

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

**ПРАЦІ**

Таврійського державного  
агротехнологічного  
університету



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

**Випуск 24, том 2**  
Наукове фахове видання  
*Технічні науки*



Запоріжжя – 2024 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYI TAVRIA STATE  
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



**ПРАЦІ**

**Таврійського державного  
агротехнологічного університету**  
*Технічні науки*

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE  
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**  
*Technical sciences*

*Виходить 3 рази на рік  
Видається з 1998 р.*

**Випуск 24, том 2  
Issue 24, volume 2**

**WEB:** <https://oj.tsatu.edu.ua>

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

**Запоріжжя  
2024**



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 2. 206 с.

ISSN 2220-8674

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

**Реферативні бази:** Crossref, Google Scholar, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

**Головний редактор**

Кюрчев В. М., чл.-кор. НААН України,  
д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Заступники головного редактора**

Надикто В. Т., чл.-кор. НААН України,  
д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Панченко А. І., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Відповідальний секретар**

Волошина А. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Технічний секретар**

Погорельцева Д. О. (Україна)

**Editor in chief**

Kyurchev V., corresponding member of NAAS of  
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Deputy editors in chief**

Nadykto V., corresponding member of NAAS of  
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Panchenko A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Executive secretary**

Voloshina A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Technical secretary**

Pogoreltseva D. (Ukraine)

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ****ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Белоев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)  
Даманаускас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)  
Івановс Семенс, д-р техн. наук (Латвія)  
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)  
Паскуцці Сімоне, PhD, доц. (Італія)  
Финдура Павол, PhD, проф. (Словачія)  
Вершков О. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Дідур В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Журавель Д. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Кувачов В. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Кюрчев С. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Скляр О. Г., канд. техн. наук, проф. (Україна)  
Скляр Р. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Тітова О. А., д-р пед. наук, проф. (Україна)

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА  
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

Шафранець Анджей, д-р техн. наук, проф. (Польща)  
Кавакзех Мохаммед, PhD, проф. (Йорданія)  
Бур'ян С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Галько С. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Кузнецов М. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Лисенко О. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мірошник О. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мороз О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Плюгін В. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**SECTORAL MACHINE BUILDING**

Beloev Hristo, Dr. Sci. Tech., Prof. (Bulgaria)  
Damanauskas Vidas, Dr. Sci. Tech. (Lithuania)  
Ivanovs Semjons, Dr. Sci. Tech. (Latvia)  
Olt Jüri, PhD, Dr. Sci. Tech., Prof. (Estonia)  
Pascuzzi Simone, PhD, Assoc. Prof. (Italia)  
Pavol Findura, PhD, Prof. (Slovakia)  
Vershkov O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Didur V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Zhuravel D., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kuvachov V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kiurchev S., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Sclyar O., Cand. Sci. Tech, Prof. (Ukraine)  
Sclyar R., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Titova O., Dr. Sci. Ped., Prof. (Ukraine)

**ELECTRICAL POWER ENGINEERING,  
ELECTRICAL ENGINEERING AND  
ELECTROMECHANICS**

Szafraniec Andrzej, Dr. Sci. Tech., Prof. (Poland)  
Qawaqzeh Mohamed, PhD, Prof. (Jordan)  
Burian S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Halko S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Karpaliuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kvitka S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Kuznietsov M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Lysenko O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Miroshnyk O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Moroz O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Pluihin V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

Гавриленко Є. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Гнатушенко В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Гумен О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Дашкевич А. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Лубко Д. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Лясковська С. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Малкіна В. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мацулевич О. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Холодник Ю. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Яблонський П. М., канд. техн. наук, доц. (Україна)

**ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ**

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Євлаш В. В., д-р техн. наук проф. (Україна)  
Ломейко О. П., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Паламарчук І. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Пилипенко Л. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Пріс О. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Самойчук К. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Сердюк М. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Ялпачик В. Ф., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**ПРАЦІ****Таврійського державного  
агротехнологічного університету****Випуск 24, том 2****Засновник**

Таврійський державний агротехнологічний  
університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 1998 році

Свідоцтво про державну реєстрацію  
КВ №24285-14125ПР від 27.12.2019 р.  
Виходить 3 рази на рік

Рекомендовано до друку вченою радою  
Таврійського державного агротехнологічного  
університету  
імені Дмитра Моторного  
Протокол № 10 від 28.05.2024 р.

«Праці ТДАТУ» включено до **Категорії Б**  
Переліку наукових фахових видань України  
(науки: технічні), в яких можуть  
публікуватися результати дисертаційних  
робіт на здобуття наукових ступенів  
доктора наук і доктора філософії /  
кандидата наук (накази МОН України від  
17.03.2020 р. № 409)

**Адреса редакції**

Юридична: 72312, Запорізька обл.  
м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18  
Фактична: 69600, Запорізька обл.  
м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 66  
<https://oj.tsatu.edu.ua>  
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2

**COMPUTER SCIENCES**

Havrylenko Ye., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Hnatushenko V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Humen O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Dashkevych A., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Lubko D., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Liaskovska S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Malkina V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Matsulevych O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Kholodniak Y., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Yablonskyi P., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)

**FOOD TECHNOLOGIES**

Deynichenko G., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Evlash V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Lomeiko O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Palamarchuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Pylypenko L., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Priss, O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Samoichuk K., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Serdyuk M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Yalpachik V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE  
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY****Issue 24, volume 2****Founder**

Dmytro Motorny Tavria State  
Agrotechnological University

Founded in 1998

Certificate of governmental registration  
KB No. 24285-14125ПР dated December 27, 2019  
Published 3 times a year

Recommended for publication by the Academic  
Board of Dmytro Motorny Tavria State  
Agrotechnological University  
Record No. 10 dated May 28, 2024

Proceedings of TSATU is included in the List of  
scientific professional editions of Ukraine  
(technical sciences), category B, in which the  
results of theses for obtaining scientific degrees  
of Doctor of Sciences and Doctor of Philosophy /  
Candidate of Sciences can be published (order of  
the Ministry of Education and Science of Ukraine  
dated March 17, 2020, No. 409)

**Address of the Editorial office**

Legal address: 72312, Zaporizhzhia region  
Melitopol, 18, B. Khmel'nitskyi Ave.  
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region  
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskiy Str.  
<https://oj.tsatu.edu.ua>  
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2



---

**ЗМІСТ / CONTENTS**

---

**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

- Журавель Д. П., Бондар А. М.** Техніко-економічне обґрунтування доцільності використання адаптивного рульового керування колісного трактора 7  
**Zhuravel D., Bondar A.** Feasibility study of the feasibility of using adaptive steering of a wheeled tractor
- Самойчук К. О., Самохвал В. А., Червоткіна О. О.** Дослідження роботи багатосекційного пристрою формування паливних брикетів на гвинтових прес-екструдерах 18  
**Samoichuk K., Samokhval V., Chervotkina O.** Study of the operation of a multi-section device for forming fuel briquettes on screw press extruders
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Акулов В. Д.** Шляхи підвищення енергетичної ефективності біогазової установки 27  
**Skliar O., Skliar R., Akulov V.** Ways to increase the energy efficiency of a biogas installation
- Шарапов С. О., Євтушенко С. О., Хованський С. О.** Експериментальний стенд для дослідження процесів змішування в рідинно-парових струминних апаратів 37  
**Sharapov S., Yevtushenko S., Khovanskyi S.** Experimental stand for research of mixing processes in liquid-vapor jet devices
- Червоткіна О. О., Фучаджи Н. О., Верхоланцева В. О., Самохвал В. А.** Вплив різних параметрів на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул 51  
**Chervotkina O. O., Fuchadgi N. O., Verkholtantseva V. O., Samokhval V. A.** Influence of various parameters on the vegetable raw material pelleting process and pellets quality
- Бага В. М.** Підвищення ефективності проточних частин соплових пристроїв пневматичних систем на основі поглибленого дослідження робочого процесу 61  
**Baha V.** Increasing the efficiency of flow parts of nozzle devices of pneumatic systems on the basis of in-depth study of the working process

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

- Мірошник О. О., Мороз О. М., Пазій В. Г., Миргород Д. Г., Ганус Р. О., Галько С. В.** Дослідження та порівняння характеристик мікропроцесорного пристрою релейного захисту та автоматики РС83-АВ3 компанії «РЗА СИСТЕМЗ» з пристроями електромеханічного типу 78  
**Miroshnyk O., Moroz O., Pazyi V., Myrgorod D., Hanus R., Halko S.** Research and comparison of characteristics of the microprocessor relay protection and automation device РС83-АВ3 company "RPA SYSTEMS" with electromechanical devices



- Трунова І. М., Мірошник О. О., Середа А. І., Дудніков С. М., Пазій В. Г., Мороз О. М., Савченко О. А., Попадченко С. А., Галько С. В., Ладжинський І. В.** Автоматизована система обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж 96
- Trunova I., Miroshnyk O., Sereda A., Dudnikov S., Pazii V., Moroz O., Savchenko O., Popadchenko S., Halko S., Ladyzhynskiy I.** Automated system of justification for reconstruction of distribution network objects
- Бабич М. І., Боярчук В. М., Сиротюк С. В., Коробка С. В., Михалюк М. А., Стукалець І. Г., Баранович С. М.** Визначення витрати води і напору дериваційних гідроелектростанцій для виробництва електроенергії на гірських річках 109
- Babych M., Boyarchuk V., Syrotyuk S., Korobka S., Mykhaliuk M., Stukalets I., Baranovych S.** Determination of water consumption and pressure of derivation hydroelectric power station for electricity production on mountain rivers
- Постол Ю. О., Гулевський В. Б., Постол О. О.** Підвищення енергоефективності житлового сектору 121
- Postol Y., Hulevskiy V., Postol O.** Increase of energy efficiency of the housing sector
- Савойський О. Ю., Сіренко В. Ф., Вольвач Т. С., Сіренко Ю. В.** Підвищення надійності районних трансформаторних підстанції за рахунок орнітологічного захисту ліній електропередачі 130
- Savoiskiy O., Sirenko V., Volvach T., Sirenko Y.** Enhancing the reliability of district transformer substations through ornithological protection of power lines

### КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- Мацулевич О. Є., Вершков О. О.** Вдосконалення методики контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням симулятора роботи токарного верстата з ЧПУ 140
- Matsulevych O., Vershkov O.** Improvement of the quality control methodology of control program development using a work simulator CNC lathe
- Стукалець І. Г., Коробка С. В., Скляр О. Г., Болтянський Б. В., Скляр Р. В.** Оформлення креслеників у середовищі solidworks відповідно до національних стандартів України та міждержавних стандартів 150
- Stukalets I., Korobka S., Skliar O., Boltianskyi B., Skliar R.** Design of engineering drawings in solidworks according to national standards of Ukraine and interstate standards
- Залевська О. В., Можаровський В. М., Суворов Л. В., Половий А. С., Оленєва К. Д.** Моделювання колінного суглоба з використанням методів геометричного моделювання та фрактальної геометрії на основі даних з магнітно-резонансної терапії 166
- Zalevska O., Mozharovsky V., Suvorov L., Polovyi A., Oleneva K.** Modeling of knee joint using geometric modeling and fractal geometry methods based on magnetic resonance therapy data



## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Семко Т. В., Іваніщева О. А., Пахомська О. В., Корчак М. І.**  
Дослідження можливостей інноваційного обладнання АМС у ресторанних технологіях 176
- Semko T., Ivanishcheva O., Pahomska O., Korchak M.** Research of the possibilities of amc innovative equipment in restaurant technology
- Бандура В. М.** Ресторани – можливості для енергоефективності 186
- Bandura V. N.** Restaurants – opportunities for energy efficiency
- Фучаджи Н. О., Кузьмінська І. М.** Піноутворення в технологічних операціях шляхом збивання 196
- Fuchadzhi N., Kuzminska I.** Foam formation in technological operations through whipping



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

УДК 664.002. 5

Н. О. Фучаджи<sup>1</sup>, канд техн. наук

ORCID: 0000-0001-9433-6282

І. М. Кузьмінська<sup>2</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-0053-1501

<sup>1</sup> *Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*<sup>2</sup> *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 природних тваринного походження відносять: яєчний альбумін, желатин, сироватковий альбумін, казеїнат натрію; до природних 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. Fuchadzi<sup>1</sup>, I. Kuzminska<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University**

**<sup>2</sup> 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.



**ПРАЦІ**  
**Таврійського державного агротехнологічного університету**

*Наукове фахове видання*

**Випуск 24, том 2**

*Заснований у 1998 р*  
*Виходить три рази на рік*

Свідоцтво про державну реєстрацію  
Друкованого засобу масової інформації  
Міністерство юстиції  
КВ 24285-14125 ПР від 27.12.2019 р.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Панченко А.І.

---

Підписано до друку 01.06.2024 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 23,95. Наклад 100.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»  
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: mailbox@helvetica.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.