

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ В РІДКОМУ СЕРЕДОВИЩІ НА МЕХАНІЧНІЙ ЛОПАТЕВІЙ МІШАЛЦІ

Мета роботи: визначення експериментальним шляхом параметрів критеріального рівняння процесу перемішування для застосування його в розрахунку витрат енергії при перемішуванні будь-якої рідини мішалкою, геометрично подібною мішалці досліджуваного типу; визначення якості перемішування.

Час виконання роботи 4 год.

1 Порядок виконання роботи

- розглянути основні теоретичні положення процесу перемішування;
- ознайомитись з принципом дії та будовою експериментальної механічної лопатевої мішалки;
- сформулювати початкові дані для проведення експерименту;
- провести експериментальні дослідження процесу перемішування рідкого середовища;
- обробити результати експерименту;
- побудувати графіки основних залежностей, що характеризують ефективність процесу перемішування;
- сформулювати висновки за результатами роботи.

2 Завдання для самопідготовки

У процесі підготовки до заняття студент повинен:

- **повторити:**

- 1) основні загальні питання процесу перемішування;

- **знати:**

- 1) область застосування процесів перемішування на переробних та харчових підприємствах, класифікацію обладнання;

- **вміти:** проводити налаштування експериментальної мішалки, користуватися контрольно-вимірними приладами, визначати залежності за темою дослідження, аналізувати результати досліджень.

3 Основні теоретичні положення

Мета технологічних процесів перемішування, що застосовуються в різних харчових та переробних виробництвах, це отримання однорідної суміші з різних компонентів у різних її видах (емульсії, суспензії, суміші твердих компонентів), а також для інтенсифікація теплових, масообмінних і біохімічних процесів.

Процес перемішування з гідродинамічної точки зору може бути розглянутий як процес зовнішнього обтікання тіл потоком рідини. При обертанні робочого органу мішалки енергія витрачається на подолання тертя лопатей об рідину і на утворення в ній вихорів.

Представивши циркуляцію рідини в змішувачі як рух по замкнутому трубопроводу складної форми, можна використати критеріальне рівняння, що зв'язує фізичні характеристики руху рідини:

$$Eu = f(Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2), \quad (1)$$

де ***Eu*** - критерій Ейлера, міра відношення сили тиску і сили інерції в потоці; ***Re*** - критерій Рейнольдса, міра відношення сил інерції і сил тертя в потоці рідини; ***Fr*** - критерій Фруда, міра відношення сил інерції і сил тяжіння; Γ_1, Γ_2 - параметричні критерії, що характеризують геометричні розміри мішалки і змішувача.

Зазначені величини визначаються за виразами:

- критерій Ейлера
$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \cdot V^2}, \quad (2)$$

де Δp - різниця тиску з одного і з іншого боку лопаті мішалки, кг/м²;
 ρ - густина рідини, кг/м³; V - лінійна швидкість руху, м/с;

- критерій Рейнольдса
$$Re = \frac{V \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (3)$$

де d - діаметр лопаті мішалки, м;

μ - динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с;

- критерій Фруда
$$Fr = \frac{V^2}{g \cdot l}, \quad (4)$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с²;

l - лінійний розмір мішалки, м;

Робочий орган мішалки звичайно занурений в рідину на достатню глибину, тому гідравлічний опір в основному обумовлений силою тертя, а вплив сили тяжіння на рух рідини невеликий і ним можна нехтувати, виключивши критерій Фруда.

Дійсну лінійну швидкість перемішування рідини визначити складно, і замість неї використовуємо еквівалентну величину – частоту обертання робочого органу мішалки.

$$V = \pi \cdot d \cdot n, \quad (5)$$

де n - частота обертання мішалки, с⁻¹;

d - діаметр мішалки, м.

Діаметр мішалки використовуватимемо як лінійний розмір.

Тоді
$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \cdot v^2} = \frac{\Delta p}{\rho (n \cdot d)^2} \quad (6)$$

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{n \cdot d \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu}; \quad (7)$$

При підстановці число π не використане, як таке, що не впливає на фізичне значення критерію.

Різниця тиску Δp , що входить у модифікований критерій, є різницею тиску з одного і з іншого боку лопаті мішалки. Сила F , що переміщує лопать, пропорційна цій різниці та площі лопаті S .

$$\Delta p = F/S, \quad (8)$$

Потужність на валу мішалки P пропорційна силі F та коловій швидкості:

$$P \approx F \cdot n \cdot d. \quad (9)$$

або
$$F \approx P / (n \cdot d), \quad (10)$$

Замінивши F у виразі (8), маючи на увазі що S пропорційна d^2 отримаємо:

$$\Delta p = \frac{P}{n \cdot d \cdot s} = \frac{P}{n \cdot d^3} \quad (11)$$

Підставивши отримане значення Δp у вираз (6)

$$Eu = \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5}, \quad (12)$$

Тоді згідно рівнянню (1) можна записати:

$$\frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = f \cdot \left(\frac{n \cdot d^2 \rho}{\mu} \right); \quad (13)$$

Це рівняння можна представити у вигляді степеневої функції

$$Eu = A \cdot Re^m, \quad (14)$$

де A і m – постійні, що визначають дослідним шляхом.

Це критеріальне рівняння зі знайденими значеннями A і m використовується для визначення витрат енергії при перемішуванні будь-якої рідини мішалкою, геометрично подібній мішалці дослідного типу.

Розрахункова критеріальна залежність для процесу перемішування визначається двома рівняннями:

$$Eu = \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5}; \quad (15)$$

$$Re = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu}; \quad (16)$$

4 Початкові дані для проведення експерименту

- а) Геометричні розміри лопаті мішалки: діаметр лопаті мішалки, висота лопаті;
- б) Геометричні розміри посудини: діаметр посудини, висота, об'єм рідини, що заливається.
- в) Параметри рідин, які випробовуються: густина, в'язкість, температура.

5 Оснащення лабораторної роботи механізмами і приладами

Механічна лопатева мішалка;

Змінні робочі органи (лопаті) мішалки.

Посудина для перемішування рідких компонентів.

Вольтметр постійного струму 0...30 В.

Амперметр постійного струму 0...3 А.

Прилад для визначення густини рідини.

Прилад для визначення в'язкості рідини.

Термометр 0...100 °С.

Мірительний інструмент.

Дослідження процесу перемішування проводиться на лабораторній механічній лопатевій мішалці для рідкого середовища (рисунок 1).

Установка складається з рами 1, до якої приварена стійка 6. На кронштейні стійки закріплюється електродвигун 5 постійного струму. Тип двигателя 1ПН 12.11.МОН.82; потужністю $P_e = 4,7$ кВт при $n = 1000$ об/хв.; максимальна напруга $U = 60$ В. Двигун одержує живлення від автотрансформатора 8 з випрямлячем струму по кабелю 9.

Змінення обертів двигуна виконується за допомогою ручки регулятора напруги 7. Параметри електроживлення фіксується вольтметром постійного струму 12 з межею вимірювання $U = 0...30$ В і амперметром постійного струму 13 $A = 0...5$ А. Живлення приладів здійснюється за допомогою провідників 11, які за допомогою вилок і двох розеток 10 підключені до автотрансформатора 8.

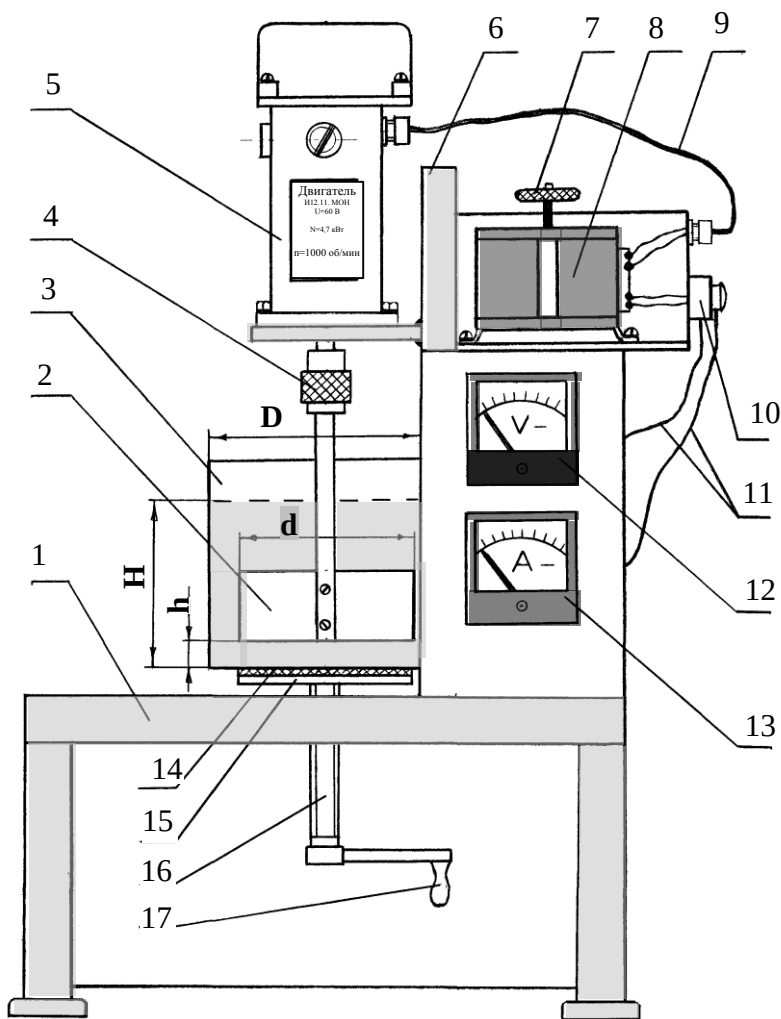


Рисунок 1 – Схема експериментальної механічної мішалки

1 - рама; 2 - рабочий орган; 3 - посуда с рідиною; 4 - цанговий затискач; 5 - електродвигун постійного струму; 6 - стійка; 7 - ручка регулятора напруги; 8 - автотрансформатор; 9 - кабель живлення електродвигуна; 10 - розетки включення вольтметра і амперметра; 11 - дроти живлення приладів; 12 - вольтметр; 13 - амперметр; 14 - гумова прокладка; 15 - платформа підйомника; 16 - гвинт; 17 - ручка підйомного механізму.

До електродвигуна за допомогою цангового затискача 4 приєднується робочий орган 2 (вал з лопатями). Рідина для випробування знаходиться в посудині 3, яка встановлений на платформі 15, має гвинтовий підйомник 16. Лабораторна установка включається в однофазну мережу з напругою 220 В.



Рисунок 2 – Фото експериментальної лабораторної установки

6 Методика проведення лабораторної роботи

Перший етап експериментальних досліджень

- 1) Заміряти і записати в таблицю 1 всі розміри мішалки і посудини.
- 2) Провести тарування частоти обертання двигуна за значеннями напруги, для чого зняти верхню кришку електродвигуна і встановити механічний тахометр ТЧ-10Р на вал двигуна.

За допомогою автотрансформатора послідовно встановлювати на вольтметрі напругу 5, 10, 15, 20, 25 В і відповідно фіксувати частоту обертання електродвигуна.

- 3) Встановити, за допомогою цангового затискача, на вал мішалки необхідний робочий орган і за допомогою рукоятки занурити його в посудину з рідиною так, щоб рівень рідини під робочим органом і над ним був приблизно однаковим.

- 4) Увімкнути електродвигун і за планом досліджень встановити перше значення частоти обертання робочого органу (лопатевої мішалки). Зафіксувати напругу і силу струму для визначення повної потужності, яка витрачається на перемішування.

- 5) Провести п'ять дослідів за пунктом 4), ступінчасто змінюючи частоту обертання двигуна, керуючись показаннями вольтметра і тарувального графіка.

- 6) Від'єднати робочий орган від вала двигуна і прибирати посудину з рідиною. Ввімкнути електродвигун і на холостих обертах визначити напругу U_{xx} і силу струму I_{xx} . Досліди провести при трьох значеннях частоти обертів ротора.

- 7) Заміряти температуру, густину і в'язкість рідини, яка досліджувалась.

- 8) Провести математичну обробку результатів дослідів на основі всіх експериментальних даних, занесених в таблицю 1.

- 9) Злити рідину з посудини і ретельно очистити поверхні експериментальної установки та прибрати робоче місце.

Таблиця 1 – Експериментальні і розрахункові параметри процесу перемішування рідини

Назва параметра	Познач.	Розмірн.	Номер експерименту				
			1	2	3	4	5
Діаметр лопаті мішалки	<i>d</i>	м					
Діаметр посудини	<i>D</i>	м					
Висота шару рідини	<i>H</i>	м					
Зазор між лопаттю і дном	<i>h</i>	м					
Температура рідини	<i>t</i>	°С					
Густина рідини	<i>ρ</i>	Кг/м ³					
В'язкість рідини	<i>μ</i>	Па С					
Частота обертання мішалки	<i>n</i>	С ⁻¹					
Напруга під навантаженням	<i>U</i>	В					
Сила струму навантаження	<i>I</i>	А					
Потужність навантаження	<i>P</i>	Вт					
Напруга холостого ходу	<i>U</i>	в					
Сила струму холостого ходу	<i>I</i>	А					
Потужність холостого ходу	<i>P_{xx}</i>	Вт					
Потужність перемішування	<i>P_м</i>	Вт					
Критерій Ейлера для перемішування	<i>Eu</i>						
Логарифм критерію Ейлера	<i>lgEu</i>						
Критерій Рейнольдса для перемішування	<i>Re</i>						
Логарифм критерію Рейнольдса	<i>lgRe</i>						
Постійна степеневі функції	<i>m</i>						
Показник ступеня	<i>A</i>						

7 Обробка результатів експерименту

Тарувальну характеристику залежності числа оборотів двигуна від напруги $n = f(U)$ оформити за прикладом на рисунку 3.

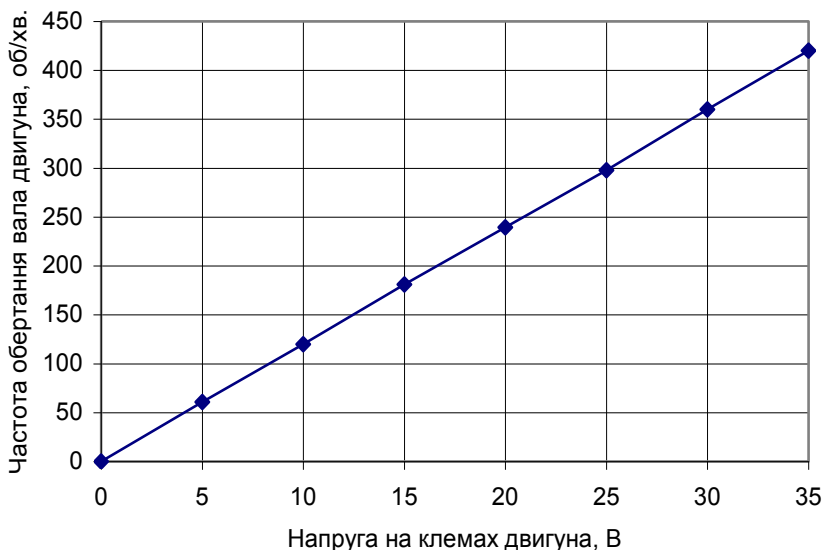


Рисунок 3 – Приклад оформлення тарувального графіка

Значення повної потужності, яка витрачається на привід мішалки під час проведення експерименту і потужності холостого ходу електродвигуна визначаються за формулами.

$$P = I \cdot U ; \quad P_{xx} = I_{xx} \cdot U_{xx} . \quad (17, 18)$$

Потужність на валу мішалки, яка витрачається безпосередньо на процес перемішування визначається як:

$$P_M = (P - P_{xx}) \cdot \eta_{\delta\delta} \cdot \eta_{пер} , \quad (19)$$

де P - потужність, визначена за формулою (17), Вт;

P_{xx} - потужність холостого ходу електродвигуна, Вт;

$\eta_{\delta\delta}$ - ККД електродвигуна $\eta_{\delta\delta} = 0,8...0,85$;

$\eta_{пер}$ - ккд передачі $\eta_{пер} = 0,85...0,9$.

Значення критеріїв Ейлера і Рейнольдса визначаються за формулами (15) і (16) для всіх дослідів і результати заносяться в таблицю 1.

Розраховується логарифм критерію Рейнольдса для кожного досліду, дані заносяться в таблицю №1.

На підставі обчислених значень **Re** і **Eu** побудувати графік (рисуюнок 2) залежності **$lg Eu = f(lg Re)$**

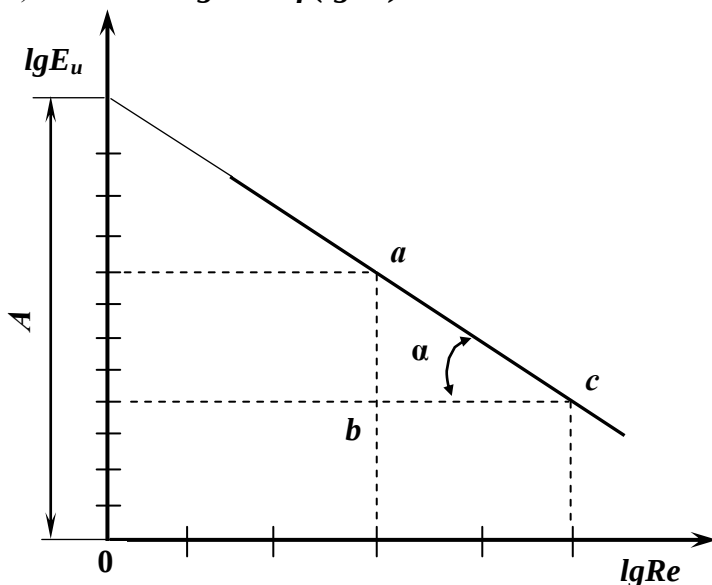


Рисунок 4 – Приклад оформлення графіка залежності
 $lg Eu = f(lg Re)$

Показник ступеня **m** (рівняння (4)) визначається як тангенс кута нахилу отриманої прямої:

$$m = \operatorname{tg} \alpha = \frac{ab}{bc} \cdot \frac{M_y}{M_x},$$

де **M_y** і **M_x** - масштаби по осі „y“ та по осі „x“.

Оскільки кут **α** розташований у другій чверті тригонометричного кола, то величина тангенса буде мати знак мінус.

Постійна A знаходиться як відрізок прямої, що відсікається, на осі ординат або з рівняння (14), яке потрібно логарифмувати.

$$Eu = A \cdot Re^m;$$

$$\lg Eu = \lg A + m \cdot \lg Re; \quad \lg A = \lg Eu + m \lg Re$$

Необхідно зробити не менш три визначення і отримати з них середнє значення.

Критеріальне рівняння (14) з певними постійними A і m можна використовувати для визначення витрати енергії на перемішування будь-якої рідини мішалкою, геометрично подібною мішалці дослідженого типу.

Другий етап експериментальних досліджень

Для перевірки отриманого на першому етапі досліджень критеріального рівняння процесу перемішування в рідкому середовищі, проводяться дослідження перемішування на геометрично подібній лопатевій мішалці рідини, що має інші фізичні властивості.

Експериментальні дослідження проводяться у тій же послідовності що й на першому етапі, дані випробувань заносимо в таблицю 2.

Обробка результатів дослідження аналогічна обробці, проведеної на першому етапі.

Розрахункова потужність визначається виходячи з критеріального рівняння $Eu_m = A \cdot Re_m^m$,

$$\text{де: } Eu_m = \frac{P_1}{\rho_1 \cdot n_1^3 \cdot d_1^5} - \text{критерій Ейлера};$$

$$Re_m = \frac{\rho_1 \cdot n_1 \cdot d_1^2}{\mu_1} - \text{критерій Рейнольдса}.$$

Звідки знаходиться величина P_p поставивши її замість P_1

$$P_p = \rho_1 \cdot n_1^3 \cdot d_1^5 A \cdot Re_m^m.$$

Розбіжність теоретичної потужності витраченої на перемішування і експериментальної визначається за виразом:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_p}{P_1} \cdot 100\%$$

Розрахункові дані заносяться в таблицю 2.

Таблиця 2 – Експериментальні і розрахункові параметри процесу перемішування (2 етап).

Назва параметра	Познач.	Розм.	Номер експерименту				
			1	2	3	4	5
Діаметр мішалки	d_1	м					
Діаметр судини	D_1	м					
Висота шару рідини	H_1	м					
Зазор між лопаттю і дном	h_1	м					
Температура рідини	t_1	°C					
Густина рідини	ρ_1	Кг/м ³					
В'язкість рідини	μ_1	Па · С					
Частота обертання	n_1	С ⁻¹					
Показання вольтметра	U_1	В					
Показання амперметра	I_1	А					
Потужність перемішування	P_1	Вт					
Розрахункова потужність перемішування	P_p	Вт					

8 Вимоги безпеки

Під час проведення роботи додержуватись загальної інструкції з охорони праці, наведених в розділі „Загальні вимоги безпеки“.

9 Контрольні питання

- 1 Дайте визначення процесу змішування або перемішування.
- 2 За якими характеристиками оцінюється процес перемішування?
- 3 Наведіть класифікацію способів і обладнання для перемішування.
- 4 Поясніть принцип дії та будову лопатевих мішалок.
- 5 Як впливають форма і розміри лопатей мішалки на потужність потрібну для привода робочого органу?
- 6 Наведіть приклади впливу конструкції мішалки на характер руху рідини при механічному перемішуванні?
- 7 Як визначають витрати енергії при механічному перемішуванні?

9 Тестові завдання

1) Вкажіть, яке формулювання не можна віднести до мети процесу перемішування?

- 1 Забезпечення рівномірного розподілу твердих часток в рідині
- 2 Інтенсифікація теплових та масообмінних процесів.
- 3 Виділення з гомогенної суміші одного або групи компонентів.

2) Якими способами реалізується процес перемішування в рідкому середовищі (дати повну відповідь)?

- 1 механічним, потоковим, пневматичним;
- 2 механічним, термічним, пневматичним;
- 3 механічним, потоковим, гравітаційним.

3) За яким головним показником оцінюється якість процесу перемішування?

- 1 за ступенем (рівномірністю) змішування фаз;
- 2 за швидкістю досягнення рівномірного змішування фаз;
- 3 за витратами потужності потрібної на рівномірне змішування фаз.

4) Яка з названих механічних мішалок розрахована на роботу з підвищеною частотою обертання?

- 1 пропелерна;
- 2 якірна;
- 3 турбінна.

5) Яка з названих механічних мішалок забезпечує найбільш інтенсивне перемішування рідини у осьовому напрямі?

- 1 якірна;
- 2 турбінна;
- 3 пропелерна.

6) Яким критеріальним рівнянням описується вимушений рух рідини при механічному перемішуванні?

- 1 $Eu = f(Re)$;
- 2 $Eu = f(Fr)$;
- 3 $Re = f(Fr)$.

7) Від яких параметрів залежить величина критерію Ейлера?

- 1 різниці тиску на різних боках лопаті мішалки, густини рідини, лінійної швидкості руху мішалки;
- 2 діаметра лопаті мішалки, густини рідини, динамічного коефіцієнта в'язкості рідини;
- 3 лінійної швидкості руху мішалки, лінійного розміру мішалки, прискорення вільного падіння.

8) Від яких параметрів залежить величина критерію Рейнольдса?

1 різниці тиску на різних боках лопаті мішалки, густини рідини, лінійної швидкості руху мішалки;

2 діаметра лопаті мішалки, густини рідини, динамічного коефіцієнта в'язкості рідини;

3 лінійної швидкості руху мішалки, лінійного розміру мішалки, прискорення вільного падіння.

9) Від яких параметрів залежить величина критерію Фруда?

1 різниці тиску на різних боках лопаті мішалки, густини рідини, лінійної швидкості руху мішалки;

2 діаметра лопаті мішалки, густини рідини, динамічного коефіцієнта в'язкості рідини;

3 лінійної швидкості руху мішалки, лінійного розміру мішалки, прискорення вільного падіння.

10) Від яких параметрів залежить потужність на валу механічної мішалки?

1 зусилля опору перемішуванню і колової швидкості лопаті;

2 зусилля опору перемішуванню і в'язкості рідини;

3 зусилля опору перемішуванню і висоти шару рідини.

Література

1. Горбатюк. В.И, Процессы и аппараты пищевых производств./ В.И. Горбатюк. - М.: "Колос" 1999, - 335с.

2. Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. / Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. - М.: Колос 2000. - 551с.

3. Стабников В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств/ В.Н. Стабников, В.Д. Попов.- М.: Пищевая промышленность 1978 - 660 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум. За редакцією проф.. І.Ф. Малєжика. К.: НУХТ, 2006. - 224 с.

