

2. Самойчук К.О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечійно-струменевого диспергатора молока: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / К.О. Самойчук. – Донецьк, 2008. – 155 с.
3. Брайнес Я.М. Процессы и аппараты химических производств / Я.М. Брайнес. – М.: Госхимиздат, 1947. – 597 с.
4. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности: [пер. с чеш.] / З. Штербачек, П. Тауск. – Ленинград: Гос. науч.-техн. изд-во хим. лит., 1963. – 417 с.
5. Пажи Д.Г Основы техники распыливания жидкости / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1984. – 256 с.
6. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович. – М.: Эколит, 2011. – 728 с.
7. Соколов В.Н. Аппаратура микробиологической промышленности / В.Н. Соколов, М.А. Яблоков. – Ленинград: Машиностроение, 1988. – 278 с.
8. Hinze J. Am Inst / J. Hinze // Chem Eng. J. – 1955. – P. 289-295.

УДК 637.134

Самойчук К.О., канд. техн. наук, доц., Івженко А.О. (ТДАТУ, Мелітополь)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРГУВАННЯ ЖИРОВОЇ ЕМУЛЬСІЇ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ АПАРАТІ З ВІБРУЮЧИМ РОТОРОМ

У статті подано результати експериментальних досліджень енерговитрат та якості диспергування жирової емульсії в пульсаційному апараті з вібруючим ротором.

Ключові слова: диспергування, роторно-пульсаційний апарат, вібрація, коливання, дослідження, експеримент.

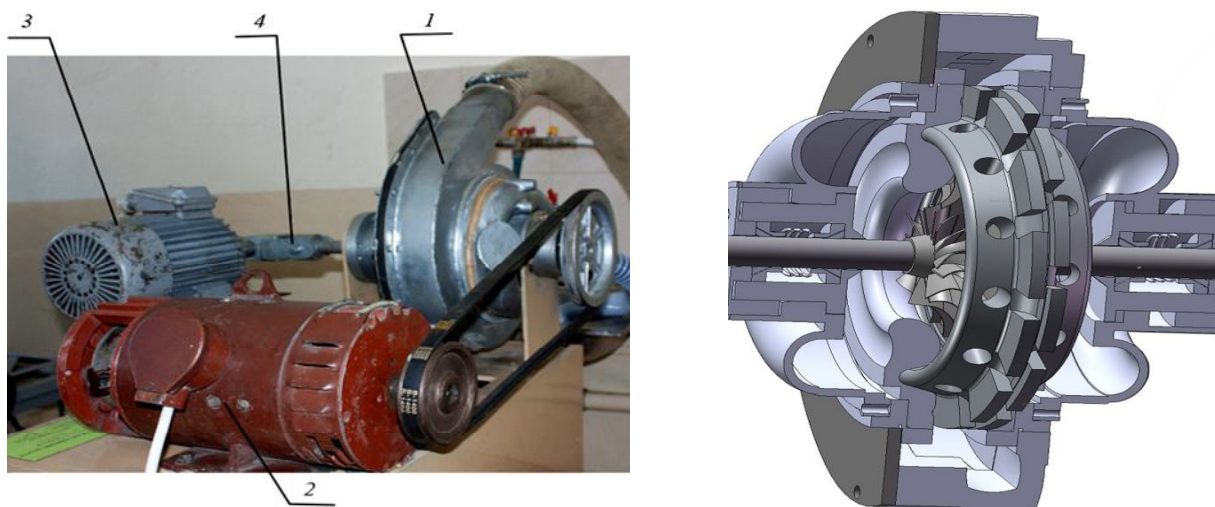
Постановка проблеми і її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Інтенсифікація технологічних процесів є одним із найважливіших завдань науки і техніки. Основою збільшення продуктивності устаткування і зниження енерговитрат на проведення технологічних процесів є створення й упровадження ефективних технологічних апаратів із малою питомою енергоємністю і матеріаломісткістю, високим ступенем впливу на речовини, що оброблюються. Для досягнення цих цілей розробляється і виготовляється нове вискоефективне устаткування, застосовуються різні фізико-хімічні ефекти та явища на основі науково-технічного прогресу і нових технологічних підходів.

Нині ширшого поширення набувають способи диспергування емульсивних систем у роторно-пульсаційних апаратах (РПА) різної модифікації. У РПА дія на потік середовища, що оброблюється, забезпечується примусовим перекриттям каналів його течії в системі ротор, що обертається, – нерухомий статор. При цьому в потоці виникають завихрення, удари, кавітація, що створюють іс-

тотний диспергувальний ефект. Вони характеризуються низькою питомою енерго- і металоємністю за високої якості готового продукту. У процесі дослідження дисперсності емульсій, що готуються на РПА, встановлено, що середній діаметр часток дисперсної фази наближається до обробленого у клапанному гомогенізаторі, що, у свою чергу, свідчить про високий ступінь дисперсності та агрегативної стійкості емульсії [1].

Одним з ефективних способів інтенсифікації імпульсних апаратів, до яких належить роторний-пульсаційний, є використання вібраційного впливу гармонійними коливаннями. Відомо, що механічний вплив на емульсію в пульсаційних апаратах, викликаний розвиненою турбулентністю, інтенсивною акустичною імпульсною кавітацією, великою напругою зсуву, гідравлічними ударами може бути значно підсилений за використання гармонійних коливань, що накладено на середовище, що оброблюється, наприклад, із використанням вібруючого ротора [2]. Разом із тим дослідженням таких роторно-пульсаційних апаратів приділено надто мало уваги, що, можливо, викликано складністю виготовлення лабораторного зразка такого апарату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нами розроблено модель та експериментальну установку роторного-пульсаційного апарату з вібруючим уздовж своєї осі ротором (рисунок 1) [3; 4]. Конструкція та геометрія апарату виконувалась відповідно до останніх досліджень та рекомендацій для проектування РПА, призначених для диспергування та гомогенізації жирових емульсій [2].



а) загальний вигляд установки;

б) конструкція ротора.

1 – роторно-пульсаційний апарат у зборі; 2 – електродвигун приводу обертання ротора; 3 – електродвигун приводу коливального механізму ротора; 4 – кривошипний механізм.

Рисунок 1 – Експериментальна установка пульсаційного апарату з вібруючим ротором

Постановка завдання. Для дослідження ефективності диспергування жирової емульсії в пульсаційному апараті з вібруючим ротором необхідно провес-

ти експериментальні дослідження й оцінити ефективність використання вібрації для інтенсифікації процесу диспергування з визначенням основних характеристик процесу диспергування: середнього розміру жирових часток та енерговитрат.

Виклад основного матеріалу дослідження. Із досвіду дослідження РПА основними впливовими параметрами процесу диспергування виділені: частота обертання ротора, тривалість оброблення та її кратність. Час оброблення в проведеному дослідженні регулювали за допомогою перекриття заслінки на виході з апарату. Як емульсію використовували рослинну олію у воді з концентрацією 4% як найбільш близьку до природної молочної емульсії. Критеріями оптимізації обрано питомі енерговитрати (відношення енерговитрат до продуктивності апарату) і середній розмір жирових часток емульсії. Енерговитрати визначали вимірюванням потужності, що споживалась електродвигунами установки, продуктивність – відношенням об'єму емульсії, що оброблювалась, до часу оброблення. Середній діаметр жирових часток емульсії – мікрофотографуванням цифровою камерою. Кожен дослід повторювався 3 рази, після чого визначалося середнє арифметичне, здійснювалась перевірка на грубі похибки (методом оцінки максимальних розбіжностей результатів дослідів). Із кожної проби емульсії відбирали 10-15 характерних мікрофотографій та визначали середній розмір жирових часток.

Аналіз даних, що одержали, проводили повним факторним експериментом із поданням математичної моделі (функції відгуку) у вигляді лінійного полінома і дослідженні останнього методами математичної статистики. Описати область оптимуму лінійним рівнянням регресії не вдалося через крутизну площин факторного простору і значущість коефіцієнтів взаємодії факторів і квадратичних ефектів, тому область оптимуму описується поліномом другого порядку. У таблиці 1 подано фактори експерименту, що проводився, та рівні їх варіювання.

Таблиця 1 – Фактори та рівні їх варіювання

Чинник	Одиниця виміру	Рівні варіювання чинників				Позначення
		-1	0	+1	Δ_i	
Частота обертання ротора	Об/хв	1000	1500	2000	500	X_1
Ступінь відкриття заслінки	Відсотки	40	70	100	30	X_2

Кожен повнофакторний експеримент проводився для 4-х випадків:

- однократне оброблення без вібрації;
- двократне оброблення без вібрації;
- однократне оброблення з вібрацією;
- двократне оброблення з вібрацією.

Температура продукту під час проведення досліджень становила 60-65°C, параметри коливальності ротора: частота – 900 хв⁻¹, амплітуда – 0,5 мм.

Для однократного оброблення без вібрації розмір часток рівномірно зменшується з підвищенням частоти обертання ротора (рисунок 2а), що пояснюєть-

ся збільшенням щільності енергії, що підводиться до робочого об'єму продукту. Подібний характер має вплив ступеня відкриття заслінки і пояснюється збільшенням часу оброблення.

Енерговитрати є очікувано мінімальними за мінімальної частоти обертання та мінімального опору всмоктуванню емульсії – повністю відкритій заслінці (рисунок 2б).

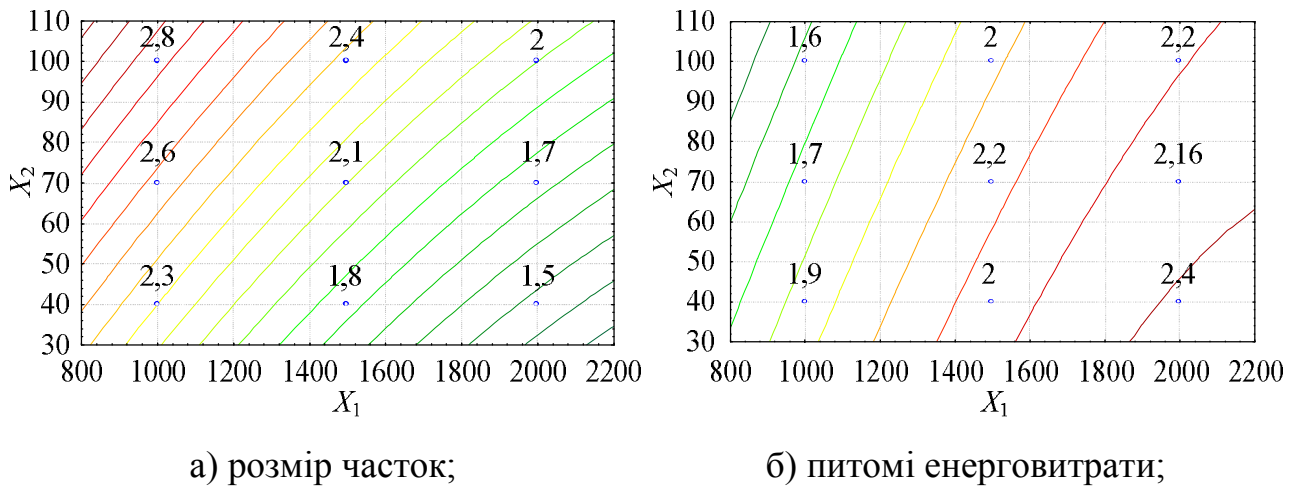


Рисунок 2 – Поверхня і лінії рівнів відгуку функції за однократного оброблення

Розкодована модель прогнозування розміру жирової частки:

$$y_i = 3,18 - 0,00144x_1 + 0,00883x_2 + 0,000000203 x_1^2 . \quad (1)$$

Розкодована модель енерговитрат:

$$y_i = 3,52 - 0,00252x_1 + 0,005x_2 + 0,000000588 x_1^2 . \quad (2)$$

Мінімальний розмір часток становить 1,6 мкм за частоти 1900-2000 об/хв. і ступені відкриття заслінки 40% за питомих енерговитрат 2,2-2,4 Дж/кг. Мінімальні енерговитрати – 1,6 Дж/кг за розміру часток 2,8 мкм.

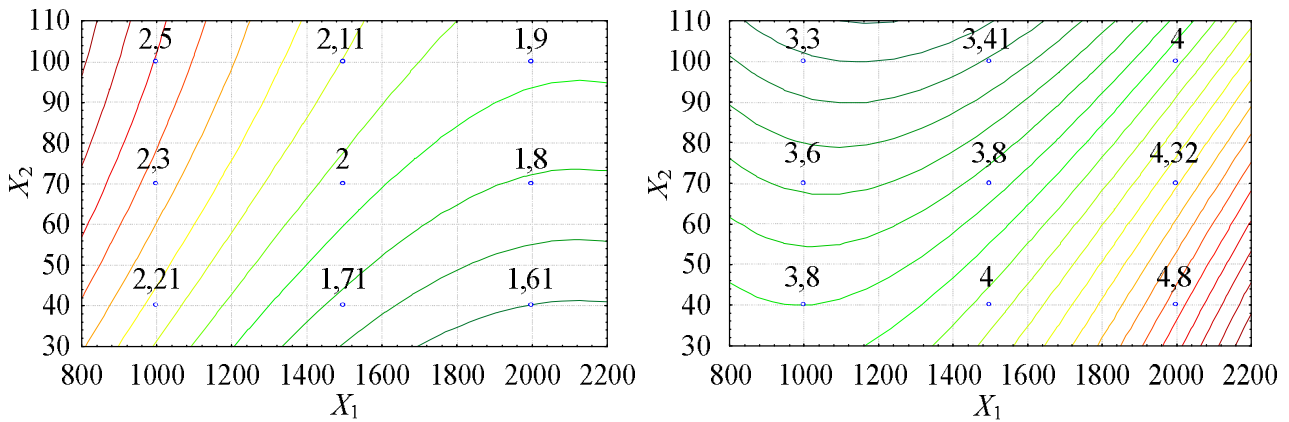
Для двократного оброблення характерним є підвищення ступеня дисперсності емульсії на 10-15% після оброблення за частот 1000-1600 об/хв і мінімального відкриття заслінки, порівняно з однократним (рисунок 3 а). За частот 1800-2000 об/хв якість оброблення практично не відрізняється від однократного, але енерговитрати зростають майже в 2 рази (рисунок 3 б). Таким чином, збільшення кратності оброблення в пульсаційному апараті є неефективним і не призводить до збільшення ефективності, як це спостерігається, наприклад, у клапанних гомогенізаторах.

Розкодована модель прогнозування розміру жирової частки:

$$y_i = 3,459 - 0,00195x_1 + 0,00547x_2 + 0,00000046 x_1^2 . \quad (3)$$

Розкодована модель енерговитрат:

$$y_i = 4,815 - 0,001599x_1 + 0,00273x_2 + 0,00000527x_1x_2 + 0,000000928x_1^2. \quad (4)$$

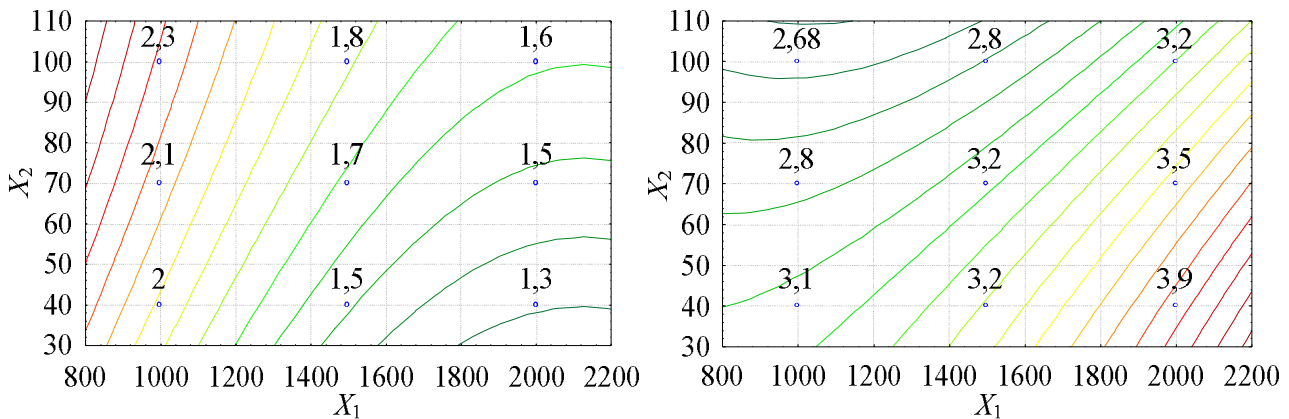


а) розмір часток;

б) питомі енерговитрати.

Рисунок 3 – Поверхня і лінії рівнів відгуку функції за двократного оброблення

Розмір часток емульсії після однократного оброблення з вібрацією зменшується на 15-20%, порівняно з обробленням без вібрації, і сягає 1,3-1,5 мкм за частоти обертання 1500-1800 об/хв і відкриття заслінки 70% і нижче (рисунок 4 а). Енерговитрати у цьому діапазоні факторного простору – 3,2-3,5 Дж/кг (рисунок 4 б).



а) розмір часток;

б) питомі енерговитрати.

Рисунок 4 – Поверхня і лінії рівнів функції відгуку за однократного оброблення з вібрацією

Однократне оброблення з вібрацією дозволяє одержати емульсію з дисперсністю на 12-15% вище та енерговитратами на 10-12% менше, ніж двократне оброблення без вібрації, що свідчить про істотний позитивний ефект використання віброуючого ротора. Для підвищення енергоефективності необхідно

обирати режими зі зниженою частотою ротора та зменшеним ступенем відкриття заслінки.

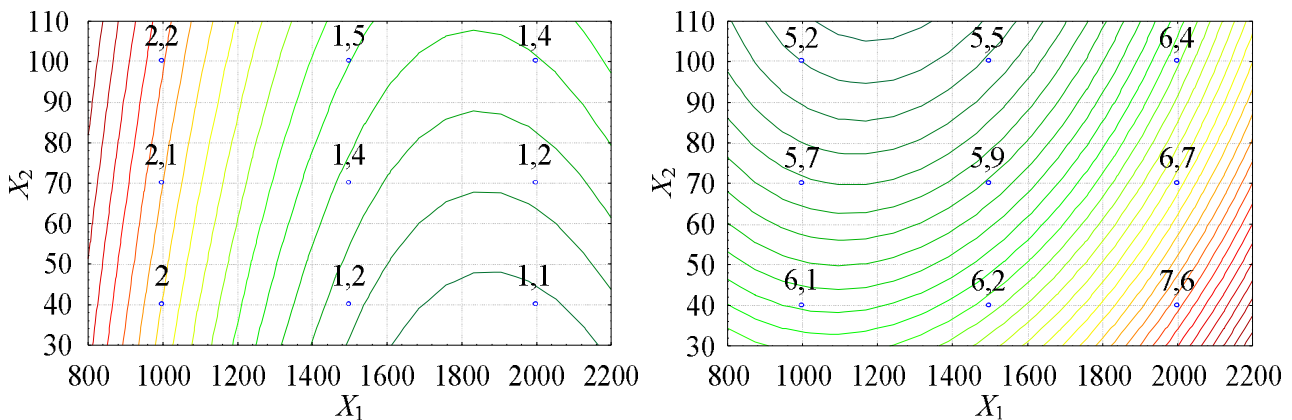
Розкодована модель прогнозування розміру жирової частки:

$$y_i = 3,52 - 0,002252x_1 + 0,005x_2 + 0,000000528 x_1^2. \quad (5)$$

Розкодована модель прогнозування енерговитрат за однократного оброблення з вібрацією:

$$y_i = 3,826 - 0,00876x_1 + 0,00847x_2 + 0,000000516 x_1^2. \quad (6)$$

За двократного оброблення з вібрацією досягається найвищий ступінь диспергування жирової фази з розміром часток 1,1-1,3 мкм, що на 15-20% менше, ніж за однократного оброблення з вібрацією (рисунок 5 а). При цьому частоти обертання – 1400-1600 об/хв, відкриття заслінки – 40-80% і енерговитрати – 6,2-7,6 Дж/кг (рисунок 5 б), що в 2 рази вище, ніж максимальні енерговитрати за однократного оброблення з вібрацією.



а) розмір часток;

б) питомі енерговитрати.

Рисунок 5 – Поверхня і лінії рівнів функції за двократного оброблення з вібрацією

Якщо за рівного ступеня диспергування емульсії (розмір часток 1,3-1,5 мкм) порівняти вібраційне однократне та вібраційне двократне оброблення, то енерговитрати останнього в 1,8-2,0 рази є більшими.

Розкодована модель прогнозування розміру жирової частки:

$$y_i = 5,045 - 0,004454x_1 + 0,00447x_2 + 0,0000012 x_1^2. \quad (7)$$

Розкодована модель енерговитрат:

$$y_i = 8,27 - 0,00396x_1 + 0,00803x_2 + 0,000005x_1x_2 + 0,00000166 x_1^2. \quad (8)$$

Висновки і перспективи подальших досліджень. У результаті проведення експериментального дослідження пульсаційного апарату з вібруючим ротором одержано рівняння залежностей енерговитрат і середнього розміру жирових кульок жирової емульсії в діапазоні частот обертання ротора 1000-2000 об/хв. і ступеня відкриття заслінки на виході з апарату 40-100% за температури емульсії 60-65°C.

Встановлено, що:

– збільшення кратності оброблення в пульсаційному апараті є неефективним і не призводить до збільшення ефективності, як це спостерігається, наприклад, у клапанних гомогенізаторах;

– однократне оброблення з вібрацією дозволяє одержати емульсію з дисперсністю на 12-15% вище та енерговитратами на 10-12% менше, ніж двократне оброблення без вібрації, що свідчить про істотний позитивний ефект використання вібруючого ротора;

– мінімальний розмір часток жирової емульсії становить 1,1-1,3 мкм за питомих енерговитрат 6,2-7,6 Дж/кг;

– для досягнення розмірів часток емульсії 1,3-1,5 мкм найбільш доцільно використовувати вібраційне двократне оброблення, енерговитрати якого у 1,8-2,0 рази менші, ніж у двократного оброблення з вібрацією.

У подальшому планується дослідити вплив резонансних ефектів коливань ротора і його пульсацій на якість диспергування жирової емульсії в пульсаційному апараті з вібруючим ротором, що за теоретичними розрахунками значно підвищує ефективність процесу.

Список літератури

1. Промтов М.А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими действиями на обрабатываемые вещества: учеб. пособие / А.М. Промтов. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 136 с.
2. Линник А.Ю. Совершенствование процесса получения пищевых эмульсий на роторном аппарате и определение их параметров методами математического моделирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / А.Ю. Линник. – М., 2008. – 138 с.
3. Пат. № 41129 Україна, В01 F 7/12. Роторно-пульсаційний апарат / А.О. Івженко, О.В. Гвоздев, О.В. Івженко; заяв. і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u200812874; заявл. 04.11.2008; опубл. 12.05.2009, Бюл. № 9.
4. Гвоздев О.В. Використання комп'ютерних програм для дослідження процесів гомогенізації в роторно-пульсаційному апараті / О.В. Гвоздев, А.О. Івженко // Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку: VII міжнар. наук.-практ. конф.: [тези доп.]. – Донецьк-Святогірськ, 2011. – С. 131-133.