

УДК 663/664.02(076.5)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ У ЛОПАТЕВИХ МІШАЛКАХ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ.

Бойко В.С., к.т.н.,

Спаі В.Ф., магістрант

Таврійський державний агротехнологічний університет

Анотація – дану роботу присвячено розробці заходів спрямованих на поліпшення якості перемішування рідких сумішей та зниження енерговитрат. У статті представлені теоретичні дослідження процесу перемішування та висновки експериментальних дослідів.

Ключові слова – перемішування, комбінований робочий орган, розчин, концентрація, критеріальні рівняння, ступінь однорідності, коефіцієнт варіації, ступінь змішування.

Постановка проблеми. За результатами проведеного аналізу літературних джерел, патентів і авторських посвідчень ми переконалися, що існуючі робочі органи для перемішування рідких середовищ не забезпечують достатню якість перемішування розчинів. Особливо це стосується лопатевих мішалок.

Зі збільшенням частоти обертання мішалки зростає витрата енергії й глибина воронки на поверхні перемішуваної рідини, що зменшує раціональне використання повного обсягу апарата. Під дією відцентрових сил рідина рухається в площині обертання лопат мішалки від центра змішувача до стінок. У наслідку такого руху в центрі змішувача виникає зона зниженого тиску й утвориться воронка куди засмоктується рідина із шарів розташованих вище й нижче лопаті. Створюваний слабкий осьовий потік не забезпечує повного перемішування в повному обсязі змішувача.

Виходячи із проведеного аналізу можна сформулювати мету даної роботи.

Мета роботи – Удосконалення конструкції робочих органів змішувача для поліпшення якісних параметрів перемішування рідких середовищ і зниження енерговитрат.

Аналіз останніх досліджень. За конструктивними ознаками механічні перемішуючі пристрої діляться на дві групи:

- швидкохідні - це лопатеві, пропелерні, турбінні та інші, в яких колова швидкість кінців лопаті знаходиться в межах 10 м/с, а

відношення — $\frac{D}{d} > 3$;

- тихохідні - це якірні, рамні, стрічкові тощо, в яких колова швидкість знаходиться у межах 10 м/с, а $\frac{D}{d} < 2$

В стандарті зареєстровано 12 типів мішалок:

1 швидкохідні:

01 - трилопатева з кутом нахилу лопаті $\alpha = 24^\circ$; 02 - гвинтова; 03 - турбінна відкрита; 04 - турбінна закрита; 05 - шестилопатева, з кутом нахилу лопаті $\alpha = 45^\circ$; 06 - кліткова; 07 - лопатева;

2 тихохідні:

08 - шнекова; 09 - якірна; 10-рамна; 11 - стрічкова; 12 - стрічкова зі скребками.

Тихохідні мішалки - застосовуються в основному для перемішування високов'язких і не ньютонівських рідин інтенсифікації тепло масообміну, гомогенізації та інших процесів. Стандартні тихохідні мішалки діляться на такі, в яких лопаті перпендикулярні площині обертання, і мішалки, в яких лопаті утворюють кут з площиною їх обертання. Робочі органи в тихохідних мішалках встановлюються, як правило, в посудинах з гладенькими стінками.

Якірні мішалки. Робочі органи в якірних мішалках за формою, як правило, відповідають формі днища посудини. Відстань між стінками посудини і зовнішнім контуром робочого органа $\delta = 0,05 D$, а діаметр робочого органу $d = 0,9 D$ (рис. 1).

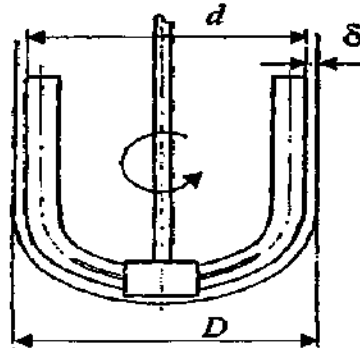


Рис.1. Робочий орган мішалки якірного типу

Якірні мішалки застосовують для перемішування дуже густих рідин, особливо тоді, коли процес проходить із нагріванням через стінки посудини. Через невелику відстань між зовнішнім контуром

робочого органа і посудиною біля її стінок виникає значна турбулентна течія, що запобігає перегріванню рідини і утворенню на стінках осаду чи продуктів хімічних реакцій.

Для перемішування рідин високої в'язкості в робочому органі додатково закріплюють горизонтальні і вертикальні лопаті. Згідно з формою днища розрізняють сферичні, еліптичні.

Стрічкові мішалки. Робочі органи стрічкової мішалки являють собою вал, на якому на однакових відстанях одна від одної закріплені циліндричні траверси. На зовнішніх кінцях траверс закріплені дві стрічки шириною b з відносним кроком $t = 1,0$. Висота d стрічкової мішалки залежить від висоти корпусу апарата і рівня рідини в ньому. Стрічкові робочі органи встановлюються в апаратах, що мають наступні геометричні характеристики: $1,0 \leq \frac{H}{D} \leq 3,0$ і $1,04 \leq \frac{H}{D} \leq 1,3$ (де H – висота корпусу мішалки). Робочий орган стрічкової мішалки показаний на рис. 2.

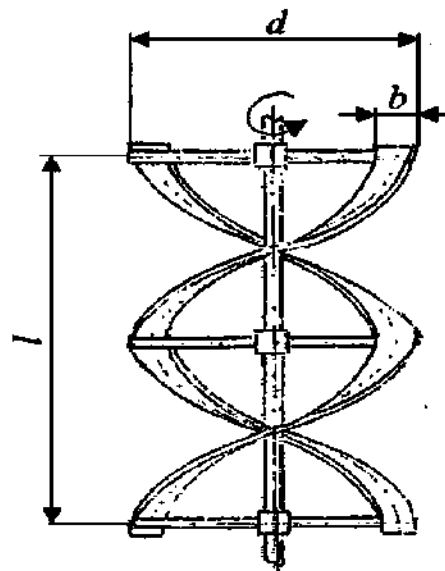


Рис.2. Робочий орган стрічкової мішалки рамні та інші мішалки

Формування цілей статті. Інтенсивне перемішування рідини має місце тільки в результаті утворення вторинних потоків і вихрового руху. Під дією відцентрових сил рідина рухається в площині обертання лопати мішалки від центра змішувача до стінок. Внаслідок такого руху в центрі змішувача виникає зона зниженого тиску й утвориться воронка, куди засмоктується рідину із шарів, розташованих вище й нижче лопати мішалки. Вторинні потоки й круговий рух рідини створюють складний контур церкуляції.

Процес перемішування з гідродинамічної точки зору може бути розглянутий як процес зовнішнього обтікання тіл потоком рідини. При обертанні робочого органа перемішуючого пристрою, енергія

затрачується на подолання тертя лопат об рідину й на вихроутворення.

Представимо циркуляцію рідини в змішувачі як рух по замкнутому трубопроводі. Даний процес можна описати використовуючи критеріальне рівняння, що зв'язує фізичні характеристики руху рідини

$$E_{\text{и}} = f(R_e, F_r, \Gamma_1, \Gamma_2 \dots), \quad (1)$$

де $E_{\text{и}} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot v^2}$ - критерій Ейлера, міра співвідношення сили тиску

й сили інерції в потоці;

ΔP – різниця тисків з однієї й іншої сторони лопати мішалки, кг/м²;

v - лінійна швидкість руху, м/с;

ρ – щільність рідини, кг/м³;

$R_e = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}$ - критерій Рейнольдса – міра співвідношення сил

інерції й сил тертя в потоці рідини;

d - діаметр лопати мішалки, м;

μ - динамічний коефіцієнт в'язкості, Па с;

$F_r = \frac{v^2}{g \cdot l}$ - критерій Фруда, міра співвідношення сил інерції й сил

ваги;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

l – лінійний розмір мішалки, м;

Γ_1, Γ_2 - параметричні критерії, що характеризують геометричні розміри мішалки й змішувача,

$$(\Gamma_1 = \frac{D}{d}; \Gamma_2 = \frac{H}{D}; \dots)$$

У якості визначального лінійного розміру приймається діаметр мішалки d_M .

Дійсна лінійна швидкість рідини, середню величину якої визначити практично не можна, замінюється на окружну швидкість кінця лопати мішалки

$$V_{\text{іє}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}, \quad (2)$$

де $v_{\text{ок}}$ – окружна швидкість кінця лопати мішалки, м/с;

n - частота обертання мішалки, об/хв.

Перепад тиску між передньою й задньою площинами лопати обертається через корисну потужність N , введена в рідину за аналогією з потужністю насоса рідини, що витрачається на перекачування, по трубопроводу.

$$\Delta P = \frac{N}{V_{\text{сек}}}, \quad (3)$$

де ΔP - перепад тиску, Па;

N - корисна потужність затрачувана на перемішування, кВт;

$V_{\text{сек}}$ - обсяг перемішуваної рідини, м³/с;

$$V_{\text{сек}} = F \cdot H \cdot m, \quad (4)$$

F - площа поперечного перерізу апарата, м²;

H - висота рівня рідини в апараті, м;

m - кратність циркуляції, с⁻¹.

Виразимо розміри апарата через діаметр мішалки, тому що ці розміри взаємозалежні:

$$F = C_1 \cdot d_m^2; \quad (5)$$

$$H = C_2 \cdot d_m; \quad (6)$$

Кратність циркуляції можна прийняти пропорційній частоті обертання мішалки

$$m = C_3 \cdot n \quad (7)$$

З обліком того що швидкість руху рідини $v = C_4 \cdot v_{\text{окр}} = C_4 \cdot \pi \cdot d_m \cdot n = C_5 \cdot d_m \cdot n$, (число « π » опущено, тому що воно не впливає на фізичний зміст критерію) одержимо модифіковані критерії Ейлера – Рейнольдса й Фруда виключивши коефіцієнти пропорційності C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 .

$$E_{\text{ум}} = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d_m^3}; \quad (8)$$

$$R_e = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu_m}; \quad (9)$$

$$F_m = \frac{n^2 \cdot d}{g}; \quad (10)$$

Тоді у випадку геометричної подоби перемішуючих пристроїв і посудин узагальнена залежність для визначення витрат енергії на перемішування може бути виражена наступним рівнянням.

$$\frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d_m^3} = A \cdot \left(\frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu_m} \right)^k \cdot \left(\frac{n^2 \cdot d}{g} \right)^e; \quad (11)$$

Вплив сили ваги на рух рідини в змішувачі невеликий і тому критерій Фруда можна описати.

У такий спосіб одержуємо спрощене критеріальне рівняння процесу перемішування

$$E_{\text{ум}} = A \cdot R_{\text{см}}^k, \quad (12)$$

де A и K - коефіцієнти залежні від типу мішалки, конструкції змішувача, режиму перемішування, визначаються експериментально.

В якості робочого органу при експериментальних дослідженнях обрані три конструкції: проста листова (рис. 3а); комбінована лопатева мішалка зі спіраллю (рис. 3б); комбінована рамна мішалка зі спіраллю (рис. 3в).

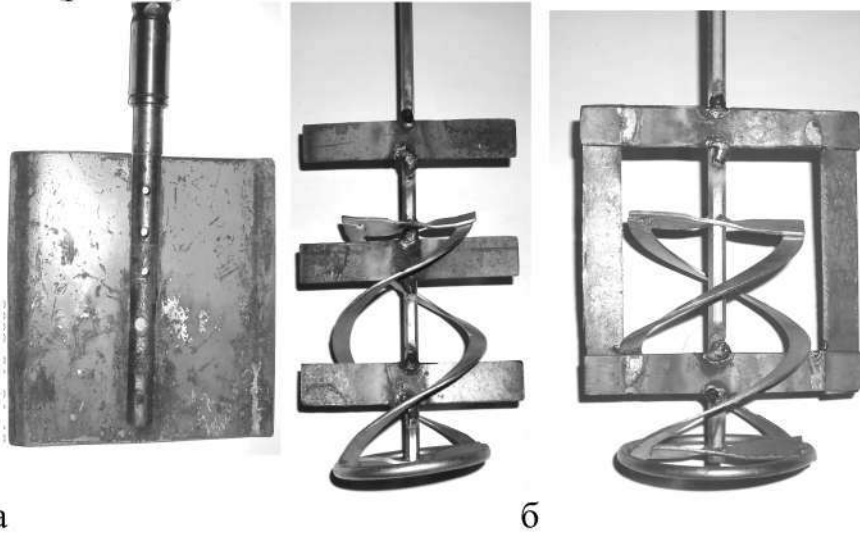


Рис.3. Перемішуючі робочі органи
а - проста листова; б - комбінована лопатева мішалка зі спіраллю; в - комбінована рамна мішалка зі спіраллю

Перемішуючі робочі органи виготовлені з однаковими габаритними розмірами (висота h і діаметр d)

Дослідження енергетичних показників роботи змішувача проводилися згідно методики. Було виконано 108 досвідів для визначення залежності потужності, що витрачається на перемішування рідкого середовища від оборотів змішувача для різних конструкцій робочого органу. За експериментальними даними розрахована потужність N (Вт) для відповідних оборотів робочого органу.

За даними побудовані графіки залежності $N=f(n)$ (рис. 4). Аналіз даних залежностей показав, що найбільші енергетичні витрати має листовий робочий орган ($N=14,9$ Вт при $C=25\%$), менші енергетичні витрати у рамного комбінованого органу ($N=13,7$ Вт при $C=25\%$) і найбільш ефективним виявився лопатевий комбінований робочий орган ($N=10,76$ Вт при $C=25\%$).

За допомогою експертної оцінки були визначені умови не оголення лопати мішалки й умови не виплескування рідини з сосуду.

Так наприклад для листового робочого органу коли рівень води в утвореній воронці досяг верхнього краю лопати, число оборотів досягло 110 об/хв., для рамного комбінованого робочого органу $n=170$ об/хв, для лопатевого - 190 об/хв.

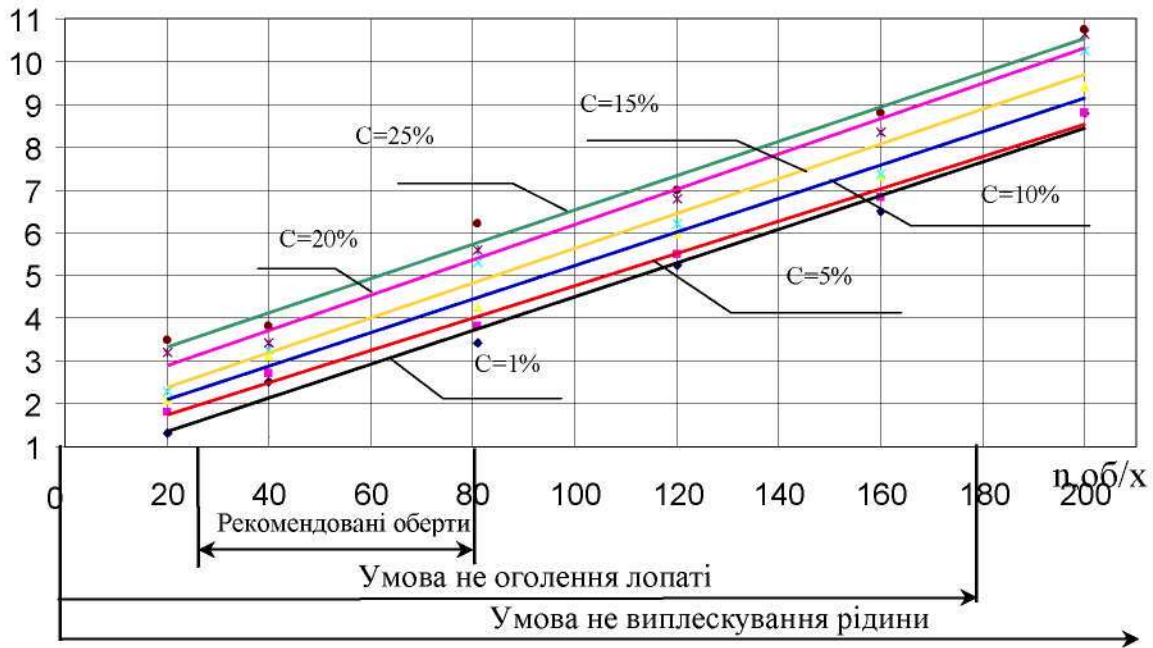


Рис. 4. Графік залежності потужності на перемішування від обертів лопатевої комбінованої мішалки

За результатами проведеного експерименту побудовані залежності $N=f(C)$ для робочих органів змішувача (рис. 5)

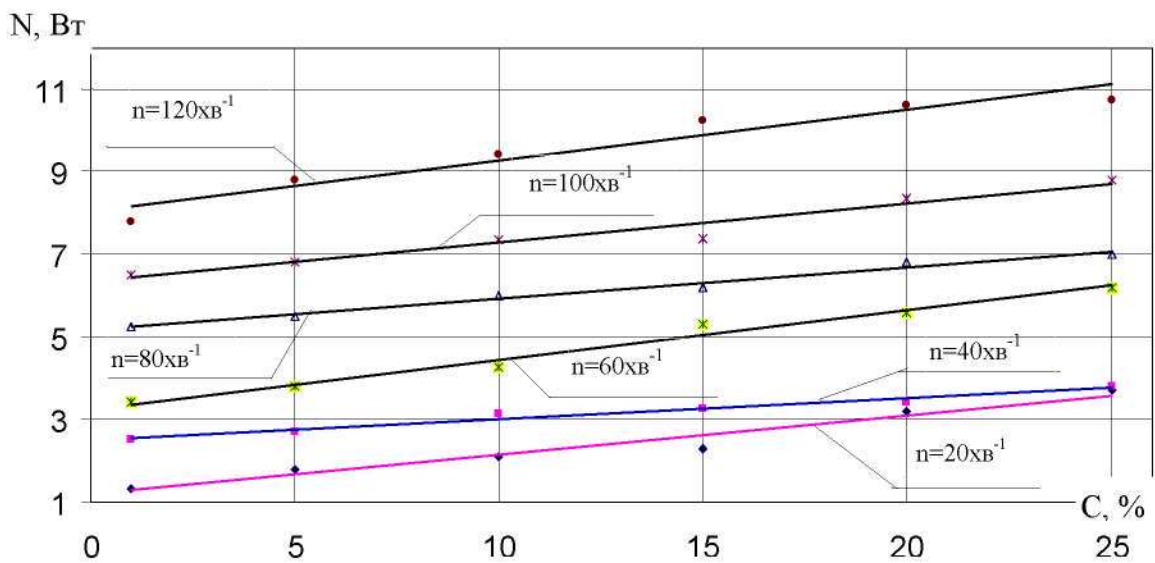


Рис.5. Графік залежності потужності на перемішування лопатної мішалки від концентрації розчину

Висновок. Отримані критеріальні рівняння для розрахунку пристроїв з 3-ма конструкціями робочих органів. Визначені витрати енергії для перемішування розчину максимальні значення яких склали:

- для листового робочого органа $N=14,9$
- для лопатевого комбінованого робочого органа $N=10,76$
- для рамного комбінованого робочого органа $N=13,7$.

Визначено раціональні межі частоти обертання робочих органів умови, що забезпечує, не оголення лопати:

- для листового робочого органа n=110
- для лопатевого комбінованого робочого органа n=190
- для рамного комбінованого робочого органа n=170.

Отримані критеріальні рівняння дають можливість перейти від модельного до виробничого зразка.

Література

1. *Стабников В.Н.* Процессы и аппараты пищевых производств/ В.Н.Стабников и др. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 660с.
2. *Кавецкий Г.Д.* Процессы и аппараты пищевой технологи / Г.Д. Кравецкий, Б.В. Васильев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1999. – 551с.
3. *Гулий І.С.* Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов, В.Г. Мирончук, А.І. Українець та інші. За ред. академіка УААН Гулого І.С. – Вінниця: Нова книга, 2001, - 576с., рис. 335, табл. 26.
4. *Брагинский Л.Н.* Перемешивание в жидких среда / Л.Н. Брагинский, В.И. Бегачев, В.М. Барабаш. – М.: Химия, 1984. – 336с.
5. *Гореньков Э.С.* Оборудование консервного производства: переработка плодов и овощей / Э.С. Гореньков, В.Л. Биберган. Справочник. – М.: Агропромиздат, 1989.-256с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РЕДКИХ СРЕД В ЛОПАСТНЫХ МЕШАЛКАХ РАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Бойко В.С., Спаи В.Ф.

Аннотация - данная работа посвящена разработке мероприятий направленных на улучшение качества перемешивания редких смесей и снижения энергозатрат. В статье представлены теоретические исследования процесса перемешивания и выводы экспериментальных опытов.

RESEARCH OF PROCESS OF INTERFUSION OF RARE ENVIRONMENTS IN BLADES MIXERS OF DIFFERENT CONSTRUCTIONS

V. Boyko, V. Spai.

Summary

This work is devoted to development of measures directed on the improvement of quality of interfusion of rare mixtures and resource-saving. The article conveys theoretical researches of process of interfusion and conclusions of experimental tests.