

14. Пелевін Л. Є., Балака М. М., Аржаєв Г. О. Мехатронні системи гідропневмоавтоматики. К.: Аграр Медіа Груп, 2014. 192 с.

15. Pelevin L. Ye., Balaka M. M., Prystailo M. O., Machyshyn H. M., Arzhaiev H. O. Teoretichni osnovy vzaiemodii pruzhno-deformovanykh vykonavchykh elementiv budivelnoi tekhniki i robochoho seredovyscha z vrakhuvanniam termoreolohichnykh protsesiv [Interaction theoretical foundations of elastically deformed actuating elements for construction equipment and working environment taking into account thermorheological processes]: monograph. Kyiv: Interservis, 2015. 232.

УДК 637.134.001.57

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИСПЕРГУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ ANSYS WORKBENCH

Н.О. Паляничка¹, О.О. Ковальов²

¹доцент кафедри обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика, е-mail: nadiia.palianychka@tsatu.edu.ua

²старший викладач кафедри обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика, е-mail: oleksandr_kovalov@tsatu.edu.ua

^{1,2}Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Запоріжжя, Україна

Анотація. У роботі представлено дослідження процесу диспергування емульсій за допомогою комп'ютерного моделювання в середовищі Ansys Workbench. Аналіз процесу здійснювався на прикладі імпульсного гомогенізатора молока, який можна використовувати в технологічних лініях переробки молока та виробництва молочної продукції.

Ключові слова: диспергування, емульсія, Ansys Workbench, моделювання.

RESEARCH OF THE EMULSION DISPERSION PROCESS USING COMPUTER MODELING IN THE ANSYS WORKBENCH ENVIRONMENT

Nadiia Palianychka¹, Alexandr Kovalov²

¹Associate Professor, Department of Processing and Food Production Equipment named after professor F. Yalpachik, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Zaporizhzhya, Ukraine, e-mail: nadiia.palianychka@tsatu.edu.ua

²Senior Lecturer Department of Processing and Food Production Equipment named after professor F. Yalpachik, Zaporizhzhya, Ukraine, e-mail: oleksandr_kovalov@tsatu.edu.ua

Abstract. The paper presents a study of the emulsion dispersion process using computer modeling in the Ansys Workbench environment. The process analysis was carried out on the example of a pulsed milk homogenizer, which can be used in technological lines for milk processing and dairy product production.

Keywords: dispersion, emulsion, Ansys Workbench, modeling.

Вступ. Отримання тонкодисперсних емульсій через процес гомогенізації є широко застосовуваним у харчовій, хімічній, фармацевтичній, сільсько-господарській та косметичній промисловостях [1]. Зокрема, у сільському господарстві така технологія є критично важливою для створення пестицидних емульсій. У фармацевтичній галузі – це основа виробництва інгаляційних препаратів, внутрішньовенних емульсій та клітинних лізатів. У парфумерії та косметології гомогенізація забезпечує змішування олій у складні ароматичні суміші.

Особливо поширене використання гомогенізації в харчовій і переробній галузях. Цей процес запобігає розшаруванню при зберіганні таких продуктів як меланжі, згущене молоко, морозиво, майонез, кетчуп тощо.

У молочній індустрії гомогенізація є ключовою технологічною операцією під час виробництва молока, кисломолочних продуктів, консервів, сирів і морозива. Зменшення розміру жирових кульок покращує не лише споживчі якості, а й біодоступність молока, що сприяє кращому засвоєнню поживних речовин.

Попри велику значущість, гомогенізація є однією з найбільш енергоємних операцій [2]. Серед технічних викликів – обмеження потужностей сучасних гомогенізаторів. Тому розробка ефективніших рішень з можливістю керування рівнем дисперсності є нагальною потребою.

Мета роботи полягає в аналізі процесу диспергування емульсій (на прикладі молока) шляхом моделювання в програмному середовищі Ansys Workbench.

Матеріал і результат досліджень. Проведений огляд показав, що на ефективність процесу найбільше впливають тиск у робочій камері та градієнт швидкості рідини [2,3]. Через складність прямих обчислень, було прийнято рішення здійснити моделювання швидкості та тиску за допомогою CFX-модуля системи Ansys Workbench [4,5,6].

Основними змінними у дослідженні виступали частота та амплітуда коливань поршня-ударника. Саме ці параметри визначають швидкість руху молока в імпульсному гомогенізаторі, а відтак – й інтенсивність диспергування.

За допомогою Solidworks було змодельовано тривимірну конструкцію робочої камери пристрою (рис. 1), яку пізніше інтегровано у CFX-модуль [4].

Для розрахунків було використано геометричні параметри та фізико-хімічні характеристики молока: $D = 0,3$ м; $d_{\text{вхід}} = 0,008$ м; $d_{\text{вих}} = 0,002$ м; $n = 16$; $S_{\text{пор}} = 12$ мм; $h = 2\text{--}12$ мм; $f = 45\text{--}55$ Гц; $\rho_{\text{м}} = 1029$ кг/м³; $\rho_{\text{л}} = 1035$ кг/м³; $\mu = 0,00179$ Па·с; $\sigma_{\text{пов-плазма}} = 0,054$ Н/м; $\sigma_{\text{пов-жир}} = 0,030$ Н/м.

Область моделі поділили на дві: зона отворів у поршнях-ударниках та зона між поршнями і циліндром. На першому етапі було проведено стаціонарний розрахунок методом замороженого ротора (Frozen rotor), який дав змогу оцінити попередній розподіл швидкості й тиску. Найкращі показники виявлено при частоті 55 Гц, яка забезпечує достатню швидкість потоку без надмірного зростання енергоспоживання.

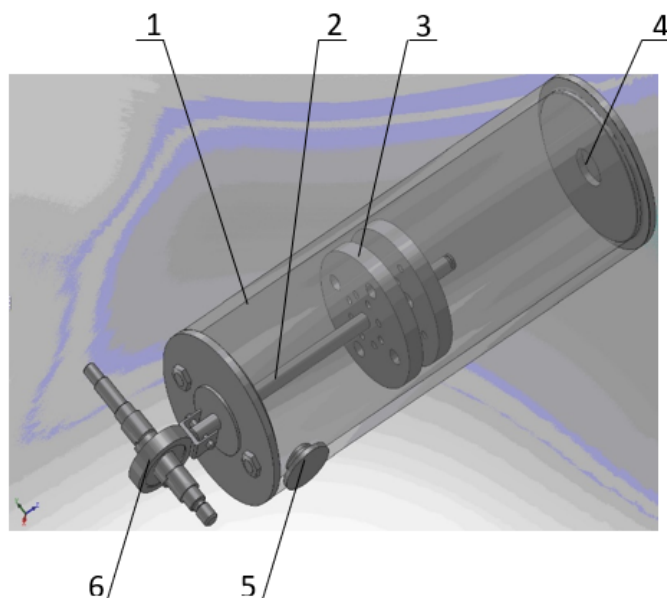


Рис. 1. – Модель робочої камери імпульсного гомогенізатора виконаної в Solidworks: 1 – циліндр; 2 – шток; 3 – поршні-ударники; 4 – патрубок підведення; 5 – патрубок відведення; 6 – кривошипний механізм.

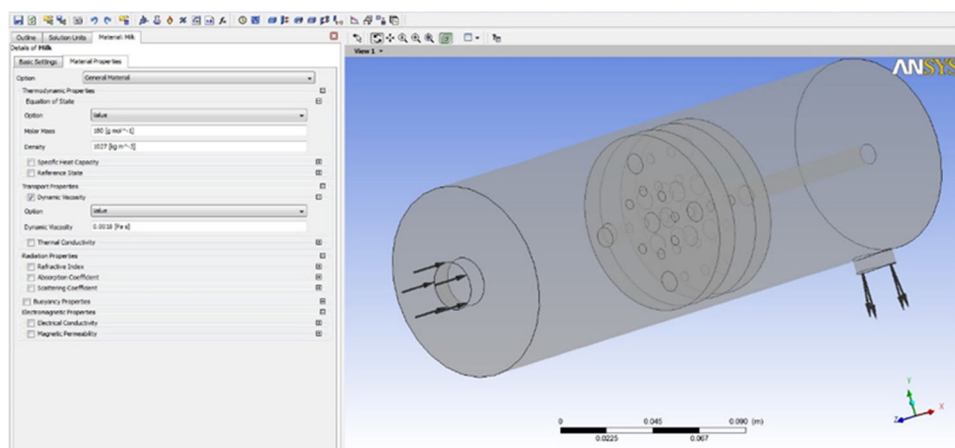


Рис. 2. – Вікно вихідних даних в Ansys Workbench

У нестационарному розрахунку застосовано амплітуду 12 мм, що була поділена на 6 інтервалів. Похибка в рівняннях не перевищувала 10^{-5} , що вважається прийнятним рівнем для аналізу рідинної динаміки.

Основним критерієм ефективності гомогенізації був градієнт швидкості. Для цього проаналізовано зміну швидкості потоку молока вздовж камери – від першого поршня до виходу з другого, лінії токів яких представлені на рис. 3.

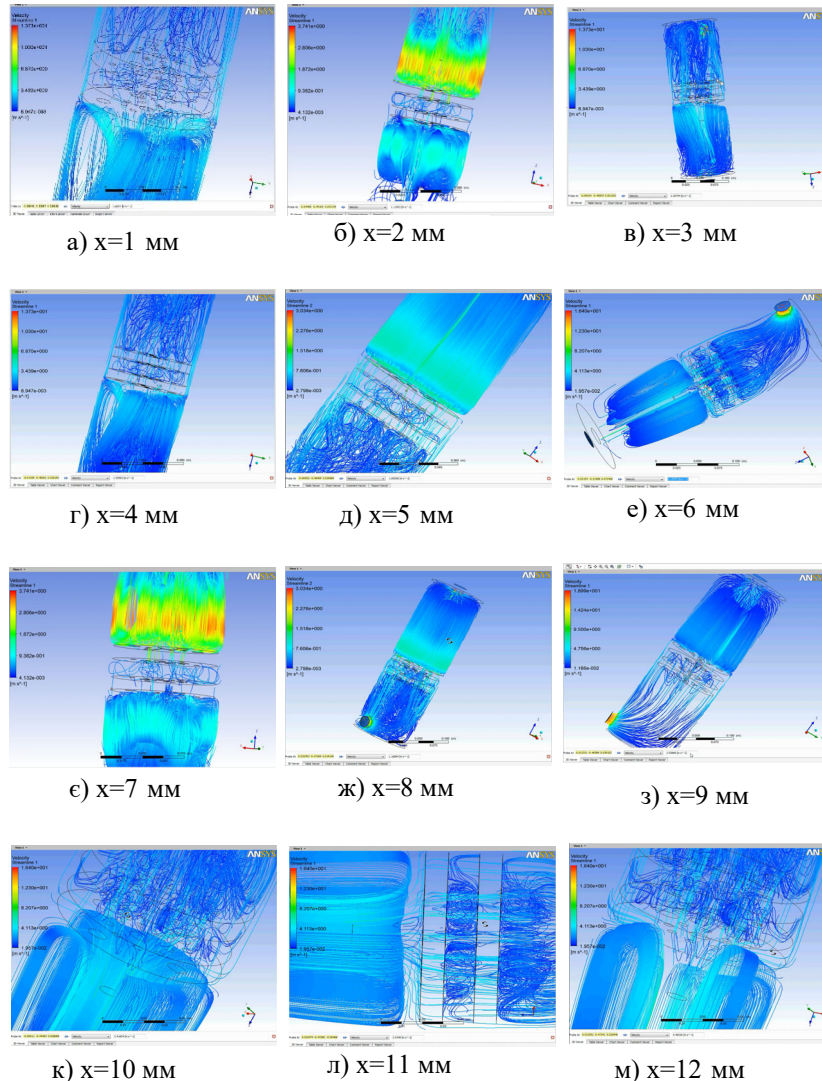


Рис. 3. – Трьохвимірні графіки ліній току розподілу швидкості потоку молока на виході з другого поршня-ударника в залежності від відстані x по довжині робочої камери імпульсного гомогенізатора виконані в Ansys Workbench.

Отримані залежності наведено у вигляді графіку (рис. 4), а самі рівняння мають вигляд:

$$\frac{du_1}{dx} = 0,0025x^4 - 0,0648x^3 + 0,5859x^2 - 2,0208x + 2,2607 \quad (1)$$

$$\frac{du_2}{dx} = 0,001x^4 - 0,0236x^3 + 0,245x^2 - 0,981x + 1,4537 \quad (2)$$

$$\frac{du_3}{dx} = 0,003x^4 - 0,07x^3 + 0,5133x^2 - 1,2852x + 0,9575 \quad (3)$$

$$\frac{du_4}{dx} = 0,0482x + 0,0631 \quad (4)$$

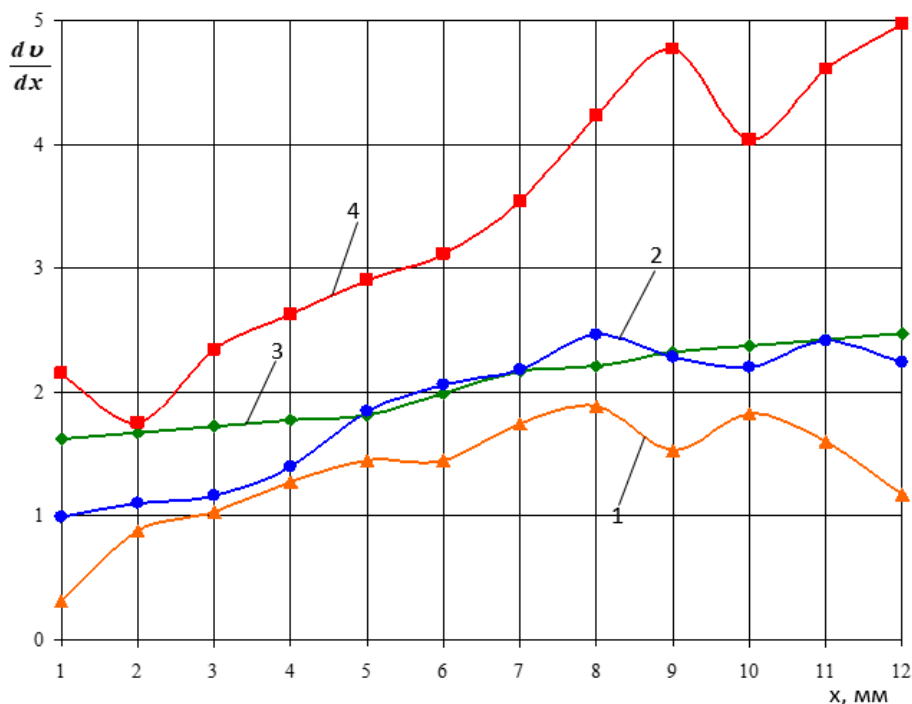


Рис. 4. – Графік залежності градієнтів швидкості від довжини робочої камери імпульсного гомогенізатора: 1 – на виході з першого поршня-ударника; 2 – між поршнями; 3 – поза поршнями; 4 – на виході з другого поршня-ударника.

На рис. 4 видно, що найбільші градієнти виникають на виході з другого поршня-ударника. Це свідчить про високу ймовірність досягнення найвищого ступеня гомогенізації саме в цій зоні.

Висновки. Моделювання в Ansys Workbench довело свою ефективність у дослідженні гідродинамічних процесів у гомогенізаторі. Проведений аналіз показав, що найінтенсивніше подрібнення жирових частинок відбувається на виході з отворів другого поршня-ударника, де створюються найвищі градієнти швидкості. Це підтверджує перевагу імпульсного принципу дії в порівнянні з традиційними підходами до гомогенізації. Тож, дане моделювання можливо використовувати для інших типів диспергуючого обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Samoichuk, K., Kovalyov, A., Fuchadzhy, N., Bezalychna, O., Shevtsova, A.: Energy Costs Reduction for Dispersion Using a Jet-Slot Type Milk Homogenizer. *Energies* 16(5), 2211 (2023). <https://doi.org/10.3390/en16052211>
2. Wilbey R. A. Homogenization of Milk: Principles and Mechanism of Homogenization, Effects and Assessment of Efficiency: Valve Homogenizers. In: Fuquay W, J., Fox F. P., McSweeney L. H. P (Eds.), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (2nd Ed.), Elsevier, Netherlands. 750-754 (2011). DOI:10.1016/B978-0-12-374407-4.00223-5
3. Паляничка Н. О. Використання енергоефективного обладнання для диспергування емульсій. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 1. С. 26–34. DOI: 10.31388/2078-0877-20-1-26-34.
4. Dagar N., Sharma R., Lal Rinawa M., Gupta S., Chaudhary V., Gupta P. Design and analysis of piston using aluminum alloy and composites in Solidworks and Ansys. *Materials Today: Proceedings*. 67, 5, 784-791 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.318>.
5. Гвоздєв О.В., Самойчук К.О., Паляничка Н.О. Комп'ютерне моделювання імпульсного гомогенізатора молока з використанням програмного забезпечення Ansys Workbench. Обладнання та технології харчових виробництв: зб. наук. Праць. Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. Донецьк: ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2012. Вип. 28. С. 294–299.
6. Palianychka, N., Samoichuk, K., Verkhohantseva, V., Sova, N., Kholobtseva, I. Quality Improvement of Emulsions Dispersion in the Pulsation Homogenizer Using Computer Simulation. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2025, страницы 735–745. DOI: 10.1007/978-3-031-82746-4_65.

УДК 621.9.02

**МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДОМ МОНТЕ КАРЛО ПРОЄКТНОЇ НАДІЙНОСТІ
ФОРМОУТВОРЕННЯ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ ВИРОБІВ****О.Л. Войчишен¹, К.В. Андрющенко², С.Т. Пацера³**¹аспірант, e-mail: voichyshen.o.l@nmu.one²аспірант, e-mail: andriushchenko.ky.v@nmu.one³професор, e-mail: sergiy.patsera@gmail.com^{1,2,3}кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У статті вибрано ефективні методи та алгоритмічна модель досліджень комп'ютерним моделюванням надійності процесу формоутворення складних поверхонь та контролю їх геометричних параметрів. Визначено залежність надійності виконання вимог до геометричної точності конкретної спіральної поверхні від співвідношення поля допуску заданого геометричного параметра та середньоквадратичного відхилення його випадкових реалізацій.