

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ
ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА В ПОЛІ
УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ**

Г.М. Постнов, Г.М. Шипко, В.М. Червоний, О.М. Постнова

Наведено результати експериментальних досліджень щодо використання ультразвукової обробки для ефективного проведення процесу гомогенізації молока, проведено дослідження щодо вивчення впливу ультразвукової обробки на ефективність процесу. Результати досліджень сприятимуть формулюванню основних технологічних, експлуатаційних та екологічних вимог для ефективного проведення процесу гомогенізації молока, а також запропонуванню принципової схеми апаратурного оформлення відповідного процесу.

Ключові слова: *ультразвук, гомогенізація, молоко, частота, розмір, дисперсна фаза.*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА
ГОМОГЕНИЗАЦИИ МОЛОКА В ПОЛЕ
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН**

Г.М. Постнов, А.Н. Шипко, В.Н. Червоний, О.Н. Постнова

Приведены результаты экспериментальных исследований по использованию ультразвуковой обработки для эффективного проведения процесса гомогенизации молока, проведено исследование по изучению влияния ультразвуковой обработки на эффективность процесса. Результаты исследований будут способствовать формулировке основных технологических, эксплуатационных и экологических требований для эффективного проведения процесса гомогенизации молока, а также предложению принципиальной схемы аппаратурного оформления соответствующего процесса.

Ключевые слова: *ультразвук, гомогенизация, молоко, частота, размер, дисперсная фаза.*

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF PROCESSES
HOMOGENIZATION OF MILK IN THE ULTRASONIC FIELD**

G. Postnov, G. Shipko, V. Chervonyi, O. Postnova

The results of experimental studies on the use of ultrasonic treatment for the effective conduct of the process of milk homogenization are proposed. The authors studied the influence of ultrasonic treatment on the process effectiveness.

Regression dependences correlate with the experimental data with a correlation coefficient $k = 0,95...0,99$, which indicates a unique functional relationship between the variables under research.

Mathematical dependences allow to evaluate effectiveness of the process of ultrasonic milk homogenization at frequencies of 15, 22, 35 kHz, and to characterize the resulting product as a micro-heterogeneous.

According to the research, it is found that at the frequency 35 kHz, unsatisfactory results are obtained as compared with the frequencies 15 and 22 kHz. Thus, at frequency of 22 kHz in the range of fat globules' sizes to 3 microns, the obtained results were 18...20% higher than at 35 kHz under the same conditions. However, an important factor is that the frequency of 15 kHz is the upper limit frequency of oscillation, which a human ear is able to feel, so their use in food plants is improbable.

During the experiments, it was found that treatment of milk with 3.2% fat content by ultrasonic waves of 22 kHz frequency, allows to achieve greater fineness ratio within 27...64%.

At the next stages of research, it is planned to determine the influence of ultrasonic treatment on the change of microbiological indicators.

The results of the research will contribute to the formulation of basic technological, operational and environmental requirements for effective homogenization of milk, and to the proposal of the conceptual design of hardware for the appropriate process.

Keywords: *ultrasound, homogenization, milk, frequency, size, dispersed phase.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. У складі молока міститься 87,3% води, 12,5% сухих речовин, у тому числі 3,8% молочного жиру, 3,3% білків, 4,7% молочного цукру, 0,7% мінеральних речовин. Особливість багатьох компонентів молока в тому, що природа не повторює їх ні в якому іншому продукті харчування [1–2].

У молоці жир розподілений у вигляді жирових кульок, оточених складною білковою оболонкою, тобто являє собою емульсію молочного жиру у воді. Розмір жирових кульок коливається від 1 до 5 мкм. Причому, кількість жирових кульок, що мають розмір більше 2 мкм, становить більше 50% і залежить від породи та індивідуальних особливостей корови [3–4].

Поживна цінність молока значною мірою визначається розмірами частинок жиру в ньому. Надтонке дроблення жиру в емульсіях сильно змінює властивості вихідного продукту. У проведених дослідженнях австралійських учених доведено, що дроблення жирових кульок молока до менших, ніж у початковому стані, розмірів майже на третину підвищує його поживну цінність [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мета гомогенізації – механічна стабілізація дисперсної фази для перешкодження процесам

розділення фаз, тобто утворення відстою вершків на поверхні продукту. Процес цей для молочної промисловості вкрай небажаний, а в деяких її галузях – навіть неприпустимий. Під час розшарування продукту зростає швидкість його скисання, погіршуються (або припиняються) тривалі процеси дозрівання та ферментації під час виробництва кисломолочної продукції, зменшуються строки зберігання отриманого продукту, що особливо важливо під час зберігання молочних консервів. Згідно з рівнянням Стокса під час розділення відіграє найбільшу роль діаметр частинки, бо впливає на швидкість розділення, яка пропорційна квадрату діаметра частинки. Отже, після гомогенізації, що зменшує діаметр жирової кульки, час утворення відстою збільшується. До гомогенізації середній розмір жирової кульки молока коливається, за оцінками різних авторів у межах, 2,5...4 мкм, після неї – менше 1 мкм.

Крім зменшення розшарування продукту, використання гомогенізації має переваги: зменшуються відходи жиру в сироватку під час виробництва сиру у 8...10 разів, що дозволяє значно зменшити витрати цінного компонента молока – молочного жиру; гомогенізовані молочні та вершкові суміші для морозива легше збиваються та дають готовий продукт із кращим смаком і ніжнішою консистенцією; збільшення поверхні жирової фази полегшує засвоєння молочного жиру організмом людини; смакові та сенсорні властивості поліпшуються завдяки одночасному збільшенню в'язкості та покращенню консистенції.

У розвинених країнах Америки та Західної Європи гомогенізація разом із пастеризацією (стерилізацією) є нормативним процесом і використовується в усіх без винятку технологічних процесах молочної промисловості [6].

Одним із перспективних технологічних рішень із виробництва молочних продуктів дитячого харчування є організація попередньої обробки молока ультразвуком для диспергування.

За даними досліджень американських учених, під час ультразвукової обробки молока не відбувається руйнування найбільш лабільної частини вітаміну С і його вміст залишається практично рівним вихідному. Як відомо, пастеризація парою знижує концентрацію вітаміну С на 20...30%, інфрачервоним випромінюванням – на 10...15%, а кип'ятіння практично повністю руйнує вітамін С. Австралійські вчені стверджують, що ультразвукова обробка забезпечує не тільки підвищення поживної цінності молока, але і його стерилізацію, а оброблене ультразвуком і заморожене для тривалого зберігання молоко після розморожування повністю зберігає свої поживні та смакові якості [7].

Отримані дані свідчать про широкі можливості використання ультразвукової обробки для виробництва молочних продуктів дитячого харчування.

На ринку молочного устаткування ультразвукові гомогенізатори представлені одиничними моделями. Зокрема, ТОВ «Юнітерм» (Росія) пропонує ультразвукове обладнання – гомогенізатори проточного типу УЗК 05 та УЗК 07 [8]. Установка являє собою кільцевий ультразвуковий перетворювач оригінальної конструкції, виконаний на сучасних п'єзоелементах. Проте в цих конструкціях не реалізована можливість зміни частоти коливань ультразвукових хвиль.

Мета статті – удосконалення способу гомогенізації молока шляхом використання ультразвукових хвиль, що забезпечує отримання кінцевого продукту високої якості, зниження його собівартості, скорочення тривалості процесу тощо.

Вклад основного матеріалу дослідження. На кафедрі устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва проводяться дослідження з вивчення впливу ультразвукових хвиль на ефективність процесу гомогенізації молока.

У ході проведення експериментальних робіт було визначено розподіл розмірів жирової фази в молоці від тривалості ультразвукової обробки. Частота ультразвукової обробки була обрана зі стандартного ряду магнітострикційних випромінювачів, що випускаються промисловістю – 15, 22 та 35 кГц. Тривалість була обрана 45, 90, 135 та 180 с із розрахунку того, що збільшення тривалості обробки призводить до різкого збільшення температури суміші, унаслідок чого стає неможливим отримання емульсії з високими показниками якості (стійкість, дисперсність) або емульсії взагалі. Кількість речовини, що обробляється, становить $0,5 \text{ дм}^3$.

Для проведення обробки було підготовлено спеціальну ємність, яка має високі відбивальні властивості ультразвукових хвиль. Обробку проводили, використовуючи ємність із нержавіючої сталі Ст25 діаметром 0,065 м, висотою 0,15 м, товщина стінок ємності $0,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Отримана проба піддавалась мікроскопіюванню та фотофіксації результатів. На наступному етапі фотоматеріали завантажувалися в ЕОМ та за допомогою програми «UTHSCSA ImageTool» було отримано результати вимірювання. Статистична обробка результатів проводилась із використанням програми «Microsoft Office Excel».

Необхідну кількість інтервалів розбивки визначено за умов допустимості похибки апроксимації кривої розподілу для випадку квантування половини кривої нормального закону розподілу.

У ході досліджень було визначено кількість кульок жирової фази в заданих інтервалах з кроком $h = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. На основі

експериментальних даних розподілу жирових кульок від діаметра було побудовано диференціальну функцію розподілу. Моделюючи диференціальну функцію згладженою монотонною функцією, чисельно отримуємо інтегральну функцію за формулою $F(x) = \int_{-\infty}^d f(r)dr$. У цьому разі $f(r)dr$ визначає ймовірність того, що розмір кульки буде перебувати в інтервалі $(r \pm \Delta r)$, тобто $(r - \Delta r \leq r_0 \leq r + \Delta r)$. Таким чином, отримуємо інтегральну функцію $F(d)$, що визначає ймовірність того, що діаметр жирової кульки не буде перевищувати величину d , тобто $F(d) = F(R < r)$, де $r \in R$. Функція розподілу має вигляд:

$$F(d) = 1 - e^{a_1 d^* + a_2 d^* + a_3 d^*}, \quad (1)$$

де d^* – середнє значення окремого інтервалу, м.

Значення коефіцієнтів a_1, a_2, a_3 наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів a_1, a_2, a_3 для функції розподілу (1) за різних значень частот ультразвукової обробки

Значення коефіцієнтів	Частота ультразвукової обробки, кГц											
	15				22				35			
	Тривалість експозиції, с											
	45	90	135	180	45	90	135	180	45	90	135	180
$a_1 \cdot 10^2$	31,4	40,2	85,6	78,3	34,1	39,4	86,5	86,0	40,1	38,4	39,8	41,6
$a_2 \cdot 10^2$	0,7	-1,8	-7,7	-9,6	-1,2	-1,1	-6,5	-9,3	-6,1	-4,5	-4,1	-5,1
$a_3 \cdot 10^2$	0,1	0,3	0,5	0,8	0,2	0,1	0,4	0,7	0,6	0,5	0,4	0,5

Регресійні залежності корелюють із експериментальними значеннями з коефіцієнтом кореляції $k = 0,95 \dots 0,99$, що говорить про однозначний функціональний зв'язок між досліджуваними величинами.

За результатами досліджень виявлено, що за частоти 35 кГц отримано незадовільні результати порівняно з частотами 15 та 22 кГц. Так, за частоти 22 кГц в інтервалі розмірів жирових кульок до 3 мкм були отримані результати на 18...20% вищі, ніж за 35 кГц за тих самих умов. Проте, важливим чинником є те, що частота 15 кГц є верхньою граничною частотою коливань, які здатне відчувати людське вухо, тому їх використання на харчових підприємствах малоімовірне.

Отримані графічні залежності для частоти ультразвукової обробки 22 кГц наведено на рисунку.

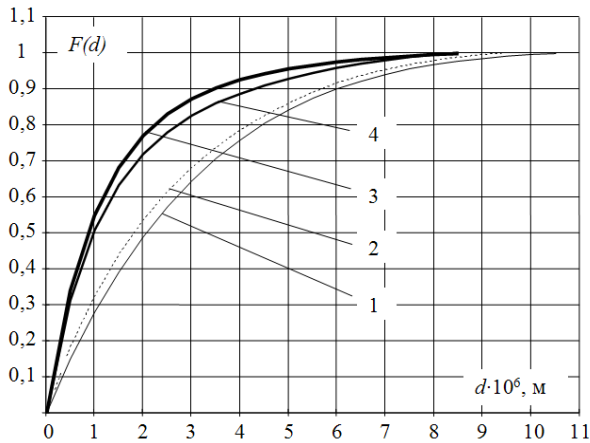


Рис. Інтегральна функція розподілу $F(d)$ розмірів кульок дисперсної фази d в молоці за частоти 22 кГц та тривалості ультразвукової обробки с: 1 – 45; 2 – 90; 3 – 135; 4 – 180

Отримані дані свідчать про те, що обробка ультразвуковими хвилями частотою 22 кГц молока жирністю 3,2% дозволяє досягти підвищення коефіцієнта дисперсності на 27...64% протягом ультразвукової обробки тривалістю 135...180 с.

Математичні залежності дають змогу оцінити ефективність проведення процесу ультразвукової гомогенізації молока за частот 15, 22 і 35 кГц та охарактеризувати отриманий продукт як мікрогетерогенний. Проте ці дані не дають змоги класифікувати отриманий продукт за ступенем дисперсності за різної тривалості обробки.

Універсальність і високу швидкість процесу ультразвукової обробки можна пояснити тим, що під час накладання ультразвукових коливань порушується приграничний шар частинок середовища, що збільшує активну поверхню речовини [8].

Висновки. У ході проведення експериментів було виявлено, що обробка ультразвуковими хвилями частотою 22 кГц молока жирністю 3,2% дозволяє домогтися підвищення коефіцієнта дисперсності на 27...64%. На наступних етапах досліджень планується визначити вплив ультразвукової обробки на зміну мікробіологічних показників.

Отримані результати будуть упроваджені в навчальний процес Харківського державного університету харчування та торгівлі, а саме під час виконання дипломного проекту магістра планується обґрунтувати можливість використання ультразвукових установок для виробництва молочних продуктів на промислових потужностях підприємства ПАТ «Яготинське для дітей» (Україна), розробити конструкцію ультразвукового диспергатора та адаптувати технологічну схему виробництва гомогенізованого молока.

Список джерел інформації / References

1. Шалыгина А. М. Общая технология молока и молочных продуктов / А. М. Шалыгина, Л. В. Калинина. – М. : КолосС, 2006. – 199 с.
Shalygina, A.M., Kalinin, L.V. (2006), *General technology of milk and dairy products [Obshchaya tekhnologiya moloka i molochnykh produktov]*, Kolos, Moscow, 199 p.
2. Твердохлеб Г. В. Химия и физика молока и молочных продуктов / Г. В. Твердохлеб, Р. И. Раманаускас. – М. : Де Ли Принт, 2006. – 306 с.
Tverdohleb, G.V., Ramanauskas, R.I. (2006), *Chemistry and physics of milk and milk products [Khimiya i fizika moloka i molochnykh produktov]*, De Li Print, Moscow, 306 p.
3. Кузнецов В. В. Справочник технолога молочного производства: Технология и рецептуры. Т. 6. Технология детских молочных продуктов / В. В. Кузнецов, Н. Н. Липатов. – СПб. : ГИОРД, 2005. – 512 с.
Kuznetsov, V.V., Lipatov, N.N. (2005), *Directory technologist milk production: technology and formulations. T. 6: Technology infant products [Spravochnik tekhnologa molochnoho proyzvodstva: Tekhnologiya y retseptury. T. 6. Tekhnologiya detskykh molochnykh produktov]*, GIORД, SPb, 512 p.
4. Шидловская В. П. Органолептические свойства молока и молочных продуктов : справочник / В. П. Шидловская. – М. : Колос, 2004. – 360 с.
Shidlovskaya, V.P. (2004), *Organoleptic properties of milk and dairy products: Handbook [Orhanoleptycheskiye svoystva moloka y molochnykh produktov : spravochnik]*, Kolos, Moscow, 360 p.
5. Feng, H., Barbosa-Canovas, G.V., Weiss, J. (2010), *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, Springer, New York, 678 p.
6. Фиалкова Е. А. Гомогенизация. Новый взгляд : монография-справочник / Е. А. Фиалкова. – СПб. : ГИОРД, 2006. – 392 с.
Fialkova, E.A. (2006), *Homogenization. New view: Monograph-reference book [Gomogenizatsiya. Novyyiy vzglyad]*, GIORД, SPb, 392 p.
7. Wu, H., Hulbert, G.J., Mount, J.R. (2000), “Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter”, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, No. 1, pp. 211-218.
8. Отримання водно-жирових емульсій за допомогою ультразвуку / Г. В. Дейниченко, Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний, Д. А. Нечипоренко. – Х. : Факт, 2013. – 192 с.

Deynychenko, G.V., Postnov, G.M., Chekanov, M.A., Chervonyi, V.M., Nechiporenko, D.A. (2013), *Getting water-fat emulsions with ultrasound [Otrymannya vodno-zhyrovyykh emul'siy za dopomohoyu ul'trazvuku]*, Fakt, Kharkiv, 192 p.

Постнов Геннадій Михайлович, канд. техн. наук, проф., кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Постнов Геннадий Михайлович, канд. техн. наук, проф., кафедра оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М.И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Postnov Gennady, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of food and hotel industry equipment named after M.I. Belyaev, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Шипко Ганна Миколаївна, магістрант, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Шипко Анна Николаевна, магістрант, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht @ gmail.com.

Shipko Ganna, magistrate, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Червоний Віталій Миколайович, канд. техн. наук, доц., кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Червоный Виталий Николаевич, канд. техн. наук, доц., кафедра оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М.И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Chervonyi Vitalii, Candidate of Technical Sciences, Assoc. Professor, Department of food and hotel industry equipment named after M.I. Belyaev, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Постнова Ольга Миколаївна, канд. техн. наук, доц., кафедра технологій переробних і харчових виробництв, Навчально-науковий інститут переробних і харчових виробництв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка. Адреса: вул. Мироносицька, 92, м. Харків, Україна, 61023. Тел.: (057)700-39-15; e-mail: olgen06@mail.ru.

Постнова Ольга Николаевна, канд. техн. наук, доц., кафедра технологій перерабатывающих и пищевых производств, Учебно-научный институт перерабатывающих и пищевых производств, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко. Адрес: ул. Мироносицкая, 92, г. Харьков, Украина, 61023. Тел.: (057)700-39-15; e-mail: olgen06@mail.ru.

Postnova Olga, Candidate of Technical Sciences, Assoc. Professor, Department of Technology and food processing industries, Education and Research Institute and food processing industries, Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture. Address: Str. Mironositskaya 92, Kharkiv, Ukraine, 61023. Tel.: (057)700-39-15; e-mail: olgen06@mail.ru.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.В. Погарською.
Отримано 15.10.2016. ХДУХТ, Харків.*

УДК 637.5.031.001.76

СУЧАСНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ОЧИЩЕННЯ СЛИЗОВИХ ТА ШЕРСТНИХ СУБПРОДУКТІВ

Н.О. Афукова, Д.В. Горелков, Д.В. Дмитревський, О.С. Носков

Розглянуто проблемні питання переробки м'ясної сировини, наведено аналіз ринку виробництва м'ясної сировини, зокрема великої рогатої худоби, висвітлено питання обробки субпродуктів, проведено аналіз обладнання та процесів, що використовуються для очищення слизових субпродуктів, запропоновано технічні рішення вдосконалення процесу очищення слизових субпродуктів.

***Ключові слова:** велика рогата худоба, слизові субпродукти, комбіновані процеси очищення, енергоефективність, ресурсозбереження.*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМНЫХ ВОПРОСОВ ОЧИСТКИ СЛИЗИСТЫХ И ШЕРСТНЫХ СУБПРОДУКТОВ

Н.А. Афукова, Д.В. Горелков, Д.В., Дмитревский, А.С. Носков

Рассмотрены проблемные вопросы переработки мясного сырья, приведен анализ рынка мясного сырья, в частности крупного рогатого

© Афукова Н.О., Горелков Д.В., Дмитревський Д.В., Носков О.С., 2016