

УДК 637.134

БАГАТОКРАТНА І БАГАТОСТУПІНЧАСТА ГОМОГЕНІЗАЦІЯ МОЛОКА

Самойчук К.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (06192) 42-13-06

Анотація – у статті наведено результати аналізу впливу кратності обробки (проходження крізь робочі органи гомогенізаторів) молока. Визначені перспективи використання багатократної та багатовступінчастої гомогенізації для основних типів гомогенізаторів і знайдена формула, що пов'язує кратність обробки зі ступенем зниження необхідного для диспергування прискорення потоку емульсії.

Ключові слова – гомогенізація, молоко, емульсія, диспергування, кратність.

Постановка проблеми і її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Гомогенізація молока – це нормативна технологічна операція для таких молочних продуктів, як питне молоко та вершки, кисломолочні продукти і напої, згущені молочні консерви та ін., мета якої зменшити розміри жирових кульок і рівномірно розподілити їх у об'ємі молочної плазми. Для гомогенізації найбільш актуальною проблемою є високі питомі енергетичні витрати, які сягають 8 кВт·год/т для клапанних гомогенізаторів [1]. Зниження питомих енерговитрат на гомогенізацію у масштабах країни може надати економію більше 20 млн. грн/рік [2].

Одним з перспективних шляхів зменшення енерговитрат процесу диспергування молочного жиру є оптимізація кратності обробки – кількості проходжень одного об'єму емульсії крізь робочі органи машини. Або багатовступінчаста обробка – проходження продукту крізь декілька робочих органів гомогенізатора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серійно випускаються двоступінчасті головки клапанних гомогенізаторів, які дозволяють знизити питомі енерговитрати процесу на 15-20% [1, 3]. При цьому тиск на другому ступені гомогенізації менше першого.

Механізм зменшення енерговитрат при багатовступінчастій гомогенізації пояснюється, по-перше, підвищенням часу впливу

гідродинамічних факторів руйнування, по-друге, охопленням більшої частини жирових кульок руйнуючих її факторів.

Необхідний час для руйнування жирової кульки визначається за формулою [4]

$$\tau_p = \frac{4,5d(1 + 1,2La^{-0,37})}{v_e}, \quad (1)$$

де v_e – швидкість емульсії, м/с.

d – діаметр жирової частки, м;

La – критерій Лапласа.

Критерій Лапласа має вигляд

$$La = \frac{\sigma \rho_2 d}{\eta^2}, \quad (2)$$

де μ – динамічна в'язкість дисперсійної фази, Па·с;

ρ_2 – щільність дисперсійної фази, кг/м³;

σ – поверхнєве натягнення дисперсної частки, Н/м.

Для руйнування дисперсної частки необхідно, щоб час дії на неї робочих органів диспергатора τ був більшим за необхідний

$$\tau > \tau_p. \quad (3)$$

Наприклад, час знаходження жирової кульки молока в клапанній щілині гомогенізатора становить $\tau = 2,2 - 6,6 \cdot 10^{-5}$ с. Час руйнування τ_p за формулами (1) і (2) для молочної емульсії складає $4 - 5 \cdot 10^{-8}$ с [5].

Але справедливність формули (1) не була перевірена для крапель з мікроскопічними розмірами. Крім того, поверхневий натяг для жирової кульки, яка має складну будову оболонки, визначити важко. Тому необхідний час індукції та руйнування необхідно визначати експериментально.

Охоплення більшої частини жирових кульок руйнуючими факторами при багатократній або багатоступінчастій обробці відбувається внаслідок неоднорідної структури потоку у гомогенізаторах. Наприклад, у клапанних гомогенізаторах гідродинамічні умови пристінного шару емульсії істотно відрізняються від центральної зони клапанної щілини. Градієнт швидкості в пристінних зонах у більше ніж 20 разів вищий, ніж у центральній частині потоку [3]. При багатократній обробці жирові частки, які при першому проходженні крізь клапанну щілину потрапили у зони, несприятливі для руйнування, при другому (і більше) проходженні можуть потрапити у зони, сприятливі для їх руйнування. Таким чином, при збільшенні кратності обробки підвищується вірогідність потрапляння жирових кульок у зони робочих органів гомогенізаторів з достатніми для руйнування

гідродинамічними умовами (високим градієнтом швидкості, зони кавітаційних мікро– і макрозбурювань, зони високого прискорення потоку і т.д.).

При підвищенні кратності обробки зростають енерговитрати на здійснення процесу і підвищується ступінь (ефективність) диспергування. Ступінь підвищення питомих енерговитрат у порівнянні зі ступенем підвищення ефективності гомогенізації буде визначати доцільність використання багатократної обробки у певному типі гомогенізатора.

Постановка завдання. Результати впливу кратності обробки на ефективність клапанної гомогенізації дозволяють визначити ступінь зниження основного фактору гомогенізації від кратності гомогенізації. Основним фактором гомогенізації, який є універсальним для більшості типів гомогенізаторів, є прискорення потоку емульсії. Таким чином, залежність між кратністю обробки та ступенем зниження прискорення молочної емульсії є необхідною для проектування енергоефективних машин для гомогенізації молока.

Виклад основного матеріалу дослідження. За експериментальними даними, отриманими Нужиним Є.В. [1] для клапанної гомогенізації, визначена залежність ефективності гомогенізації і від кратності проходження молока крізь клапанну головку (рис. 1).

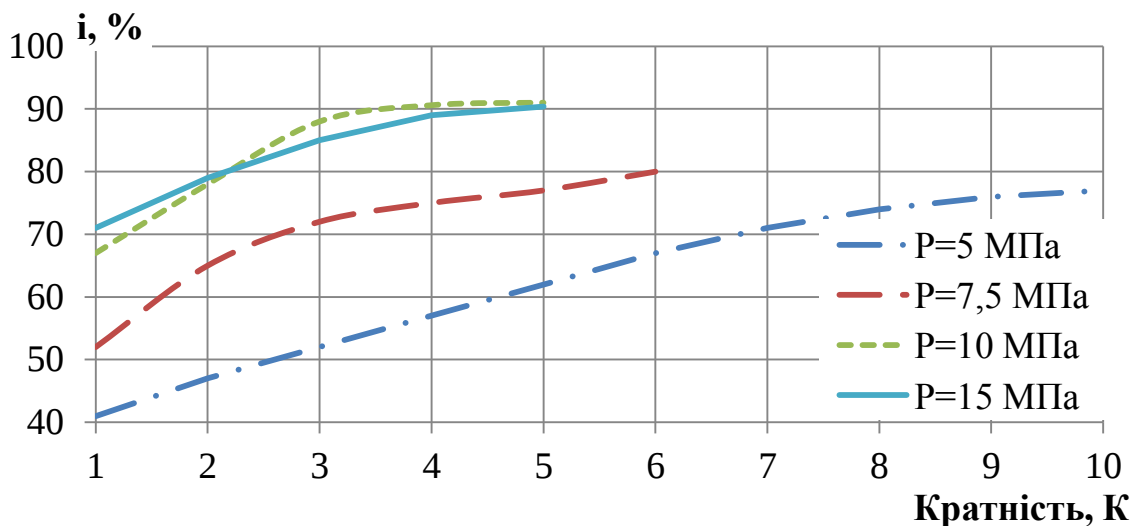


Рис. 1. Залежність ефективності гомогенізації (i , %) від тиску гомогенізації (P , МПа) та кратності проходження крізь клапанну головку K .

Залежність має характер, близький до параболічного, причому при збільшенні кратності обробки темпи підвищення ефективності гомогенізації знижуються. При збільшенні кратності обробки у 2 рази, питомі енерговитрати збільшуються також у 2 рази (при незмінних

умовах процесу), а ефективність гомогенізації (і) підвищується лише на 2–25%.

За результатами досліджень [6] характер залежності $d_{kc} = f(a_e)$ має вигляд

$$d_c = \frac{K_z}{\sqrt{a_e}}, \quad (4)$$

де K_z – коефіцієнт гомогенізації, який пов'язує прискорення руху емульсії з середнім діаметром жирової частки молочної емульсії, $\text{м}^{3/2}/\text{с}$;

a_e – прискорення потоку молочної емульсії, $\text{м}/\text{с}^2$.

За вимогами [7] не більше 15% жирових кульок можуть мати розміри, більші за обумовлений вимогами середній діаметр.

Для цього з формули (4) визначимо можливе зниження прискорення емульсії

$$\frac{a_e}{a_{e\max}} = (0,85)^2 = 0,72.$$

З даних [1] знайдемо залежність середнього прискорення емульсії у клапанній щілині a від максимальної кратності обробки $K_{\max}$, при якій досягається ефективність гомогенізації 90%.

Середнє прискорення знайдемо за відомим рівнянням

$$a = \frac{v}{\tau}, \quad (5)$$

де v – середня швидкість молока у клапанній щілині, $\text{м}/\text{с}$;

τ – тривалість гомогенізації у клапанній щілині, с .

v і τ для клапанної гомогенізації дорівнюють [1]

$$v = \varphi \sqrt{\frac{2P}{\rho_m}}, \quad (6)$$

де φ – коефіцієнт швидкості,

ρ_m – густина молока, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$\tau = \frac{0,0001}{\sqrt{P}}. \quad (7)$$

Розрахункові дані зводимо до таблиці 1.

За даними таблиці і графіка (рис. 1) можливо визначити залежність середнього прискорення емульсії у клапанній щілині a від

максимальної кратності обробки K_{max} , при якій досягається ефективність гомогенізації 90% (рис. 2).

Таблиця 1 – Основні параметри клапанної гомогенізації

Тиск клапанної гомогенізації, МПа	Середня швидкість, v , м/с	Тривалість гомогенізації, τ , с	Середнє прискорення, a $\times 10^6$ м/с ²
20	168	$2,2 \cdot 10^{-5}$	7,63
15	145	$2,6 \cdot 10^{-5}$	5,57
10	119	$3,1 \cdot 10^{-5}$	3,84
7,5	103	$3,6 \cdot 10^{-5}$	2,86
5	84	$4,4 \cdot 10^{-5}$	1,91

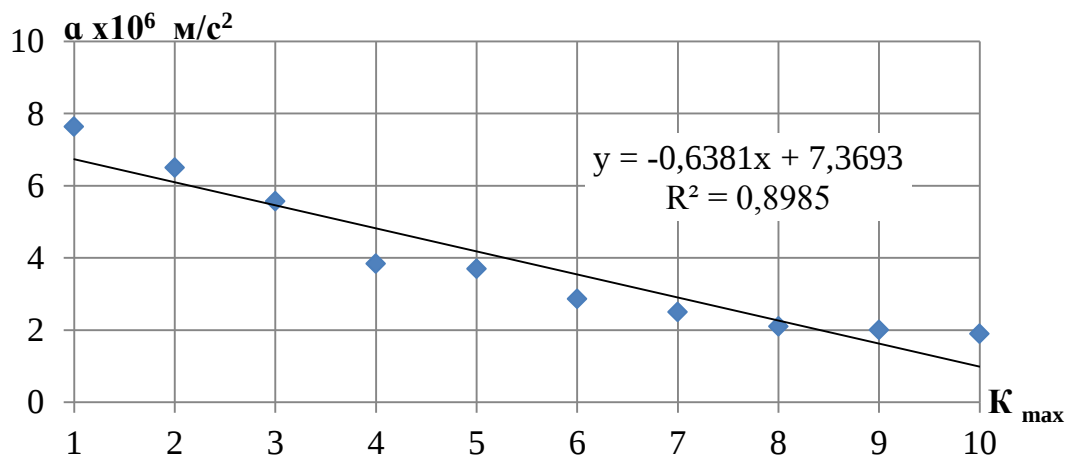


Рис. 2. Залежність середнього прискорення емульсії у клапанній щілині a від максимальної кратності обробки K_{max} , при якій досягається ефективність гомогенізації 90%.

Емпірична формула залежності має вигляд

$$a = (7,3693 - 0,6381 \cdot K_{max}) 10^6. \quad (8)$$

Звідки

$$K_{max} = 11,56 - \frac{a}{0,6381}. \quad (9)$$

Результати формули (8) доцільно представити у вигляді ступеня зниження прискорення у залежності від K_{max} (рис. 3).

Формула для визначення a / a_{max} (при $1 \leq K \leq 10$) має вигляд

$$\frac{a}{a_{max}} = 1,0948 - 0,0948 \cdot K. \quad (10)$$

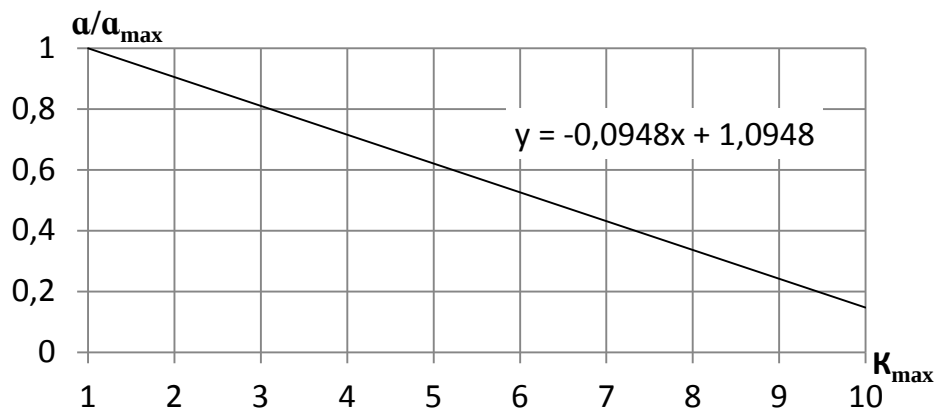


Рис. 3. Ступінь зниження прискорення для досягнення максимальної ефективності гомогенізації $a/a_{\max}$ у залежності від кратності обробки K .

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отримана формула (10) дає змогу визначити величину зниження необхідного для гомогенізації прискорення потоку емульсії у залежності від кратності проходження молока крізь робочі органи гомогенізатора. Формула може бути використана для пульсаційних, імпульсних, струминних, роторних і роторно-пульсаційних гомогенізаторів.

З цих даних можна зробити декілька висновків:

- при використанні високоенергетичних режимів обробки кратність обробки зменшується (при тиску 10–15 МПа $K=4\dots5$, при тиску 5–7,5 МПа $K=6\dots10$);
- при розробці або вдосконаленні гомогенізаторів з метою зменшення питомих енерговитрат необхідно намагатися зменшити кратність проходження продукту крізь робочі органи машини;
- знизити питомі енерговитрати процесу гомогенізації за рахунок багатократної обробки можливо, якщо на другому (і більше) ступені використовувати режими з меншими енергетичними витратами, наприклад, знижувати тиск гомогенізації;
- для зниження кратності обробки необхідно створювати максимально рівномірні умови гідродинамічного диспергування у робочих органах гомогенізаторів.

Література:

1. Нужин, Е.В. Гомогенизация и гомогенизаторы : монография / Е. В. Нужин, А. К. Гладушняк. – Одесса : Печатный дом, 2007. – 264 с.
2. Самойчук, К.О. Підвищення ефективності діяльності молокопереробних підприємств за рахунок впровадження нових типів гомогенізаторів/ К.О. Самойчук, Н.О. Паляничка // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції "Підвищення ефективності діяльності підприємств харчової та переробної галузей АПК" 17-18 листопада Київ: НУХТ. – 2016. – С. 210–211.

3. *Фиалкова, Е.А.* Гомогенизация. Новый взгляд : монография-справочник / Е. А. Фиалкова. – СПб. : ГИОРД, 2006. – 392 с.
4. *Нигматулин, Р.И.* Динамика многофазных сред / Р.И. Нигматулин. – Ч. 1. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 464 с.
5. *Самойчук, К.О.* Методика расчёта степени дисперсности эмульсий/ К.О. Самойчук MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2016. Vol.18. No.2. P. 97–102.
6. *Самойчук, К.О.* Визначення універсального фактора диспергування жирової фази молока / К.О. Самойчук // Матеріали другої міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» 5–7 вересня. – Харків : ХДУХТ, 2017. – С. 17–19.
7. Инструкция по химическому контролю на предприятиях молочной промышленности: УТВ. М–вом мясн. и молоч. пром–сти СССР 30.12.88. – М., 1988. – 118 с.

БАГАТОКРАТНА І БАГАТОСТУПІНЧАСТА ГОМОГЕНІЗАЦІЯ МОЛОКА

Самойчук К.О.

Аннотация - в статье приведены результаты анализа влияния кратности обработки (прохождение через рабочие органы гомогенизаторов) молока. Определены перспективы использования многократной и многоступенчатой гомогенизации для основных типов гомогенизаторов и найдена формула зависимости степени снижения необходимого для диспергирования ускорения потока эмульсии от кратности обработки.

MULTIPLICITY AND MULTISTAGE HOMOGENIZATION OF MILK

K. Samoichuk

Summary

The results over of analysis of influence of multiplicity of treatment (passing through the operating element of homogenizer) of milk are brought in the article. Certain prospects of the use of multiplicity and multistage homogenization for the basic types of homogenizers and found formula which binds multiplicity of treatment to the degree of decline of necessary for dispergating of acceleration stream of emulsion.