухого яєчного білка;

– дослідний зразок 12 – 30 %-ий водний розчин сухого яєчного білку з введенням харчової добавки “Магнетофуд” у кількості 0,20 % до маси сухого яєчного білка.

Піноутворюючу здатність яєчного білка та збивних мас визначали за методом Лур’є [34]. Зміну стійкості піни фіксували по осіданню стовпа піни в часі. Поверхнево-активні властивості оцінювали за величиною поверхневого натягу, що визначали за методом Дю-Нуї на тензіометрі Kruss [35]. Кратність піни й об’ємна концентрація повітря в масі визначалися розрахунковим шляхом з урахуванням обсягу піни. У роботі використовували оптичний метод аналізу мікроструктури збивної маси, заснований на обробці зображення, отриманого на просвіт у світлому полі електронного мікроскопа, із застосуванням персонального комп’ютера. Зефірну масу отримували та процес піноутворення вивчали на розробленій експериментальній збивальній установці. Структурно-механічні характеристики збитих зефірних мас досліджували за допомогою стандартних та загально прийнятих методів [35]. Міцність збивних мас досліджували за граничною напругою зсуву – на пенетрометрі AP-4/1; реологічні властивості – визначали на приладі Реотест-2. Оптимізацію процесу збивання здійснювали шляхом експериментального моделювання з метою одержання критеріального рівняння, що описує процес збивання.

На формування структури збивних мас істотно впливає піноутворююча здатність білка (ПЗ), яка залежить як від його концентрації, фракційного складу і будови, так і від температури, присутності солей, сахарози, харчових волокон і ін. [36]. Тому в роботі вивчали вплив харчової добавки “Магнетофуд” на піноутворюючу здатність (ПЗ) та стабільність (стійкість) піни (СП) дослідних зразків яєчного білка (рис. 1 та рис. 2 відповідно).

З даних рис. 1 випливає, що введення в яєчний білок харчової добавки “Магнетофуд” у кількості (0,10–0,20) % до маси сухого яєчного білку збільшує ПЗ системи «білок-НЧ“Магнетофуд”» на (8,3–11,3) %, що пов’язано зі здатністю поляризованих наночастинок (НЧ) харчової добавки “Магнетофуд” зменшувати поверхневий натяг розчину білка і прискорювати коагуляцію білкових молекул, що призводить до збільшення в розчині білка об’ємної концентрації повітряної фази і зменшення розміру бульбашок повітря. При використанні добавки “Магнетофуд” за рахунок амфотерності її наночастинок змінюється активна кислотність системи «білок-НЧ “Магнетофуд”» [8, 11] в бік, близький до ізоелектричної точки білка, в якій проявляється максимальна ПЗ білкових розчинів [36].

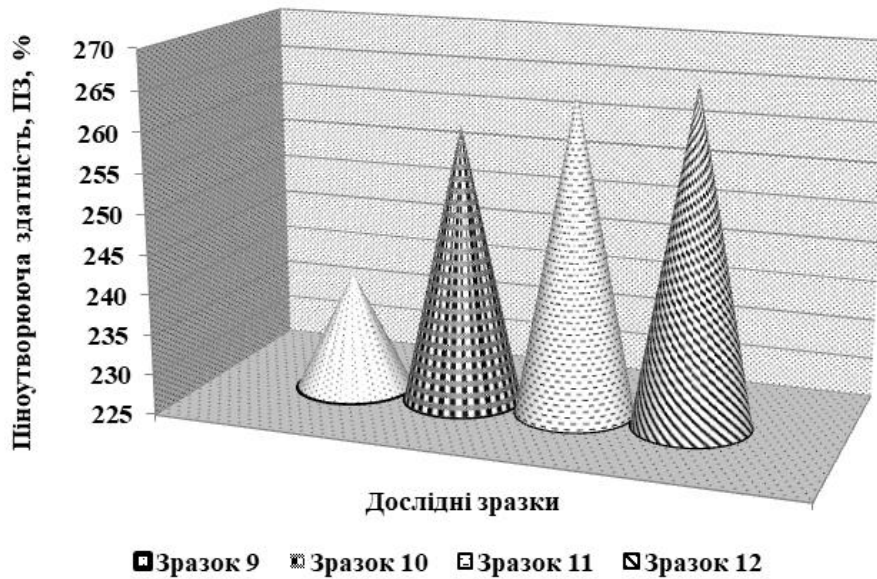


Рис. 1. Піноутворююча здатність яєчного білка ($t=20\pm 2$ °С, $pH=4,8$) при введенні в систему харчової добавки “Магнетофуд”.

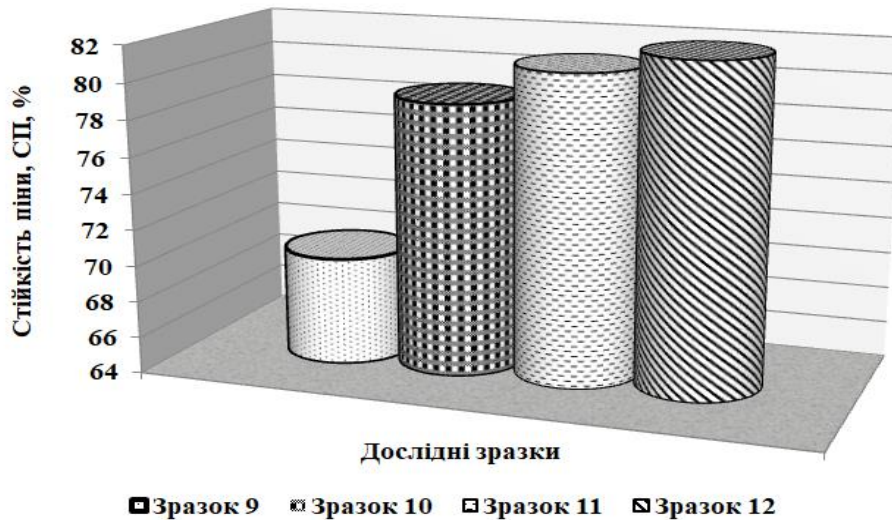


Рис. 2. Стійкість піни яєчного білка ($t=20\pm 2$ °С, (час витримки зразків $\tau=30\times 60$ с) при введенні в систему харчової добавки “Магнетофуд”.

Введення в яєчний білок харчової добавки “Магнетофуд” у кількості (0,10–0,20) % до маси сухого яєчного білку збільшує СП системи «білок-НЧ“Магнетофуд”» на (12,6–17,1) % (рис. 2). Що пов’язано з наявністю на поверхні розділу фаз в адсорбційному шарі наночастинок добавки “Магнетофуд” з активною розвиненою поверхнею, які збільшують силу зчеплення між молекулами білка – в результаті рухливість рідини падає, сповільнюється її стікання в плівці, запобігаючи тим самим коалесценцію бульбашок піни [37]; також, збільшується в’язкість рідини в плівках піни, що уповільнює їх руйнування і підвищує стабільність (або стійкість) піни (див. рис. 2).

З урахуванням того, що кислотність середовища значно впливає на електростатичну взаємодію і властивості білкових

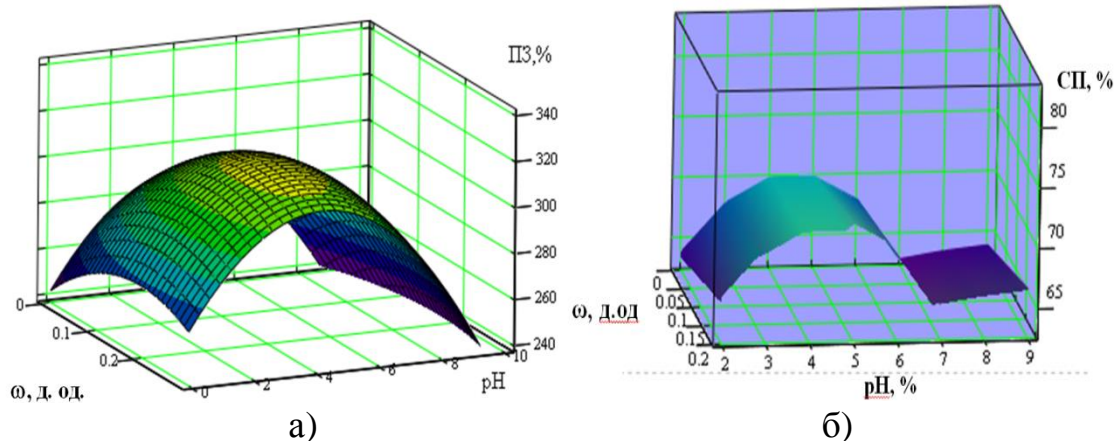
молекул, далі досліджено вплив рН середовища на піноутворюючу здатність яєчного білка в дослідних зразках 9–12. Картина залежності піноутворюючої здатності (ПЗ) і стабільності піни (СП) системи «білок-НЧ“Магнетофуд”» у дослідних зразках 9–12 від значень рН встановлювалася із застосуванням елементів статистичної обробки даних. В результаті отримані рівняння регресії (1) і (2), які адекватно описують взаємозв'язок між піноутворювальними властивостями і рН середовища при різній масовій частці харчової добавки “Магнетофуд”:

$$\text{ПЗ} = 166.7778 + 406.6667x + 57.0556y - 0,306xy - 1200x^2 - 6.0556y^2, \quad (1)$$

$$\text{СП} = 64.3523 + 145.5146x + 1.6189y + 2.4864xy - 517.6136x^2 - 0.1963y^2, \quad (2)$$

де x – рН; y – масова частка харчової добавки “Магнетофуд”, д. од.

З графічних зображень залежностей ПЗ (рис. 3, а) і СП (рис. 3, б) від значень рН середовища видно, що для 100% яєчного білка (зразок 10 – контроль) величини ПЗ і СП при значеннях рН від 2 до 9 змінювалися на 22,6% і на 5,6% відповідно, тоді як в системі «яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”» (зразки 10–12) зі збільшенням масової частки добавки “Магнетофуд” ці показники змінювалися в середньому на 19,8% і на 3,1% відповідно. Тобто, при введенні добавки “Магнетофуд” вплив рН на піноутворюючі властивості яєчного білка менш значний, що пов'язано зі стабілізуючою дією харчової добавки “Магнетофуд”.



а) – піноутворюючу здатність (ПЗ); б) – стабільність піни (СП).

Рис. 3. Залежність піноутворюючих властивостей дослідних зразків композиції «яєчний білок-НЧ “Магнетофуд”» від рН середовища і масової частки харчової добавки “Магнетофуд”, ω , %.

З рис. 3 випливає, що стабільність піни (СП) і піноутворююча здатність (ПЗ) яєчного білка в дослідних зразках 9–12 були максимальними при рН = 5,0; в області значень рН близько 7 обидва ці показники різко знижувалися, а при рН понад 7 злегка збільшувалися.

Стабільність піни композиції «яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”» підвищувалася зі збільшенням масової частки добавки “Магнетофуд”. Найстабільнішою піна утворювалася при $pH = 4,806$ масовій частці “Магнетофуд” 0,155 % до маси сухого яєчного білка. Мабуть, саме в кислому середовищі молекули яєчного білка набували конформацію, яка найбільшою мірою сприяла максимальному прояву поверхнево-активних властивостей, необхідних для утворення стійкої піни. Таким чином, оптимальні значення для піноутворюючої здатності (ПЗ): вміст харчової добавки “Магнетофуд” – $\omega = 0,161$; $pH = 4,904$; для стабільності піни (СП) – $\omega = 0,159$; $pH = 4,896$.

Ступінь взбитості і кінетика об’єму збивної маси протягом зберігання являються важливими технологічними властивостями зефірних мас. Релаксація величини в’язкості відбувається за 1,2·60 с, що характерно для піноподібних систем. Встановлено, що як контрольні зразки (1, 5), так і дослідні збільшували свій об’єм однаково. Результати дослідження впливу харчової добавки “Магнетофуд” на кінетику об’єму дослідних зразків зефірних мас протягом 90 діб зберігання показані в табл. 2.

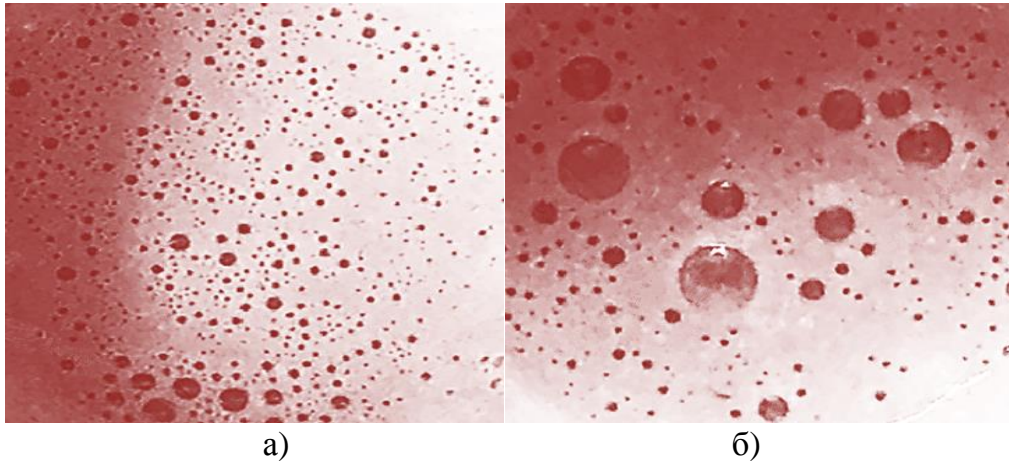
Таблиця 2 – Кінетика об’єму дослідних зразків зефірних мас при зберіганні

Тер- мін збері- гання доба	Об’єм дослідних зразків зефірних мас, см ³							
	Зразок 1 (конт- роль)	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5 (конт- роль)	Зразок 6	Зразок 7	Зразок 8
0	100±0,8	100±0,8	100±0,8	100±0,8	100±0,8	100±0,8	100±0,8	100±0,8
10	81,7±0,8	90,8±0,8	98,2±0,8	98,6±0,8	80,4±0,8	89,6±0,8	97,2±0,8	97,6±0,8
40	76,4±0,8	86,4±0,8	93,6±0,8	94,0±0,8	75,2±0,8	85,4±0,8	92,8±0,8	93,4±0,8
60	68,2±0,8	79,0±0,8	86,8±0,8	87,0±0,8	67,0±0,8	78,2±0,8	85,6±0,8	86,2±0,8
90	67,2±0,8	74,5±0,8	84,0±0,8	84,2±0,8	66,8±0,8	73,0±0,8	82,6±0,8	83,0±0,8

Експериментальні дані (табл. 2) показують, що при введенні харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20)% до маси сировини спостерігається ефект стабілізації структури дослідних зразків зефірних мас. Це пов’язано зі структуруючою, стабілізуючою і вологоутримуючою дією наночастинок добавки “Магнетофуд”, що сприяє піноутворенню і фіксації пухирців повітря в системі.

Оскільки піноподібні системи, до яких відносять дослідні зразки зефірних мас, характеризуються такими показниками як розмір і концентрація повітряних пухирців в системі, проведено дослідження і ідентифікація дослідних зразків збивних мас: за розміром, кількістю повітряних пухирців і розподілом їх по радіусах.

Результати мікроскопічних досліджень представлені на рис. 4.



а) – зразок 3 – з добавкої “Магнетофуд”, б) – зразок 1 – без добавки “Магнетофуд”.

Рис. 4. Мікрофотографії дослідних зразків збивних мас.

На мікрофотографіях (рис. 4 а, б) видно, що в даних мікроструктурах повітряні пухирці ідентифікуються у вигляді ідеально сферичних форм, які розподілені за об’ємом. Причому, введення харчової добавки “Магнетофуд” сприяє утворенню більш дрібних повітряних пухирців і більш рівномірному розподілу їх по всьому об’єму збивної маси (зразок 3, рис. 4, б) в порівнянні з контролем (зразок 1, рис. 4, а). Ідентифікація пухирців повітря допомогла визначити їх розміри і кількість. Результати розподілу пухирців повітря за діаметром показані на рис. 5.

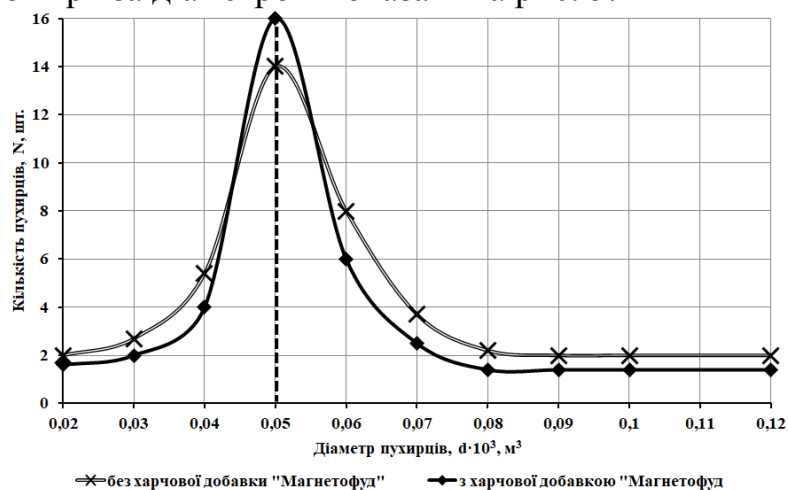


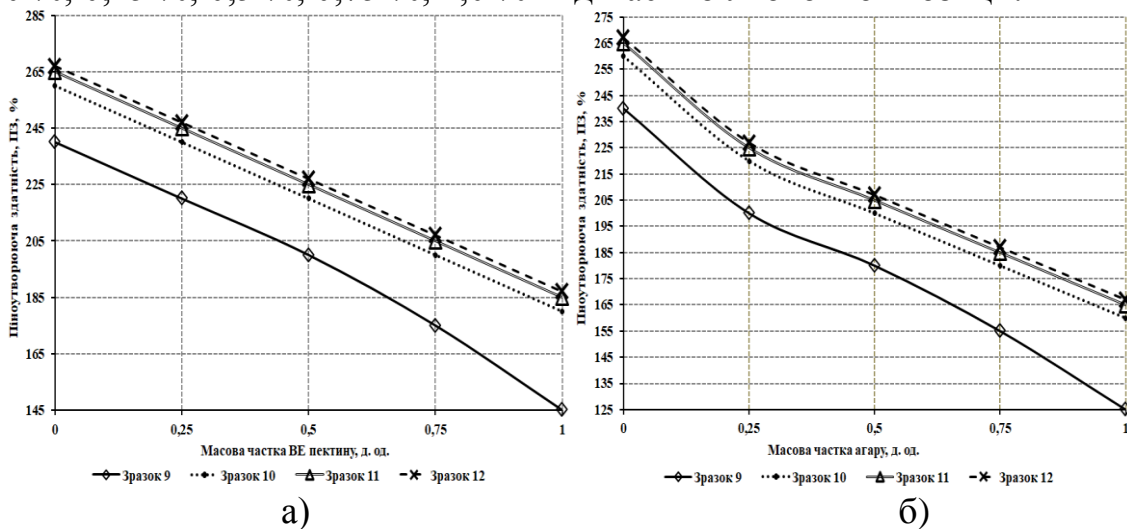
Рис. 5. Розподіл повітряних пухирців за діаметром у дослідних зразках збивних мас.

З рис. 5 видно, що максимальна кількість повітряних пухирців має діаметр $r = 0,05$ мм і становить 16 одиниць (з 46 одиниць). Питома густина частинок становить $26 \cdot 10^6$ штук в 1 м^2 площині дослідження. Також видно, що введення харчової добавки “Магнетофуд” сприяє більш вузькому розподілу пухирців повітря за діаметром у порівнянні з контрольним зразком.

Узагальнюючи дані по стабільності піни і розподілу пухирців повітря за діаметром можна відзначити, що функціональність харчової добавки “Магнетофуд”, в цьому випадку, відбивається в першу чергу на зниженні поверхневого натягу. Руйнування пін обумовлено процесами дифузії повітря, стиканням рідини із стінок пухирців (в’язкістю рідини) і укрупненням пухирців через злиття. Досить вузький пік, як для контрольного, так і для дослідного зразка з добавкою “Магнетофуд” вказує на рівномірну збитість зефірної маси. Однак, через більшу в’язкість і меншим за величиною поверхневим натягом, піностійкість в дослідному зразку з добавкою “Магнетофуд” вища.

Таким чином, введення харчової добавки “Магнетофуд” у кількості 0,15 % від маси рецептурної суміші стабілізує пінну структуру зефірних мас, в тому числі протягом встановлених регламентом термінів зберігання.

На рис. 6 наведено вплив гелеутворювачів (ВЕ пектину та агару) на піноутворюючу здатність (ПЗ) у дослідних зразках (9–12) композиції «ячний білок-НЧ“Магнетофуд”» з різною кількістю: 0 %; 0,25 %; 0,5 %; 0,75 %; 1,0 % від маси білкової композиції.

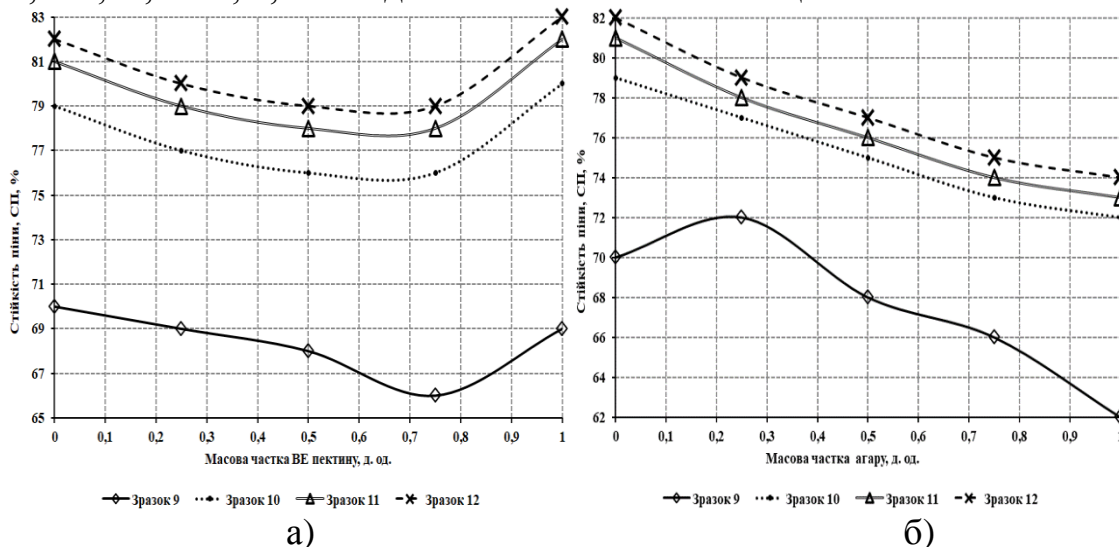


а) – з ВЕ пектином; б) – з агаром.

Рис. 6. Залежність піноутворюючої здатності від кількості гелеутворювача дослідних зразків композиції «ячний білок-НЧ "Магнетофуд"».

З експериментальних даних (рис. 6) випливає, що присутність гелеутворювачів зі збільшенням їх дозувань від 0,25 % до 1,0 % від маси білкової композиції знижує ПЗ у дослідних зразках системи «ячний білок-НЧ“Магнетофуд”» з (260–267)% до (180–187)% – на пектині й до (160–167)% – на агарі. Причому, ПЗ в дослідних зразках на пектині була більше в середньому на 20% у порівнянні з дослідними зразками на агарі.

На рис. 7 наведено вплив гелеутворювачів (ВЕ пектину та агару) на стійкість піни (СП) у дослідних зразках (9–12) композиції «яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”» з різною кількістю: 0 %; 0,25 %; 0,5 %; 0,75 %; 1,0 % від маси білкової композиції.



а) – з ВЕ пектином; б) – з агаром.

Рис. 7. Залежність стійкості піни від кількості гелеутворювача дослідних зразків композиції «яєчний білок-НЧ“Магнетофуд”».

З даних (рис. 7) очевидно, що під впливом гелеутворювачів: ВЕ пектину і агару виявлено зниження стійкості піни (СП) у дослідних зразках білково-магнетофудової системи: на пектині – з (79–82) % до (76–79) % з подальшим зростанням до (80–83)%; на агарі – з (79–82) % до (72–74)% і подальшого поліпшення показника (СП) не спостерігалось. При цьому, СП в дослідних зразках на ВЕ пектині була більше в середньому на 12% у порівнянні з дослідними зразками на агарі.

Аналіз ПЗ і СП (рис. 6 і рис. 7) показує, що гелеутворювачі (ВЕ пектин та агар) негативно впливають на ПЗ і СП у дослідних зразках яєчного білка (9–12), а введення в систему “геле-піноутворювач” наночастинок харчової добавки “Магнетофуд” сприяє збільшенню піноутворюючої здатності і стабільності піни яєчного білка. Позитивний вплив харчової добавки “Магнетофуд” пов’язано зі зміною активної кислотності розчину яєчного білка в сторону, близьку до ізоелектричної точки білка, в якій проявляється максимальна ПЗ білкових розчинів; а також з наявністю на поверхні розділу фаз в адсорбційному шарі наночастинок добавки “Магнетофуд”, які володіють розвиненою активною поверхнею і здатністю збільшувати силу зчеплення між молекулами, що приводить до зниження рухливості рідини і уповільнення її стікання в плівці, запобігаючи тим самим коалесценцію пухирців піни. Кращі

результати виходять при вмісту добавки “Магнетофуд” в кількості 0,15 % до маси сухого яєчного білка (зразок 11).

Для теоретичного обґрунтування взаємодії компонентів композиції «гелеутворювач-яєчний білок-НЧ “Магнетофуд”» вивчали їх поверхнево-активні властивості методом поверхневого натягу в розчинниках, що розривають водневі (вода), іонні (0,05 н розчин NaCl) і гідрофобні взаємодії (70 %-й етанол, 1 %-й ДДС-Na). Результати досліджень представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Поверхневий натяг розчинів компонентів композиції «гелеутворювач-яєчний білок-НЧ “Магнетофуд”»

Склад композиції	Поверхневий натяг, mN/m			
	Розчинник			
	H ₂ O	0,05н NaCl	70% етанол	1% ДДС-Na
Розчинник	72,8±0,1	74,0 ±0,2	28,9 ±0,2	39,0 ±0,1
Харчова добавка “Магнетофуд” (ХДМ)	65,0 ±0,1	63,0 ±0,2	28,7 ±0,3	38,5 ±0,2
ВЕ пектин	55,0 ±0,2	58,0 ±0,3	29,0 ±0,2	36,7 ±0,1
Агар	61,0 ±0,1	55,0 ±0,2	29,0 ±0,1	35,0 ±0,3
ХДМ + ВЕ пектин	57,5 ±0,1	59,8 ±0,2	29,0 ±0,3	37,0 ±0,2
ХДМ + агар	62,8 ±0,1	57,5 ±0,3	28,7 ±0,2	34,0 ±0,2
Яєчний альбумін (ЯА)	51,0 ±0,2	48,0 ±0,3	28,8 ±0,3	35,0 ±0,2
Яєчний альбумін + ХДМ	53,0 ±0,2	50,5 ±0,2	28,5 ±0,2	34,0 ±0,2
ЯА + ХДМ + ВЕ пектин	58,0 ±0,2	60,0 ±0,2	29,7 ±0,3	36,8 ±0,2
ЯА + ХДМ + агар	53,5 ±0,2	51,0 ±0,3	29,3 ±0,2	35,6 ±0,2

Аналіз величин поверхневого натягу (табл. 3) показав, що при додаванні харчової добавки “Магнетофуд” в H₂O і в 0,05н NaCl величина поверхневого натягу колоїдного розчину знижувалася на 10,7 % та 14,9 % відповідно у порівнянні з вихідними розчинниками. Це вказувало на реакційний потенціал розвиненої поверхні наночастинок харчової добавки “Магнетофуд”. ВЕ пектин, агар і яєчний альбумін також знижували поверхневий натяг розчинів, що свідчило про наявність у них поверхнево-активних властивостей.

При додаванні харчової добавки “Магнетофуд” в 70% етанол і в 1% ДДС-Na величина поверхневого натягу колоїдного розчину знижувалася значно менше, ніж у воді або розчині солі, – всього лише на 0,7 % та 1,3 % відповідно у порівнянні з вихідними розчинниками. Отже, гідрофобні властивості у харчової добавки “Магнетофуд” виражені менш яскраво, ніж гідрофільні.

В цілому ж, добавка “Магнетофуд” менш поверхнево активна: на (11–13) %, ніж ВЕ пектин; на (6–10) %, ніж агар і на (19–25)%, ніж яєчний альбумін. До водневих і іонних взаємодій більш схильні: ВЕ пектин і яєчний альбумін; до гідрофобних взаємодій – агар і яєчний альбумін.

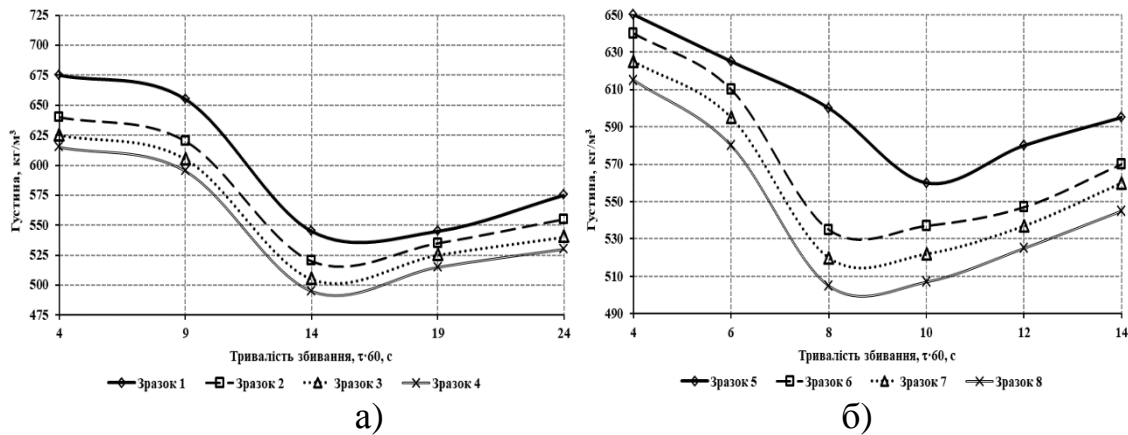
Поверхневий натяг в композиціях «гідроколоїд-НЧ“Магнетофуд”» як у водних, так і сольових розчинах наближався до поверхневого натягу одного гідроколоїду (ВЕ пектину або агару), різниця в значеннях становила (3,0–4,5) %, що вказувало на взаємодію між наночастинками добавки “Магнетофуд” і полісахаридом за рахунок нековалентних зв’язків і переважна роль при цьому у полісахарида. Аналогічна динаміка спостерігалася і в композиції «яєчний альбумін-НЧ“Магнетофуд”».

В комплексних системах «гідроколоїд-НЧ“Магнетофуд”» і «яєчний альбумін-НЧ“Магнетофуд”» в 70 %-ому розчині етанолу поверхневий натяг практично однаковий з натягом відповідних полісахаридів або яєчного альбуміну; а в 1%-ому розчині ДДС-На поверхневий натяг понизився: на 2,9 % – в композиціях «агар-НЧ-“Магнетофуд”» і «яєчний альбумін-НЧ“Магнетофуд”». Отже, в цих комплексних системах харчової добавки “Магнетофуд” з гідроколоїдами і яєчним альбуміном гідрофобні властивості добавки “Магнетофуд” менш виражені, ніж гідроколоїдів і альбуміну. Це знову свідчить про те, що в композиціях «гідроколоїд-НЧ“Магнетофуд”» і «яєчний альбумін-НЧ“Магнетофуд”» гідрофобні взаємодії менш значні, ніж гідрофільні – за рахунок водневих і іонних зв’язків.

У комплексних системах «яєчний альбумін-гідроколоїд-НЧ“Магнетофуд”» поверхневий натяг в воді і сольовому розчині підвищувався у порівнянні з композицією «яєчний альбумін-НЧ“Магнетофуд”» на 1,0 %; в 70 %-ому розчині етанолу – на (3–4) % і в 1 %-ому розчині ДДС-На – на (4,7–8,2) %. Таким чином, порівняння закономірностей зміни поверхневого натягу (див. табл. 3) і піноутворюючої здатності яєчного білка під впливом полісахаридів (пектину і агару) (див. рис. 6 і рис. 7) вказує на те, що погіршення функціональної властивості (ПЗ) обумовлено руйнуванням гідрофобних, іонних і водневих зв’язків. При цьому, введення добавки “Магнетофуд” уповільнює процеси руйнування електростатичних взаємодій, сприяючи формуванню нових зв’язків і стабілізуючи пінну структуру.

Ступінь насичення збивної маси повітрям можна охарактеризувати густиною. Тому при визначенні тривалості механічної дії на процес піноутворення збивних мас основним критерієм оцінки служило досягнення найменшої густини [4].

На рис. 8 наведено вплив харчової добавки “Магнетофуд” на густину дослідних зразків збивних мас від тривалості збивання.



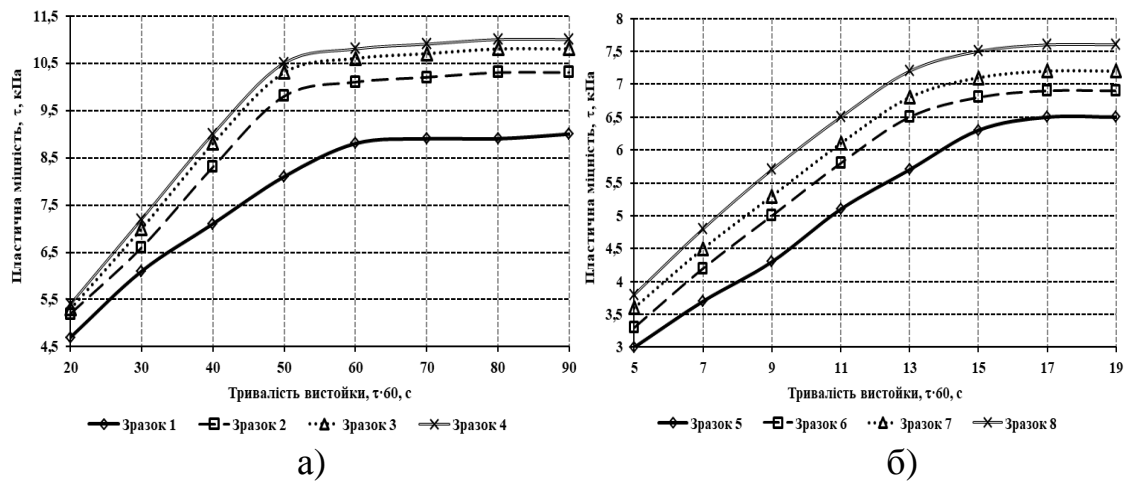
а) – на агарі; б) – на пектині.

Рис. 8. Залежність густини від тривалості збивання дослідних зразків збивних мас.

У початковий період збивання (рис. 8) одночасно протікають процеси утворення і розподілу бульбашок, система інтенсивно насичується повітрям. Це проводить до різкого збільшення об’ємної концентрації повітря і зниження густини маси. З експериментальних даних (рис. 8, а, б) видно, що найменше значення густини дослідні зразки на агарі (зразки 1–4) досягають через 16–20 хвилин, а на пектині (зразки 5–8) – через 8–12 хвилин. Введення харчової добавки “Магнетофуд” зменшує величину найменшого значення густини: на $(35\text{--}60) \text{ кг/м}^3$ для агару, на $(40\text{--}55) \text{ кг/м}^3$ для пектину і тривалість збивання – на (1–2) хвилини. Поверхнево-активні наночастинки “Магнетофуд”, що володіють комплексоутворюючими і структуруючими властивостями сприяють розгалуженню головних ланцюгів макромолекул яєчного білка в дисперсійному середовищі, сповільнюючи процес витікання рідини і тоншення стінок повітряних пухирців, в результаті чого густина дослідних зразків збивних мас зменшується в порівнянні з контрольними зразками. Подальше збивання призводить до руйнування піни і зменшення її об’єму. Ймовірно, це відбувається через поверхневу денатурацію яєчного білка в результаті абсорбції поверхневої енергії, яка аналогічна теплової денатурації і незворотна [4]. При цьому плівка навколо пухирців втрачає механічну міцність, і відбувається руйнування пористої структури [4].

Після формування збивної маси відбувається поступове фіксування каркасу, так як рідкі плівки, що розділяють бульбашки повітря, містять драглеутворювач, який забезпечує процес переходу маси в драглистоподібний стан. На рис. 9 представлені результати

досліджень впливу харчової добавки “Магнетофуд” на пластичну міцність дослідних зразків зефірних мас в процесі вистойки.



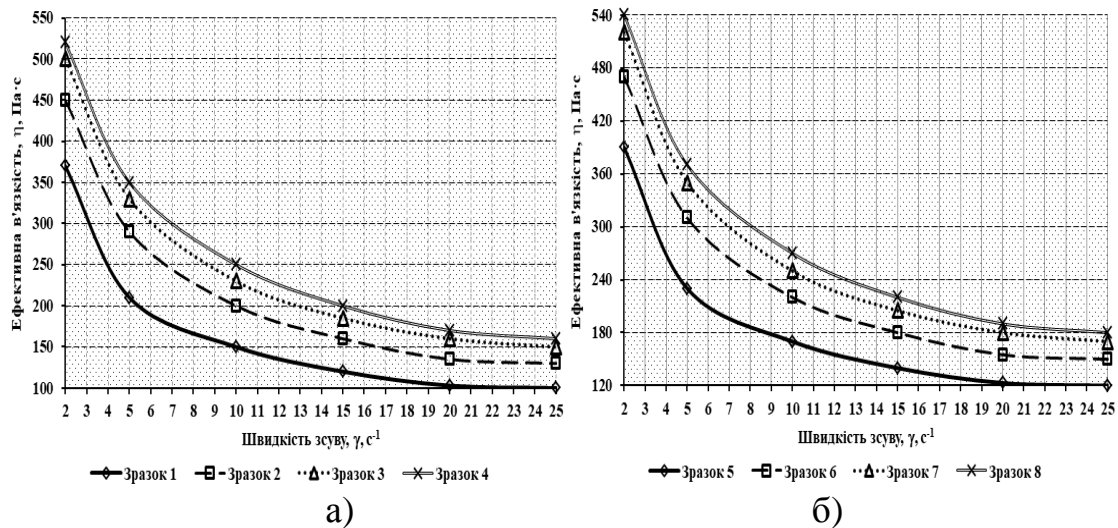
а) – на агарі; б) – на пектині.

Рис. 9. Залежність пластичної міцності від тривалості вистойки дослідних зразків збивних мас.

З експериментальних даних (рис. 9 а, б) випливає, що введення харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20) % до маси сировини прискорює процес драгле утворення на (5–7) хвилини на агарі і на (2–3) хвилини – на пектині; збільшує максимальне напруження зсуву на (0,5–2,1) кПа – на агарі і на (0,8–1,5) кПа – на пектині. Що пов’язано з високою відозв’язуючої і водоутримуючої здатністю наночасток “Магнетофуд”, що разом з комплексоутворюючою і структуруючою дією сприяє асоціації та агрегуванню молекул драглеутворювача – в результаті процес драглеутворення прискорюється і міцність збивної маси збільшується.

Порівнюючи експериментальні дані (рис. 9 а, б) з раніше отриманими бачимо, що для збивного шару, в порівнянні з желейним, спостерігається деяке скорочення тривалості вистойки. Це, ймовірно, обумовлено тим, що гелеутворення відбувається в тонкому шарі плівки, яка відчуває надмірний тиск, що існує в повітряних пухирцях, сприяючи зближенню агрегативних частинок системи з подальшим утворенням коагуляційних зв’язків в місцях зіткнення останніх [4].

Крім граничного напруження зсуву, до найбільш важливих реологічних характеристик збитих мас відноситься їх в’язкість, яка є характеристикою рівноважного стану між процесами руйнування і відновлення. Зміна її викликає зміну коагуляційно-кристалізаційної структури піни, тим самим впливаючи на якість маси. На рис. 10 наведені результати досліджень впливу харчової добавки “Магнетофуд” на ефективну в’язкість дослідних зразків зефірних мас від градієнта швидкості зсуву.



а) – на агарі; б) – на пектині.

Рис. 10. Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву дослідних зразків збитих мас.

З експериментальних даних (рис. 10, а, б) видно, що з насиченням дослідних зразків збитих мас повітрям при їх збиванні відбувається підвищення їх в'язкості. Реологічні криві свідчать про їх псевдопластичність, так як зі збільшенням градієнта швидкості зсуву в'язкість знижується. При малих швидкостях зсуву збиті маси володіють плинністю і здатністю до відновлення. Зі збільшенням швидкості деформації в діапазоні $(1,5-8,1) s^{-1}$ відбувається зниження в'язкості, ймовірно, за рахунок деформації кулястих пухирців повітря в еліпсоїдні [4, 37]. При швидкості зсуву, що перевищує $8,1 s^{-1}$, інтенсивність зниження в'язкості збитих мас порівняно мала, тобто в'язкість практично перестає залежати від швидкості зсуву. Для цих ділянок характерно поступово зростаюче число зруйнованих повітряних бульбашок. Горизонтальні ділянки кривих відповідають в'язкості маси з повністю зруйнованою структурою [37]. Слід зазначити, що введення в рецептурний склад харчової добавки "Магнетофуд" в кількості $(0,10-0,20) \%$ до маси сировини сприяє збільшенню ефективної в'язкості зефірної маси в середньому на $(60-150) Pa\cdot s$ як на агарі, так і на пектині. Збільшення в'язкості пов'язано зі структуруючою дією наночастинок добавки "Магнетофуд", що призводить до агрегації полісахаридів і підвищенню шорсткості їх каналів, в результаті чого зростає стійкість пінних плівок, а підвищення драглеутворюючої здатності пектину і агару дозволяє підвищити в'язкість в каналах Гіббса-Плато, що уповільнює процес синерезиса [4, 37]. Крім цього, під впливом наночастинок "Магнетофуд" структурується і яєчний білок, підвищуючи стійкість зефірної маси до механічного впливу.

Висновки. Отримані результати підтверджують гіпотезу стабілізації пінної структури зефірних мас із застосуванням харчової добавки “Магнетофуд”:

– у всіх дослідних зразків яєчного білка при введенні харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20) % до маси сухого яєчного білку збільшується піноутворююча здатність (ПЗ) на (8,3–11,3) %; стійкість піни (СП) – на (12,6–17,1) % у порівнянні з контролем;

– при введенні харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20)% до маси сировини спостерігається ефект стабілізації структури дослідних зразків зефірних мас: протягом регламентованого терміну зберігання (90 днів) повільніше зменшується об’єм збивної структури – на 7,85% в зразках на пектині й на 11% – на агарі у порівнянні з контролем;

– мікроскопічними дослідженнями доведено, що введення харчової добавки “Магнетофуд” у дослідні зразки збивних мас сприяє більш вузькому розподілу пухирців повітря за діаметром у порівнянні з контролем;

– у всіх дослідних зразків збивних мас при введенні харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20) % до маси сировини збільшується в середньому: ПЗ – на (15–20) % ; СП – на (14–19) %; й ефективна в’язкість – на (60–150) Па·с у порівнянні з контролем;

– при введенні харчової добавки “Магнетофуд” в кількості (0,10–0,20) % до маси сировини: зменшується величина найменшого значення густини – на (35–60) кг/м³ в зразках на агарі, на (40–55) кг/м³ – на пектині й тривалість збивання – на (1–2) хвилини; прискорюється процес драглеутворення на (5–7) хвилин – в зразках на агарі і на (2–3) хвилини – на пектині; збільшується максимальне напруження зсуву на (0,5–2,1) кПа – на агарі і на (0,8–1,5) кПа – на пектині у порівнянні з контролем;

– встановлено зменшення величини поверхневого натягу водних, сольових і 1 % ДДС-На колоїдних розчинів харчової добавки “Магнетофуд” на 10,7 %; 14,9 % і 1,3 % відповідно в порівнянні з поверхневим натягом вихідних розчинників;

– методом математичного моделювання експериментальних даних по піноутворенню у дослідних зразках яєчного білка встановлено оптимальні значення для піноутворюючої здатності (ПЗ): вміст харчової добавки “Магнетофуд” – $\omega = 0,161$; рН = 4,904; для стабільності піни (СП) – $\omega = 0,159$; рН = 4,896.

Отримані результати дають підставу рекомендувати харчову добавку “Магнетофуд” в якості стабілізатора та структуроутворювача зефірних мас.

Література:

1. *Кожанов Ю. Г.* Рынок кондитерских изделий // Продукты & ингредиенты. 2007. № 5. С. 28-31.
2. Сегмент пастило-мармеладных изделий и восточных сладостей: кто определяет тенденции / сост. С. Коптева [и др.]. URL: <http://my-ki.ru/articles.php> (дата звернення 30.08.2019).
3. *Стасіневич С. А., Валявський С. М.* Ринок кондитерських виробів України: пропозиція і попит // Продукты & ингредиенты, 2013. № 1. С. 14-17.
4. *Драгилев А. И., Лурье А. И.* Технология кондитерских изделий. Москва: ДеЛи-принт, 2001. 483 с.
5. *Сарафанова Л. А.* Применение пищевых добавок в кондитерской промышленности. Санкт-Петербург: Профессия, 2005. 304 с.
6. Investigation of magnetite nanoparticles of lipid-magnetite suspensions by methods of photometry and electron microscopy / I. V. Tsykhanovska [et al.] // East European Journal of Advanced Technologies. 2016. Vol. 6/3, № 81. P. 28–38. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.69826.
7. Production technology and quality indices of a food additive based on magnetite / N. G. Ilyukha [et al.] // East European Journal of Advanced Technologies. 2010. Vol. 6, № 48. P. 32-35.
8. Development of technology of rye-wheat bread "Kharkiv Rodnichok" with the addition of a multifunctional nutritional supplement "Magnetofood" / I. V. Tsykhanovska [et al.] // East European Journal of Advanced Technologies. 2017. Vol. 6/11, № 90. P. 48-58. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.117279.
9. Substantiation of the interaction mechanism between the lipo- and glucoproteids of rye-wheat flour and nanoparticles of the food additive "Magnetofood" / I. V. Tsykhanovska [et al.] // East European Journal of Advanced Technologies. 2018. Vol. 4/11, № 94. P. 61-68. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.140048.
10. Substantiation of the mechanism of interaction of carbohydrates of rye-wheat flour and nanoparticles of the polyfunctional food additive "Magnetofood" / I. V. Tsykhanovska [et al.] // East European Journal of Advanced Technologies. 2018. Vol. 3/11, № 93. P. 59-68. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133373.
11. Formation of the functional and technological properties of the beef minced meat by using the food additive on the nanopowder basis of double oxide of two- and trivalent iron / I. V. Tsykhanovska [et al.] // Ukrainian food journal. 2018. Vol. 7, № 3. С. 379-396. DOI:10.24263/2304-974X-2018-7-3-4.
12. *Bovšková H., Míková K.* Factors Influencing Egg White Foam Quality // Czech J. Food Sci. 2011. Vol. 29, № 4. P. 322-327.

13. *Hata, H., Hagi, T., Horano, K.* Hen Eggs. Their Basic and Applied Science. CRC Press. Boca Raton, 1997. P. 117–134.

14. *Hammershøj M., Qvist K. B.* Importance of hen age and egg storage time for egg albumen roaming // *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*. 2001. Vol. 34. P.118-120.

15. Metallic cations affect functional performance of spray-dried heat treated egg white / O. J. Cotterill [et al.] // *Journal of Food Science*. 1992. Vol. 57. P. 1321-1322, 1347.

16. *Mennicken L., Waterloh B.* Chemistry of egg white // *Proceedings VIIth European Symposium on the Quality of Egg and Egg Products*. Poznan, 1997. P. 145–157.

17. *Nakamura R., Umemura O., Takemoto H.* Effect of heating on the functional properties of ovotransferrin // *Agricultural and Biological Chemistry*. 1979. Vol. 43. P. 325.

18. Salmonella, Campylobacter and Escherichia coli 0157: H7 decontamination techniques for the future / J. E. L. Corry [et al.] // *International Journal of Food Microbiology*. 1995. Vol. 28. P.187-196.

19. *Саломатов А. С., Саломатова А. С.* Исследование пенообразующей способности порошка яичной скорлупы // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2013. Т. 1, № 2. С. 30-33.

20. *Киласония К. Г.* Использование пюре фейхоа и киви для получения сбивных кондитерских изделий // *Пищевая промышленность*. 2004. № 12. С. 79.

21. *Киласония К. Г.* Фейхоа и киви – новое сырье для кондитерского производства // *Вестник с/х наук. Тбилиси*, 2002. № 9. С. 25-29.

22. *Иоргачева Е. Г.* Пюре из топинамбура – рецептурный ингредиент кондитерских изделий // *Збірник наукових праць ОДАХТ. Одеса*, 2002. Вип. 23. С. 120-124.

23. Design and characterization of soluble biopolymer complexes produced by electrostatic self-assembly of a whey protein isolate and sodium alginate / S. A. Fioramonti [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2013. Vol. 5. P. 1–8.

24. Evaluation of volatile characteristics in whey protein isolatepectin mixed layer emulsions under different environmental conditions / L. Mao [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2014. Vol. 41. P. 79-85.

25. *Maldonado-Valderrama J., Rodríguez Patino J. M.* Interfacial rheology of protein-surfactant mixtures // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2010. Vol. 15. P. 271-282.

26. *Heertje I.* Structure and function of food products: A review // *Food structure*. 2014. Vol. 1. P. 3-23.

27. Stabilization of foams and emulsions by mixtures of surface active food-grade particles and proteins / B. S. Murray [et al.] // Food Hydrocolloids. 2011. Vol. 25. P. 627-638.

28. Белок-полисахаридные смеси – альтернатива белкам яйца и молока в технологии получения крема эмульсионно-пенной структуры / В. А. Васькина и др. // Кондитерское производство. 2015. № 3. С. 26-30.

29. Пащенко Л. П., Коваль Л. А., Пащенко В. Л. Применение семян масличного льна в кондитерских изделиях // Современные наукоемкие технологии. 2006. № 6. С. 95-96.

30. Румянцева В. В., Ковач Н. М., Гурова А. Ю. Применение нетрадиционного сырья при производстве пастильных масс // Известия Вузов. Пищевая технология. 2009. № 4. С. 10-12.

31. Капрельяниц Л. В., Иоргачева Е. Г., Банова С. И. Модифицированные соепродукты с улучшенными пенообразующими и эмульгирующими свойствами // Зернові продукти і комбікорми. 2002. № 2. С. 23-25.

32. Смолихина П. М., Мусик А. И. Обоснование использования растительного сырья в технологии пастильных изделий. Тамбов, 2013. С. 125–128.

33. Иванушко Л. С. Рецептуры на мармелад, пастилу и зефир. Москва: Пищевая промышленность, 1974. 208 с.

34. Кафка Б. Ф., Лурье И. С. Техно-химический контроль кондитерского производства. Москва: Пищевая промышленность, 1967. 282 с.

35. Максимов А. С., Черных В. Я. Лабораторный практикум по реологии сырья, полуфабрикатов и готовых изделий хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств. Москва: МГУПП, 2004. 162 с.

36. Зубченко А. В. Физико-химические основы технологии кондитерских изделий: учебник. 2-е изд. перераб. и доп. Воронеж, 2001. 389 с.

37. Производство желейной и взбивной продукции с использованием модификаторов: монография / Ф. В. Перцевой и др. Днепропетровск: Пороги, 2003. 204 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПЕНООБРАЗОВАНИЯ ЗЕФИРНЫХ МАСС
С РАЗЛИЧНЫМИ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛИ
ПРИ ВВЕДЕНИИ В РЕЦЕПТУРУ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ
"МАГНЕТОФУД"**

Цихановская И. В., Евлаш В. В., Лазарева Т. А., Шингисов А. У.

Аннотация – в статье приведены результаты влияния пищевой добавки “Магнетофуд” на показатели пенообразования збивных кондитерских масс в технологии зефира. Доказана поверхностная активность наночастиц добавки “Магнетофуд”. Математическим моделированием установлены оптимальные показатели збивных масс. Определены перспективы использования добавки “Магнетофуд” для збивных кондитерских масс в качестве стабилизатора и структурообразователя пеноподобных структур.

**RESEARCH OF STRUCTURAL-MECHANICAL INDICATORS
AND FOUNDATION OF ZEPHIC MASTS WITH DIFFERENT
STRUCTURAL MAKERS AT THE INTRODUCTION OF THE
FOOD ADDITIVE RECEPTURE “MAGNETOFOOD”**

I. Tsykhanovska, V. Evlash, T. Lazareva, A. Shingisov

Summary

One of the topical problems of the modern food industry is the development of resource and energy-saving technologies for the production of high quality whipped confectionery products with an extended shelf-life. The prospective use of mineral resources, in particular the food additive "Magnetofood", which forms new functional and technological properties of whipped masses. The aim of the research is to improve the structural and mechanical properties of marshmallows by introducing the "Magnetofood" nutritional supplement.

The nutritional supplement "Magnetofood" has a definite functional and technological potential and can independently form the structural and mechanical properties of the jelly masses and foam structures, as well as influence the gel and foaming agent, entering into them into chemical and electrostatic interactions. Therefore, the food additive "Magnetofood" can perform several technological functions in the system at once: to act as a stabilizer and a structuring agent (foam and gel of the educator). Investigations of the structural and

mechanical parameters of whipped masses have shown the expediency of using the additive "Magnetofood" in the technology of marshmallow production: when the food additive "Magnetofood" is added in an amount (0,10-0,20)% by weight of raw material: the value of the smallest density value decreases (35-60) kg / m³ in agar samples, at (40-55) kg / m³ - in pectin and the duration of beating - at (1-2) minutes; the process of stud formation is accelerated for (5-7) minutes - in samples on agar and (2-3) minutes - on pectin; the maximum shear stress is increased by (0.5-2.1) kPa - on agar and by (0.8-1.5) kPa - on pectin in comparison with the control.

The mathematical modeling of experimental data on foaming in experimental samples of egg protein has established optimal values for foaming capacity: the content of the food additive "Magnetofood" - $\omega = 0.161$; pH 4.904; for the stability of the foam - $\omega = 0.159$; pH = 4,896.

The obtained results testify to the high potential of further research and development of advanced technologies of high-quality whipped pastry products with prolonged storage periods.