



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-17

УДК 664.002. 5

Н. О. Фучаджи¹, канд техн. наук

ORCID: 0000-0001-9433-6282

І. М. Кузьмінська², канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-0053-1501

¹ *Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*² *Заклад вищої освіти «Подільський державний Університет»*

e-mail: fno1017@gmail.com, тел.: +380688778589

ПІНОУТВОРЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЯХ ШЛЯХОМ ЗБИВАННЯ

Анотація. Робота присвячена теоретичним дослідженням піноутворення в технологічних операціях харчової промисловості серед збитої продукції. Формування пінної структури в харчовій промисловості в технологічних операціях методом збивання можливо за наявності поверхнево-активних речовин, піноутворювачів, стабілізаторів, роль яких в традиційних технологіях виконують яєчні та молочні продукти або харчові добавки, деякі з яких є частиною рослинної тканини.

В харчовій промисловості значну кількість продукції виготовляють шляхом збивання з подальшим отриманням піноподібної структури, яка відіграє важливу роль, оскільки значна група харчових продуктів має пінну структуру. Тому актуальним є розробка наукових принципів регулювання фізико-хімічних та функціональних властивостей пін з метою їх реалізації при виробництві харчової продукції з піноподібною структурою шляхом збивання.

Ключові слова. збита продукція, збивання, піноутворення, піна, харчова промисловість, технологічна операція.

Постановка проблеми. *Постановка проблеми.* В харчовій промисловості значну кількість продукції виготовляють шляхом збивання з подальшим отриманням піноподібної структури, де пухирці повітря займають основну частину виробу. Продукція отримана шляхом збивання відноситься до дисперсних систем, які слабо структуровані, оскільки швидко руйнуються під дією механічних навантажень. До таких продуктів відносяться кисневі коктейлі, збиті вершки, морозиво, зефір, муси, суфле, тощо. Їхній процес виробництва базується на теорії утворення піни.

Піна є дисперсною системою, яка складається з двох фаз – газу та рідини; газ розглядається як дисперсна фаза, а рідина як безперервне дисперсійне середовище. Дисперсність складає одну з важливих характеристик піни, оскільки характеризує ступінь подрібненості частинок, визначає технологічні властивості піни, та процеси, які відбуваються в ній.



За вимогами, що пред'являються до структурно-механічних властивостей міжфазних адсорбційних шарів у пінах, прийнятої класифікації піноутворювачів, форм руйнування, пінні системи також не відрізняються від емульсій. Подібно до емульсій процес формування міжфазного адсорбційного шару в пінах включає дві стадії: адсорбцію піноутворювача на межі розділу фаз і формування структури міжфазного шару. Міцність адсорбційного шару, що сформувався, визначає найважливішу технологічну характеристику харчових пінних структур – їх стійкість в ході таких технологічних процесів, як перемішування і змішування з іншими компонентами, а також в ході охолодження та нагрівання.

Піни характеризуються такими показниками як:

- піноутворююча здатність розчину – кількість піни, яка виражається об'ємом, яка утворилась об'ємом розчину при дотриманні певних умов протягом певного часу;

- кратність піни – відношення об'єму піни до об'єму розчину, яке пішло на її утворення;

- стабільність піни – здатність піни зберігати об'єм, дисперсний склад і перешкоджати стіканню рідини;

- дисперсність піни – задана середнім розміром бульбашки, розподілом бульбашок по розміру у одиниці об'єму піни.

Вони є нестійкими полідисперсними системами, також вони термічно нестійкі об'єкти, тому що в них відбуваються процеси старіння та руйнування. В результаті технологічних процесів при виробництві продуктів харчування відбуваються зміни агрегативного стану фаз дисперсних систем та типу самої системи, що призводить до зміни пінної структури продукту під впливом зовнішніх факторів, таких, як температура. Щоб вирішити ці проблеми, необхідно застосовувати стабілізатори, що забезпечать стійкість пінній структурі продукту [1, 2].

Аналіз останніх досліджень. Для багатьох продуктів харчування піноподібна структура надає вирішальний вплив на їх відмінні властивості (наприклад, у хлібобулочних та деяких кондитерських виробках, морозиві, напоях та десертних виробках). Ведення диспергованого повітря, або іншого газу, в харчову сировину під час технологічної операції дозволяє змінити консистенцію та структуру харчового продукту, та задовільнити смаки споживачів.

Наведемо приклади деяких харчових пін та природу їх утворення у табл. 1 та табл. 2.

Отримання пін може бути обумовлено дією кількох джерел піноутворення одночасно. Деякі технологічні процеси здійснюють з аерацією та перемішуванням, як піноутворювач широко використовують білок курячого яйця, желатин, а також метилцелюлозу і білки молока, тощо.



Таблиця 1

Харчові піни та джерела їх утворення

Продукт	Тип піни	Джерело утворення
Хліб	Твердий	Процес бродіння тіста
Кондитерські збивні маси (зефір, суфле, тощо)	Твердий, утворений з рідких	Диспергування повітря у вихідній сировині
Ігристі вина, пиво	Рідкий	Процеси бродіння
Газовані напої	Рідкий	Диспергування діоксиду вуглецю у водному середовищі

Таблиця 2

Можливі джерела утворення, тип і форма деяких пін у харчовій промисловості та продуктів харчування

Джерело утворення	Тип піни	Харчові маси, харчові продукти, напівфабрикати
<i>Технологічні процеси:</i>		
Вспінювання	Тверді, утворені з рідких; Рідкі	Кондитерські маси, патока, зефір, суфле, халва, морозиво Збиті вершки, коктейлі
Піносушка	Рідкі, що переходять у тверді	Сухе молоко, кава, пюре, інші порошки
Бродіння	Рідкі	Вина, пиво
Супутні процеси	Рідкі	Цукор, продукти бродіння, дріжджі
Продукти	Рідкі Тверді	Ігристі вина, пиво, прохолодні напої Хліб

У загальному випадку при утворенні піни у присутності ПАР (поверхнево-активних речовин) знижується поверхневий натяг на межі поділу фаз, і утворюються на поверхні поділу міцні захисні плівки, що перешкоджають коалесценції.



Таблиця 3

Характеристика піноутворюючої здатності деяких речовин

Піноутворювач	Концентрація піноутворювача у розчині, %	Кратність піни	Стійкість піни через 30 хв, % об'єму до початкового
Білок курячого яйця	2,0	2,47	86
	3,0	2,84	91
	3,6	2,11	88
Знежирене молоко	5,0	1,80	75
	10,0	2,00	72
	15,0	1,70	69
Желатин	0,9	2,37	83
	1,6	2,43	85
	2,0	2,40	82
	2,5	2,30	81
Метилцелюлоза (МС-8)	0,1	2,03	46
	0,5	2,75	50
	1,0	2,55	48

Витончення пінної плівки уповільнюється через витікання рідини з неї, в той же час «життя» піни збільшується. Надлишковий тиск також перешкоджає витонченні плівок, який виникає в тонкому шарі. Підвищити механічну міцність піни можливо за рахунок адсорбційного шар ПАР, який змінює структуру поверхні міжфазної межі.

Піноутворювальна здатність ПАР залежить від таких факторів, як концентрація піноутворювача в розчині, та наявності речовини, яка сприяє або пригнічує піноутворення. [3, 4].

Якщо піноутворюючою речовиною служить яєчний білок, то внаслідок розгортання його молекул на межі міжфазного розділу настає поверхнева денатурація, що сприяє підвищенню стабільності піни. Яєчний білок використовують як у натуральному, так і в консервованому вигляді – висушений чи заморожений. Значно менше застосування знаходять білки, законсервовані цукром.

Широко застосовують яєчний білок, відокремлений від жовтка, як піноутворювач, у виробництві пастили, збивних цукеркових виробів, карамельних начинках, напівфабрикатах з оздоблювання для тістечок і тортів.

На піноутворюючу здатність яєчних білків впливають різні фактори, насамперед властивості сировини, вона сильно знижується, якщо до білка домішані жири (жовток) або інші піногасники, тобто речовини з високою поверхневою активністю.



Дисперсність піни визначає механічні властивості та стійкість збитих білків, оскільки недостатньо збиті білки, погано зберігають форму, мають невисоку міцність і при з'єднанні з іншими продуктами швидко зменшуються в об'ємі. Вироби, виготовлені з додаванням таких білків, мають занадто щільну консистенцію.

У процесі тривалого збивання білків дисперсність піни та поверхня її розділу різко зростають, а товщина плівок зменшується. Через це взбиті білки втрачають еластичність та стають крихкими, при подальшому збиванні руйнується структура піни, а також зменшується її об'єм. [4, 5].

Постановка завдання. Метою статті є вивчення теоретичних основ дослідження піноутворення в технологічних операціях шляхом збивання.

Основна частина. Основною класифікаційною ознакою піноутворювачів та стабілізаторів є їхнє походження: природні тваринного походження; природні рослинного походження та синтетичні. До природніх тваринного походження відносять: яєчний альбумін, желатин, сироватковий альбумін, казеїнат натрію; до природніх рослинного походження – пектин, крохмаль, каррагенан, альгінат натрію, агар-агар, фуцелларан, білки сої, камеді; до синтетичних – метилцелюлоза, карбоксиметилцелюлоза, модифіковані крохмалі тощо [5, 6, 7].

В кондитерській промисловості піноподібні маси отримують збиванням фруктово-ягідного пюре з цукром і патокою в присутності піноутворювача (яєчний білок, кров'яний альбумін, гідролізований молочний білок і т.д.) з гарячим студнеутворювачем (пектин, агар, желатин), в результаті застуднення суміші, яку після відповідної обробки формують окремими виробами.

Для закріплення дрібно-пористої піноподібної структури використовують гарячий агаро-цукрово-патоковий сироп або гарячу фруктово-ягідну мармеладну масу. Основна роль сиропу – зафіксувати пінну структуру пастильної маси, надати їй механічної міцності, щоб її можна було формувати. Після остигання маси введений агаро-цукрово-патоковий сироп надає масі міцних властивостей холодця [7, 8].

На піноутворювальну здатність впливають такі фактори: склад і співвідношення сировини, вологість рецептурної суміші, рН середовища, вид і концентрація піноутворювача, температура та умови збивання пастильної маси, режим сушіння [9, 10].

– якщо до піноутворювача додати цукор, то сила збільшиться в 3 рази. Цукор збільшує поверхневий натяг водних розчинів і отже ускладнює їх піноутворення, з іншого боку зі збільшенням концентрації цукру збільшується в'язкість рідини в плівках піни, що



ускладнює їх розпушування та збільшує стабільність піни. Часткова заміна цукру патокою збільшує в'язкість пінних плівок, зменшує ступінь пересичення рідкої фази, тим самим уповільнюючи процес кристалізації сахарози та засихання.

– яблучне пюре покращує силу і цей вплив тим більше, чим більша желуюча здатність пюре. Пектинові речовини яблучного пюре адсорбуються на білкових плівках повітряних кульок і утворюють білково-пектинові комплекси, які збільшують міцність піни, оскільки збільшується в'язкість дисперсного середовища.

– патока вводиться як антикристалізатор сахарози для запобігання зацукрованню виробів, збільшує в'язкість дисперсного середовища, відіграє роль ПАР.

– температура піноутворення повинна бути вищою за температуру желювання, застосовуваного студнеутворювача для уникнення руйнування студневого каркасу.

– час збивання встановлюється залежно від виду устаткування, температури сировини, температури приміщення.

В кондитерській промисловості білки виконують функцію піноутворення для виготовлення суфле, пастили, тощо; в харчовій промисловості – при випіканні хліба; відіграють важливу роль в утворенні піни та піностійкості у готовому пиві [11, 12, 13, 14].

Стійкість піни, в якій білок є піноутворювачем, залежить не тільки від його природи, але також від концентрації та температури. Для білка курячого яйця оптимальний температурний інтервал при піноутворення 20 – 30 °С, максимальна стійкість піни спостерігається при 20 °С. Вплив добавок сахарози до маси білка курячого яйця проявляється у зв'язуванні нею вологи і відповідному збільшенні міжфазний шар, тому системи на основі білка курячого яйця з цукром збивають при температурі близько 50 °С.

Одночасно зв'язування вологи сахарозою та збільшення в'язкості системи ведуть до підвищення стійкості піни (табл. 4).

При характеристиці процесу піноутворення для систем із желатином слід враховувати його студнеутворювальну спроможність.

Можливе відділення рідини настає для пін утворених при температурах 35°C і вище, оскільки вони є рідкоподібними системами. При зниженні температури піноутворення внаслідок агрегації макромолекул желатину його піноутворююча здатність знижується, а водоутримуюча здатність зростає (табл. 5).

На піноутворюючу здатність желатину впливає молекулярна маса речовини – чим вона більше, тим вище піноутворююча здатність.

Кратність піни зростає при механізованому способі збивання: для білка курячого яйця вона становить 5,0 – 8,0, для желатину – 3,0 – 3,5. Процесом піноутворення можна керувати за рахунок впливу на



властивості піноутворюючів, такі як дисперсійність середовища та фізико-механічні умови формування міжфазного адсорбційного шару. Основними умовами впливу є швидкість та тривалість збивання, а також форма робочого органу. [15, 16, 17].

Таблиця 4

Характеристика стійкості піни на основі білка

Співвідношення білок:цукор	Об'ємна маса, г/см'	Відшарування рідкої фази, % за час, год			
		0,5	1,0	2,0	3,0
1:0	0,180	42,3	61,8	72,6	72,6
1:0,5	0,249	27,1	38,5	66,0	69,0
1:1,0	0,269	0	0	13,8	21,4
1:1,5	0,300	0	0	0	0
1:2,0	0,362	0	0	0	0

Таблиця 5

Залежність піноутворюючої здатності 2%-ного розчину желатину від температури ведення процесу

Температура збивання, ° С	Кратність піни
35	3,3
25	1,5
15	3,1

Для того, щоб в повній мірі проявилися властивості – швидкість адсорбції і формування шару, необхідно забезпечити максимально сприятливі умови для режиму збивання.

Висновки. Стійкість структури піни, отриманих шляхом збивання, є важливим фактором підвищення якості харчових продуктів. Головним технологічним недоліком і основною проблемою при використанні харчових пін в технологічних операціях, методом збивання, є їх нестабільність за часом і під впливом зовнішніх факторів, таких, як температура. Вирішення цих проблем полягає у виборі і використанні стабілізаторів, які дозволить отримати стійку та стабільну пінну структуру.

Список використаних джерел

1. Змеєва І. М., Ялпачик В. Ф. Зниження піноутворення при розливі рідин. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2020. Вип. 20, т. 1. С. 108-115. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-20-1-108-114>.



2. Кузьмінська І. М. Вплив геометрії споживчої тари на піноутворення при розливі харчових рідин. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2020. Вип. 21, т. 1. С. 143-151.
3. Кузьмінська І. М. Піноутворення в харчовій промисловості. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, том 1. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tsstt/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2022-vypusk-12-tom-1.pdf>. (дата звернення 10.02.2024).
4. Банова С. І. Удосконалення технології збивних кондитерських виробів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01. Одеса, 2003. 20 с.
5. Білки у харчуванні людини. Проблема білкового дефіциту на землі. URL: <http://um.co.ua/4/4-8/4-85122.html> (дата звернення 20.02.2024).
6. Тарасенко В. Г., Фучаджи Н. О., Червоткіна О. О. Удосконалення способу охолодження напоїв. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. 2022. Вип. 12, т. 2. с. 165-172.
7. Самойчук К. О., Ломейко О. П., Фучаджи Н. О. Оптимізація технологічних процесів при приготуванні пивного суслу. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2022. Вип. 12, т. 2. С. 116-123.
8. Пивоваров П. П. Теоретична технологія продукції громадського харчування. Частина І. Білки в технології продукції громадського харчування: навч. посібник. Харків: ХДАТОХ, 2000. 212 с.
9. Пересічний М. І., Кравченко М. Ф., Карпенко П. О. Технологія продукції громадського харчування з використанням біологічно активних добавок : монографія. Київ: КНТЕУ, 2003. 322 с.
10. Плахотін В. Я., Тюрікова І. С., Фомич Г. П. Теоретичні основи технологій харчових виробництв: навч. посібник. Київ: Центр навчальної літератури, 2006. 640 с.
11. Производство желейной и взбивной продукции с использованием модификаторов: монография / Ф. В. Перцевой, А. Л. Фощан, Ю. А. Савгира [и др.]. Днепропетровск: Пороги, 2003. 201 с.
12. Козлов В. Н., Затирка А. Ф. Технология молочно-белковых продуктов. Киев: Урожай, 1988. 167 с.
13. Волкова Т. А., Кравченко Э. Ф. Новые напитки на основе молочной сыворотки. *Сыростелие*. 2000. № 3. С. 41.
14. Юрченко С. Л. Разработка технологии многофункциональных полуфабрикатов для производства сладких блюд с пенной структурой: дисс. ... канд. техн. наук: 05.18.16 / Харьковская гос. академия технологии и организации питания. Харьков, 1999. 294 с.
15. Никифоров Р. П. Технологія напівфабрикатів для збитої десертної продукції на основі нежирної молочної сировини: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.16. Донецьк, 2000. 136 с.



16. Федотова Н. А. Технологія білково-рослинного напівфабрикату на основі молочної сироватки: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.16. Донецьк, 2011. 178 с.

17. Активация рослинних біологічно активних речовин фізичними методами : монографія / Р. Ю. Павлюк, Н. В. Дібрівська, В. В. Яницький [та ін.]. Харків: ХДУХТ, 2010. 152 с.

Стаття надійшла до редакції 18.03.2024 р.

N. Fuchadzi¹, I. Kuzminska²

¹ Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

² Higher educational institution «Podillia State University»

FOAM FORMATION IN TECHNOLOGICAL OPERATIONS THROUGH WHIPPING

Summary

The work is devoted to theoretical studies of foam formation in technological operations of the food industry among whipped products. Formation of the structure of this product is possible in the presence of surface-active substances, the role of which in traditional technologies is performed by egg and dairy products or food additives, some of which are part of plant tissue.

Today, in the production of whipped products, additives of protein and polysaccharide origin are mainly used, which has caused their extensive study. A large number of products are prepared based on the process of obtaining a foam-like structure, in which the bulk of the volume of the product is occupied by air bubbles. Foams belong to unstable polydisperse systems and have their own technological features. Therefore, foams should be considered as a complex multilayer structure in the form of layers with different thicknesses.

Foaming properties of proteins are characterized by foaming ability and foam stability. The first indicator is measured by the volume of foam related to the mass of the protein, the second by its half-life, that is, the time required for the destruction of half of the foam volume. Both indicators depend on the pH of the environment, the concentration of protein, salts, temperature, the presence of lipids, sucrose, dietary fibers, the fractional composition and structure of proteins. The stability of the foam structure is an important factor in improving the quality of food products.

The main technological disadvantage and the main problem of using foams is their instability over time and under the influence of external factors, in particular temperature. The solution to these problems is to choose and use a stabilizer that will solve the problem of obtaining a stable foam structure.

Foaming processes in the food industry play an important role, since a significant group of food products has a foam structure. Therefore, the development of scientific principles for regulating the physico-chemical and functional properties of foams with the aim of their implementation in the production of food products with a foam-like structure by whipping is relevant.

Keywords: Whipped products, whipping, foaming, foam, food industry, technological operation.