

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий механічний інститут
Кафедра будівельних, дорожніх та меліоративних машин

02-01-608М

РОЗРАХУНКОВИЙ ПРАКТИКУМ

до самостійного вивчення навчальної дисципліни

«Машини барабанного типу»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня

за освітньо-професійною програмою

«Створення та експлуатація машин і обладнання»

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

денної та заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННМІ
Протокол № 4 від 31.12.2024 р.

Рівне – 2025

Розрахунковий практикум до самостійного вивчення навчальної дисципліни «Машини барабанного типу» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Створення та експлуатація машин і обладнання» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Науменко Ю. В. – Рівне : НУВГП, 2025. – 50 с.

Укладач: Науменко Ю. В., д.т.н., професор кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин.

Відповідальний за випуск: Тхорук Є. І., к.т.н., доцент, в. о. завідувача кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин.

Керівник групи забезпечення спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» Кравець С. В.

Попередня версія розрахункового практикуму: 02-01-552М

© Ю. В. Науменко, 2025

© НУВГП, 2025

Зміст

Розрахункова робота 1. Визначення параметрів робочого процесу відцентрового формування трубчастих виробів із текучого матеріалу.....	4
Розрахункова робота 2. Визначення параметрів робочого процесу подрібнення в барабанному млині із автоколивним завантаженням та пружним елементом у приводі.....	18
Розрахункова робота 3. Визначення параметрів робочого процесу зовнішньокамерного багатостадійного подрібнення в помольному агрегаті із барабанными млинами.....	37
Список літератури	50

Розрахункова робота 1

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ВІДЦЕНТРОВОГО ФОРМУВАННЯ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ ІЗ ТЕКУЧОГО МАТЕРІАЛУ

Мета роботи:

1. Визначити значення швидкості обертання форми для двох етапів розподілення текучого матеріалу в камері при виготовленні трубчастих виробів за допомогою графічного методу.
2. Визначити значення швидкості обертання форми за допомогою аналітичного методу.
3. Оцінити розбіжність результатів, що отримано за допомогою графічного та аналітичного методів.

1.1. Вихідні дані

Робочий процес відцентрового формування трубчастих виробів із текучого матеріалу включає подавання оброблюваного матеріалу у форму, що обертається відносно горизонтальної осі, розподілення матеріалу у два етапи та наступне формування його ущільненням або твердненням після підвищення швидкості обертання або без змінювання цієї швидкості.

На першому етапі розподілення, під час формоутворення, швидкість обертання підтримується не нижче величини ω_1 (рис. 1.1а), яка відповідає переходу циркуляційного режиму течії матеріалу в камері форми у режим пристінкового шару під час прискорення обертання, а на другому етапі розподілення, після закінчення формоутворення, швидкість обертання знижується не нижче величини ω_2 (рис. 1.1б), яка відповідає зворотному переходу цих режимів течії матеріалу під час сповільнення обертання.

Робочий процес відцентрового формування дозволяє підвищити продуктивність виготовлення шляхом скорочення часу формоутворення, а також підвищення якості виробів та зниження енерговитрат і динамічного навантаження шляхом

збільшення рівномірності розподілу компонентів матеріалу перед формуванням, зменшенням кількості дефектів під час тверднення та досягнення тихохідності процесу розподілення.

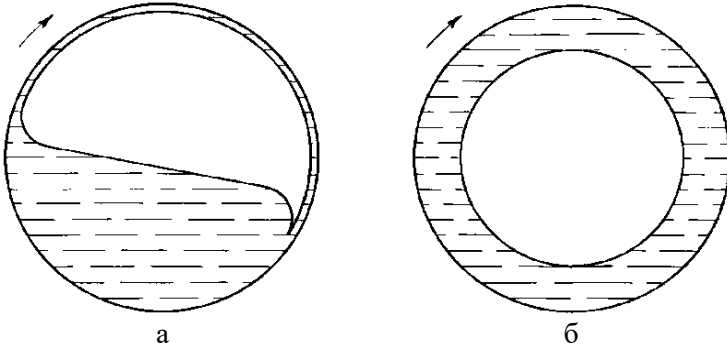


Рис. 1.1. Схеми усталених режимів течії рідини в камері обертового барабана:

а – циркуляційний режим, б – режим пристінкового шару

Значення швидкостей обертання ω_1 і ω_2 визначаються із урахуванням динамічних критеріїв подібності течії матеріалу – числа Рейнольдса Re і числа Фруда Fr на циліндричній поверхні камери форми та ступеня її заповнення оброблюваним матеріалом k .

Під час розподілення в камері обертової форми бетонну суміш та силікатні, шлакові і кам'яні розплави можна вважати однорідними в'язкими рідинами. При обертанні форми навколо горизонтальної осі у її циліндричній камері виникає явище режимного гістерезису в'язкої течії.

Швидкість обертання форми на першому етапі розподілення підтримується не нижче величини ω_{1a} , а на другому етапі розподілення – не нижче величини ω_{2a} , що визначаються за допомогою аналітичного методу зі співвідношень [1]:

$$\omega_{ia} = \sqrt{\frac{10^{lg(Fr_i)} g}{R}},$$

$$\lg(Fr_i) = \frac{B_i + \sqrt{B_i^2 - 4A_iC_i}}{-2A_i},$$

$$A_i = \frac{D_i}{4},$$

$$B_i = D_iG + \frac{E_i}{2} - 1,$$

$$C_i = D_iG^2 + E_iG + F_i,$$

$$D_1 = -0,4159\kappa^4 + 1,172\kappa^3 - 1,222\kappa^2 + 0,5545\kappa - 0,1472,$$

$$E_1 = 5\kappa^4 - 13,91\kappa^3 + 14,31\kappa^2 - 6,33\kappa + 1,775,$$

$$F_1 = -13,98\kappa^4 + 38,94\kappa^3 - 40,12\kappa^2 + 18,43\kappa - 3,998,$$

$$D_2 = -0,5943\kappa^4 + 1,538\kappa^3 - 1,546\kappa^2 + 0,6952\kappa - 0,1528,$$

$$E_2 = 6,443\kappa^4 - 17,13\kappa^3 + 17,14\kappa^2 - 7,684\kappa + 1,699,$$

$$F_2 = -15,48\kappa^4 + 41,88\kappa^3 - 42,69\kappa^2 + 19,66\kappa - 3,919,$$

$$G = \lg\left(\frac{R^2}{\nu}\right) - \frac{1}{2}\lg\left(\frac{R}{g}\right),$$

де ω_{ia} – кутова швидкість обертання форми, 1/с; $i=1$ або 2 – індекс, що відповідає типу переходу режимів течії матеріалу в формі; R – радіус камери форми, м; g – гравітаційне прискорення, м/с²; κ – ступінь заповнення камери форми текучим матеріалом; Fr_i – число Фруда на циліндричній поверхні камери; $A_i, B_i, C_i, D_i, E_i, F_i, G$ – змінні величини; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості текучого матеріалу під час розподілення, м²/с.

1.2. Порядок виконання роботи 1

1. Вибрати за варіантом з табл. 1 вихідні дані роботи: радіус камери форми R , ступінь заповнення камери форми текучим матеріалом κ , кінематичний коефіцієнт в'язкості текучого матеріалу під час розподілення ν .

Таблиця 1

Варіанти вихідних даних до виконання роботи 1

Варіант	R	κ	ν
	м		м ² /с
1	0,075	0,9	10 ⁻⁶
2	0,084	0,9	1,37 · 10 ⁻⁶
3	0,094	0,9	1,89 · 10 ⁻⁶
4	0,0105	0,9	2,59 · 10 ⁻⁶
5	0,118	0,9	3,56 · 10 ⁻⁶
6	0,132	0,9	4,89 · 10 ⁻⁶
7	0,148	0,7	6,72 · 10 ⁻⁶
8	0,166	0,7	9,24 · 10 ⁻⁶
9	0,186	0,7	1,27 · 10 ⁻⁵
10	0,208	0,7	1,74 · 10 ⁻⁵
11	0,233	0,7	2,4 · 10 ⁻⁵
12	0,261	0,7	3,29 · 10 ⁻⁵
13	0,292	0,5	4,52 · 10 ⁻⁵
14	0,327	0,5	6,21 · 10 ⁻⁵
15	0,366	0,5	8,53 · 10 ⁻⁵
16	0,41	0,5	1,17 · 10 ⁻⁴
17	0,46	0,5	1,61 · 10 ⁻⁴
18	0,51	0,5	2,21 · 10 ⁻⁴
19	0,58	0,3	3,04 · 10 ⁻⁴
20	0,64	0,3	4,18 · 10 ⁻⁴
21	0,72	0,3	5,74 · 10 ⁻⁴
22	0,81	0,3	7,88 · 10 ⁻⁴
23	0,91	0,3	1,08 · 10 ⁻³
24	1,01	0,3	1,49 · 10 ⁻³
25	1,14	0,1	2,04 · 10 ⁻³
26	1,27	0,1	2,81 · 10 ⁻³
27	1,42	0,1	3,86 · 10 ⁻³
28	1,59	0,1	5,3 · 10 ⁻³
29	1,79	0,1	7,28 · 10 ⁻³
30	2	0,1	10 ⁻²

2. Визначити, надаючи, для спрощення, кутовий швидкості ω значення $\omega=1$ 1/с, координату допоміжної точки K^* на діаграмі $Re-Fr$ для числа Рейнольдса ($Re^*=(\omega R^2)/\nu$) Re^* :

$$Re^* = \frac{R^2}{\nu}$$

3. Визначити, надаючи, для спрощення, кутовій швидкості ω значення $\omega=1$ 1/с, координату допоміжної точки K^* на діаграмі $Re-Fr$ для числа Фруда ($Fr^*=(\omega^2 R)/g$) Fr^* :

$$Fr^* = \frac{R}{g},$$

де $g=9,81$ м/с² – гравітаційне прискорення.

4. Визначити десяткову логарифмічну координату допоміжної точки K^* для числа Рейнольдса:

$$lg(Re^*).$$

5. Визначити десяткову логарифмічну координату допоміжної точки K^* для числа Фруда:

$$lg(Fr^*).$$

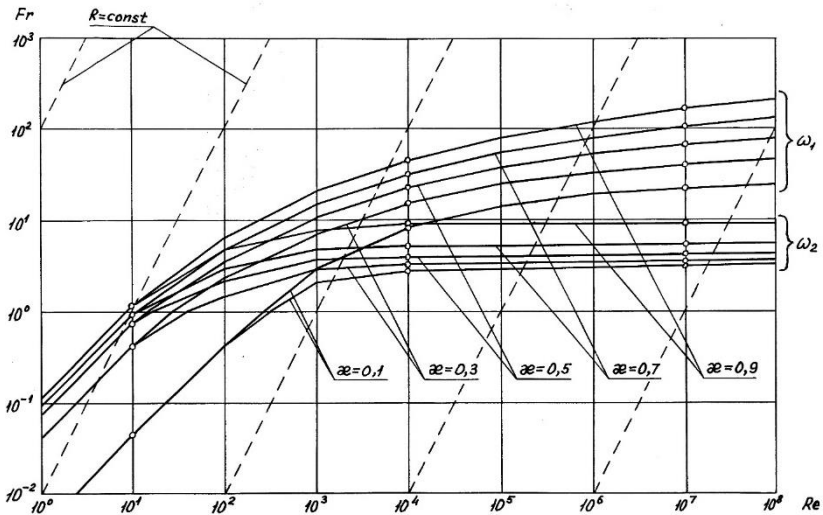


Рис. 1.2. Діаграма $Re-Fr$ меж переходу режимів течії

6. Побудувати на копії діаграми $Re-Fr$ (рис. 1.2) в логарифмічних осях за одержаними логарифмами координат $lg(Re^*)$ та $lg(Fr^*)$ допоміжну точку K^* .

7. Провести на діаграмі $Re-Fr$ (рис. 1.2) через одержану точку K^* допоміжну похилу пряму із кутовим коефіцієнтом 2, яка відповідає умові $R=const$, до перетину в точках K_1 та K_2 із лініями графіків ω_1 та ω_2 для відповідного значення ступеня заповнення камери κ .

8. Виміряти на логарифмічних осях діаграми $Re-Fr$ (рис. 1.2) логарифмічні координати одержаної точки K_1 перетину допоміжної прямої із лінією графіку ω_1 :

$$\begin{aligned} &lg(Re_1), \\ &lg(Fr_1). \end{aligned}$$

9. Виміряти на логарифмічних осях діаграми $Re-Fr$ (рис. 1.2) логарифмічні координати одержаної точки K_2 перетину допоміжної прямої із лінією графіку ω_2 :

$$\begin{aligned} &lg(Re_2), \\ &lg(Fr_2). \end{aligned}$$

10. Визначити, за одержаними логарифмічними координатами точки K_1 перетину допоміжної прямої із лінією графіку ω_1 , її координати Re_1 та Fr_1 :

$$\begin{aligned} Re_1 &= 10^{lg(Re_1)}, \\ Fr_1 &= 10^{lg(Fr_1)}. \end{aligned}$$

11. Визначити, за одержаними логарифмічними координатами точки K_2 перетину допоміжної прямої із лінією графіку ω_2 , її координати Re_2 та Fr_2 :

$$\begin{aligned} Re_2 &= 10^{lg(Re_2)}, \\ Fr_2 &= 10^{lg(Fr_2)}. \end{aligned}$$

12. Визначити значення кутової швидкості обертання форми при прямому переході режимів течії, що встановлено за допомогою графічного методу, $\omega_{1г}$, 1/с:

$$\omega_{1г} = \frac{\frac{Re_1 v}{R^2} + \sqrt{\frac{Fr_1 g}{R}}}{2}.$$

13. Визначити значення кутової швидкості обертання форми при зворотному переході режимів течії, що встановлено за допомогою графічного методу, $\omega_{2г}$, 1/с:

$$\omega_{2r} = \frac{\frac{Re_2 v}{R^2} + \sqrt{\frac{Fr_2 g}{R}}}{2}.$$

14. Визначити змінну величину G :

$$G = \lg\left(\frac{R^2}{v}\right) - \frac{1}{2} \lg\left(\frac{R}{g}\right).$$

15. Визначити змінну величину F_1 :

$$F_1 = -13,98\kappa^4 + 38,94\kappa^3 - 40,12\kappa^2 + 18,43\kappa - 3,998.$$

16. Визначити змінну величину E_1 :

$$E_1 = 5\kappa^4 - 13,91\kappa^3 + 14,31\kappa^2 - 6,33\kappa + 1,775.$$

17. Визначити змінну величину D_1 :

$$D_1 = -0,4159\kappa^4 + 1,172\kappa^3 - 1,222\kappa^2 + 0,5545\kappa - 0,1472.$$

18. Визначити змінну величину C_1 :

$$C_1 = D_1 G^2 + E_1 G + F_1.$$

19. Визначити змінну величину B_1 :

$$B_1 = D_1 G + \frac{E_1}{2} - 1.$$

20. Визначити змінну величину A_1 :

$$A_1 = \frac{D_1}{4}.$$

21. Визначити змінну величину $\lg(Fr_1)$:

$$\lg(Fr_1) = \frac{B_1 + \sqrt{B_1^2 - 4A_1 C_1}}{-2A_1}.$$

22. Визначити значення кутової швидкості при прямому переході режимів течії, що встановлено за допомогою аналітичного методу, ω_{1a} , 1/с:

$$\omega_{1a} = \sqrt{\frac{10^{\lg(Fr_1)} g}{R}}.$$

23. Визначити відносну кутову швидкість при прямому переході режимів течії $\psi_{\omega_{1a}}$:

$$\psi_{\omega_{1a}} = \frac{\omega_{1a}}{\omega_{кр}} = \omega_{1a} \sqrt{\frac{R}{g}}$$

24. Визначити змінну величину F_2 :

$$F_2 = -15,48\kappa^4 + 41,88\kappa^3 - 42,69\kappa^2 + 19,66\kappa - 3,919.$$

25. Визначити змінну величину E_2 :

$$E_2 = 6,443\kappa^4 - 17,13\kappa^3 + 17,14\kappa^2 - 7,684\kappa + 1,699.$$

26. Визначити змінну величину D_2 :

$$D_2 = -0,5943\kappa^4 + 1,538\kappa^3 - 1,546\kappa^2 + 0,6952\kappa - 0,1528.$$

27. Визначити змінну величину C_2 :

$$C_2 = D_2 G^2 + E_2 G + F_2.$$

28. Визначити змінну величину B_2 :

$$B_2 = D_2 G + \frac{E_2}{2} - 1.$$

29. Визначити змінну величину A_2 :

$$A_2 = \frac{D_2}{4}.$$

30. Визначити змінну величину $lg(Fr_2)$:

$$lg(Fr_2) = \frac{B_2 + \sqrt{B_2^2 - 4A_2 C_2}}{-2A_2}.$$

31. Визначити значення кутової швидкості при зворотному переході режимів течії, що встановлено за допомогою аналітичного методу, ω_{2a} , 1/с:

$$\omega_{2a} = \sqrt{\frac{10^{lg(Fr_2)} g}{R}}.$$

32. Визначити відносну кутову швидкість при зворотному переході режимів течії $\psi_{\omega_{2a}}$:

$$\psi_{\omega_{2a}} = \frac{\omega_{2a}}{\omega_{кр}} = \omega_{2a} \sqrt{\frac{R}{g}}$$

33. Визначити розбіжність значень кутової швидкості ω_1 , що отримано за допомогою графічного та аналітичного методів ε_1 , %:

$$\varepsilon_1 = \frac{|\omega_{1г} - \omega_{1а}|}{\omega_{1а}} 100.$$

34. Визначити розбіжність значень кутової швидкості ω_2 , що отримано за допомогою графічного та аналітичного методів, ε_2 , %:

$$\varepsilon_2 = \frac{|\omega_{2г} - \omega_{2а}|}{\omega_{2а}} 100.$$

1.3. Приклад виконання роботи 1

Розрахункова робота 1

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ВІДЦЕНТРОВОГО ФОРМУВАННЯ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ ІЗ ТЕКУЧОГО МАТЕРІАЛУ

Мета роботи:

1. Визначити значення швидкості обертання форми для двох етапів розподілення текучого матеріалу в камері при виготовленні трубчастих виробів за допомогою графічного методу.

2. Визначити значення швидкості обертання форми за допомогою аналітичного методу.

3. Оцінити розбіжність результатів, що отримано за допомогою графічного та аналітичного методів.

1. Вихідні дані роботи: радіус камери форми $R=0,39$ м, ступінь заповнення камери форми текучим матеріалом $\kappa=0,5$, кінематичний коефіцієнт в'язкості текучого матеріалу під час розподілення $\nu=1,01 \cdot 10^{-4}$ м²/с.

2. Координата допоміжної точки K^* на діаграмі $Re-Fr$ для числа Рейнольдса:

$$Re^* = \frac{R^2}{\nu} = \frac{0,39^2}{1,01 \cdot 10^{-4}} = 1510.$$

3. Координата допоміжної точки K^* на діаграмі $Re-Fr$ для числа Фруда:

$$Fr^* = \frac{R}{g} = \frac{0,39}{9,81} = 0,0398,$$

де $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – гравітаційне прискорення.

4. Десятькова логарифмічна координата допоміжної точки K^* для числа Рейнольдса:

$$lg(Re^*) = lg(1510) = 3,18.$$

5. Десятькова логарифмічна координата допоміжної точки K^* для числа Фруда:

$$lg(Fr^*) = lg(0,0398) = -1,4.$$

6. Виміряні на осях діаграми $Re-Fr$ логарифмічні координати точки K_1 перетину допоміжної прямої із кутовим коефіцієнтом 2, що проходить через допоміжну точку K^* , із лінії графіку ω_1 :

$$\begin{aligned} lg(Re_1) &= 4,65, \\ lg(Fr_1) &= 1,52. \end{aligned}$$

7. Виміряні на осях діаграми $Re-Fr$ логарифмічні координати точки K_2 перетину допоміжної прямої із кутовим коефіцієнтом 2, що проходить через допоміжну точку K^* , із лінії графіку ω_2 :

$$\begin{aligned} lg(Re_2) &= 4,18, \\ lg(Fr_2) &= 0,565. \end{aligned}$$

8. Координати точки K_1 перетину допоміжної прямої із лінією графіку ω_1 :

$$\begin{aligned} Re_1 &= 10^{lg(Re_1)} = 10^{4,65} = 44700, \\ Fr_1 &= 10^{lg(Fr_1)} = 10^{1,52} = 33,1. \end{aligned}$$

9. Координатами точки K_2 перетину допоміжної прямої із лінією графіку ω_2 :

$$\begin{aligned} Re_2 &= 10^{lg(Re_2)} = 10^{4,18} = 15100, \\ Fr_2 &= 10^{lg(Fr_2)} = 10^{0,565} = 3,67. \end{aligned}$$

10. Кутова швидкість обертання форми при прямому переході режимів течії, що визначено графічним методом:

$$\omega_{1r} = \frac{\frac{Re_1 v}{R^2} + \sqrt{\frac{Fr_1 g}{R}}}{2} =$$

$$= \frac{\frac{44700 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4}}{0,39^2} + \sqrt{\frac{33,1 \cdot 9,81}{0,39}}}{2} = 29,7 \text{ 1/с.}$$

11. Кутова швидкості обертання форми при зворотному переході режимів течії, що визначено графічним методом:

$$\omega_{2r} = \frac{\frac{Re_2 v}{R^2} + \sqrt{\frac{Fr_2 g}{R}}}{2} =$$

$$= \frac{\frac{15100 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4}}{0,39^2} + \sqrt{\frac{3,67 \cdot 9,81}{0,39}}}{2} = 9,82 \text{ 1/с.}$$

12. Змінна величина:

$$G = \lg\left(\frac{R^2}{v}\right) - \frac{1}{2} \lg\left(\frac{R}{g}\right) =$$

$$= \lg\left(\frac{0,39^2}{1,01 \cdot 10^{-4}}\right) - \frac{1}{2} \cdot \lg\left(\frac{0,39}{9,81}\right) = 3,88.$$

13. Змінна величина:

$$F_1 = -13,98\kappa^4 + 38,94\kappa^3 - 40,12\kappa^2 + 18,43\kappa - 3,998 =$$

$$= -13,98 \cdot 0,5^4 + 38,94 \cdot 0,5^3 - 40,12 \cdot 0,5^2 +$$

$$+ 18,43 \cdot 0,5 - 3,998 = -0,819.$$

14. Змінна величина:

$$E_1 = 5\kappa^4 - 13,91\kappa^3 + 14,31\kappa^2 - 6,33\kappa + 1,775 =$$

$$= 5 \cdot 0,5^4 - 13,91 \cdot 0,5^3 + 14,31 \cdot 0,5^2 -$$

$$- 6,33 \cdot 0,5 + 1,775 = 0,761.$$

15. Змінна величина:

$$D_1 = -0,4159\kappa^4 + 1,172\kappa^3 - 1,222\kappa^2 + 0,5545\kappa -$$

$$- 0,1472 = -0,4159 \cdot 0,5^4 + 1,172 \cdot 0,5^3 - 1,222 \cdot 0,5^2 +$$

$$+ 0,5545 \cdot 0,5 - 0,1472 = -0,0549.$$

16. Змінна величина:

$$C_1 = D_1 G^2 + E_1 G + F_1 =$$

$$= -0,0549 \cdot 3,88^2 + 0,761 \cdot 3,88 + (-0,819) = 1,31.$$

17. Змінна величина:

$$B_1 = D_1 G + \frac{E_1}{2} - 1 = -0,0549 \cdot 3,88 + \frac{0,761}{2} - 1 = -0,833.$$

18. Змінна величина:

$$A_1 = \frac{D_1}{4} = \frac{-0,0549}{4} = -0,0137.$$

19. Змінна величина:

$$\begin{aligned} \lg(Fr_1) &= \frac{B_1 + \sqrt{B_1^2 - 4A_1C_1}}{-2A_1} = \\ &= \frac{-0,833 + \sqrt{(-0,833)^2 - 4 \cdot (-0,0137) \cdot 1,31}}{-2 \cdot (-0,0137)} = 1,53. \end{aligned}$$

20. Кутова швидкість при прямому переході режимів течії, що визначено аналітичним методом:

$$\omega_{1a} = \sqrt{\frac{10^{\lg(Fr_1)} g}{R}} = \sqrt{\frac{10^{1,53} \cdot 9,81}{0,39}} = 29,2 \text{ 1/с.}$$

21. Відносна кутова швидкість при прямому переході режимів теч:

$$\psi_{\omega_{1a}} = \frac{\omega_{1a}}{\omega_{кр}} = \omega_{1a} \sqrt{\frac{R}{g}} = 29,2 \cdot \sqrt{\frac{0,39}{9,81}} = 5,82.$$

22. Змінна величина:

$$\begin{aligned} F_2 &= -15,48\kappa^4 + 41,88\kappa^3 - 42,69\kappa^2 + 19,66\kappa - 3,919 = \\ &= -15,48 \cdot 0,5^4 + 41,88 \cdot 0,5^3 - 42,69 \cdot 0,5^2 + \\ &\quad + 19,66 \cdot 0,5 - 3,919 = -0,494. \end{aligned}$$

23. Змінна величина:

$$\begin{aligned} E_2 &= 6,443\kappa^4 - 17,13\kappa^3 + 17,14\kappa^2 - 7,684\kappa + 1,699 = \\ &= 6,443 \cdot 0,5^4 - 17,13 \cdot 0,5^3 + 17,14 \cdot 0,5^2 - \\ &\quad - 7,684 \cdot 0,5 + 1,699 = 0,403. \end{aligned}$$

24. Змінна величина:

$$D_2 = -0,5943\kappa^4 + 1,538\kappa^3 - 1,546\kappa^2 + 0,6952\kappa -$$

$$-0,1528 = -0,5943 \cdot 0,5^4 + 1,538 \cdot 0,5^3 - 1,546 \cdot 0,5^2 + 0,6952 \cdot 0,5 - 0,1528 = -0,0366.$$

25. Змінна величина:

$$C_2 = D_2 G^2 + E_2 G + F_2 = (-0,0366) \cdot 3,88^2 + 0,403 \cdot 3,88 + (-0,494) = 0,519.$$

26. Змінна величина:

$$B_2 = D_2 G + \frac{E_2}{2} - 1 = -0,0366 \cdot 3,88 + \frac{0,403}{2} - 1 = -0,941.$$

27. Змінна величина:

$$A_2 = \frac{D_2}{4} = \frac{-0,0366}{4} = -0,00915.$$

28. Змінна величина:

$$\begin{aligned} \lg(Fr_2) &= \frac{B_2 + \sqrt{B_2^2 - 4A_2C_2}}{-2A_2} = \\ &= \frac{-0,941 + \sqrt{(-0,941)^2 - 4 \cdot (-0,00915) \cdot 0,519}}{-2 \cdot (-0,00915)} = 0,549. \end{aligned}$$

29. Кутова швидкість при зворотному переході режимів течії, що визначено аналітичним методом:

$$\omega_{2a} = \sqrt{\frac{10^{\lg(Fr_2)} g}{R}} = \sqrt{\frac{10^{0,549} \cdot 9,81}{0,39}} = 9,44 \text{ 1/с.}$$

30. Відносна кутова швидкість при зворотному переході режимів течії:

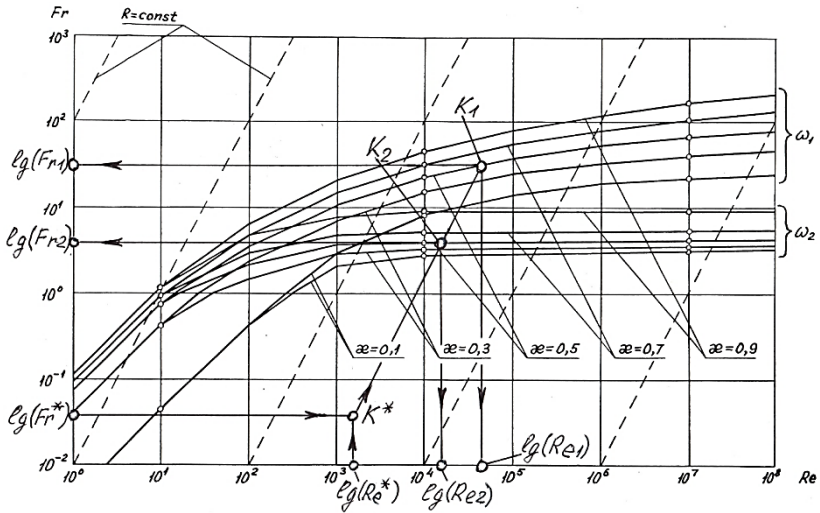
$$\psi_{\omega_{2a}} = \frac{\omega_{2a}}{\omega_{кр}} = \omega_{2a} \sqrt{\frac{R}{g}} = 9,44 \cdot \sqrt{\frac{0,39}{9,81}} = 1,88.$$

31. Розбіжність значень кутової швидкості ω_1 , що отримано графічним та аналітичним методами:

$$\varepsilon_1 = \frac{|\omega_{1г} - \omega_{1а}|}{\omega_{1а}} 100 = \frac{|29,7 - 29,2|}{29,2} \cdot 100 = 1,71 \text{ \%}.$$

32. Розбіжність значень кутової швидкості ω_2 , що отримано графічним та аналітичним методами:

$$\varepsilon_2 = \frac{|\omega_{2r} - \omega_{2a}|}{\omega_{2a}} 100 = \frac{|9,82 - 9,44|}{9,44} \cdot 100 = 4,03 \%$$



Розрахункові геометричні побудови на діаграмі $Re-Fr$

Розрахункова робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ В БАРАБАННОМУ МЛИНІ ІЗ АВТОКОЛИВНИМ ЗАВАНТАЖЕННЯМ ТА ПРУЖНИМ ЕЛЕМЕНТОМ У ПРИВОДІ

Мета роботи:

1. Визначити значення швидкості обертання барабана млина при самозбудженні автоколиваний внутрішньокамерного завантаження із максимальним розмахом за допомогою графічного методу.
2. Визначити значення швидкості обертання барабана млина при самозбудженні автоколиваний внутрішньокамерного завантаження із максимальним розмахом за допомогою аналітичного методу.
3. Оцінити розбіжність результатів, що отримано за допомогою графічного та аналітичного методів.
4. Визначити значення кутової жорсткості пружного елемента в приводі обертання барабана.

2.1. Вихідні дані

Робочий процес подрібнення в барабанному млині із автоколивним завантаженням включає подавання подрібнюваного матеріалу в камеру барабана, що обертається відносно горизонтальної осі зі сталою швидкістю, та дію на нього мольольним завантаженням, якому надають пульсуючого руху в поперечному перерізі камери.

В приводі барабанного млина застосовано кутовий пружний елемент, який розміщено між передачею та барабаном. Значення кутової жорсткості пружного елемента спричинює наближення колової частоти власних кутових коливаний завантаженого барабана із пружним елементом до кутової швидкості обертання барабана в режимі самозбудження автоколиваний завантаження.

Такий процес забезпечує самозбудження автоколиваний

завантаження в поперечному перерізі камери із максимальним розмахом при виникненні явища резонансу (рис. 2.1). Це збільшує інтенсивність подрібнюючої дії на матеріал, підвищує продуктивність та тонину помелу, а також знижує динамічних навантажень на привод від автоколиваний завантаженого барабана.

Значення швидкостей обертання для нижнього та верхнього біфуркаційного значення швидкості обертання завантаженого барабана ω_1 і ω_2 визначаються із урахуванням критеріїв подібності руху зернистого завантаження – числа Рейнольдса Re і числа Фруда Fr на циліндричній поверхні камери та ступеня її заповнення завантаженням κ .

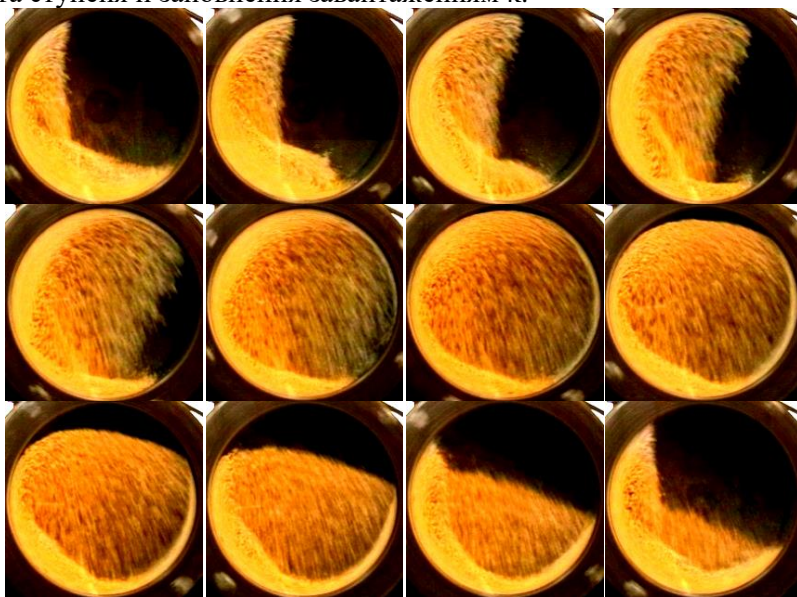


Рис. 2.1. Послідовні картини руху зернистого завантаження для одного періоду автоколиваний із максимальним розмахом при ступені заповнення камери $\kappa=0,25$

За такої умови значення кутової жорсткості пружного елемента приймається не нижче величини c_2 та не вище величини c_1 , які визначаються із співвідношень [2]:

$$\begin{aligned}
c_i &= \frac{I\omega_i^2}{M_i^2}, \\
\omega_{ia} &= \sqrt{\frac{10^{lg(Fr_i)}g}{R}}, \\
lg(Fr_i) &= \frac{B_i + \sqrt{B_i^2 - 4A_iC_i}}{-2A_i}, \\
A_i &= \frac{D_i}{4}, \\
B_i &= D_iG + \frac{E_i}{2} - 1, \\
C_i &= D_iG^2 + E_iG + F_i, \\
D_1 &= -0,0273\kappa^2 + 0,01176\kappa - 0,001889, \\
E_1 &= 0,1793\kappa^2 - 0,09029\kappa + 0,06483, \\
F_1 &= -0,4186\kappa^2 - 0,01727\kappa + 0,1605, \\
D_2 &= 0,001078\kappa^2 - 0,0008604\kappa + 0,001772, \\
E_2 &= 0,008163\kappa^2 - 0,02245\kappa + 0,04668, \\
F_2 &= 0,05714\kappa^2 - 0,2386\kappa + 0,23, \\
G &= lg(R^2) - \frac{1}{2}lg\left(\frac{R}{g}\right), \\
R &= R_6 - \frac{d}{2},
\end{aligned}$$

де c_i – кутова жорсткість пружного елемента, Нм/рад.; $i=1$ або 2 – індекс; I – осьовий момент інерції зернистого завантаженого барабана, кг·м²; ω_1 та ω_2 – нижнє та верхнє біфуркаційні значення швидкості обертання завантаженого барабана, рад./с; $M_1 < 1$ та $M_2 > 1$ – задані співвідношення між кутовою швидкістю обертання барабана та коловою частотою власних кутових коливань завантаженого барабана із пружним елементом; Fr_i – число Фруда; g – гравітаційне прискорення, м/с²; R – розрахунковий радіус камери барабана, м; R_6 – радіус камери барабана, м; d – середній діаметр молольного тіла в камері барабана, м; A_i , B_i , C_i ,

D_i, E_i, F_i, G – змінні величини; κ – ступінь заповнення камери барабана завантаженням.

Привод барабанного млина із автоколивним внутрішньокамерним завантаженням (рис. 2.2) містить приводний двигун 1, передачу 2, пружний кутовий елемент 3 із жорсткістю c та завантажений барабан 4, що обертається із кутовою швидкістю ω і має осьовий момент інерції I . Передача 2 може складатись зі швидкохідного 5, проміжного 6 та тихохідного ступеня 7. Пружний кутовий елемент 3 разом із тихохідним ступенем 7 може бути виконаним у вигляді пасової передачі, що виконує функції тихохідного ступеня 7 передачі 2.

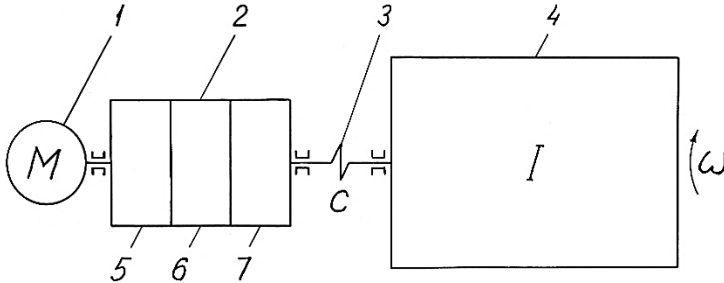


Рис. 2.2. Схема приводу барабанного млина із автоколивним внутрішньокамерним завантаженням:

- 1 – приводний двигун, 2 – передача, 3 – пружний кутовий елемент,
- 4 – завантажений барабан, 5 – швидкохідний ступінь передачі,
- 6 – проміжний ступінь передачі, 7 – тихохідний ступінь передачі

Приведення в обертання та збудження автоколивань зернистого завантаження барабана за допомогою зазначеного приводу здійснюється у такий спосіб. Завантажений барабан 4 приводять у обертання зі швидкістю ω від двигуна 1 за допомогою ступенів 5-7 передачі 2 та пружного елемента 3. Значення кутової швидкості ω підтримують у межах діапазону біфуркаційних значень. Внаслідок втрати стійкості самозбуджуються автоколивань завантаженого барабана із частотою, близькою до значення ω . Завдяки наближенню величини колової частоти власних кутових коливань завантаженого барабана 4 із пружним елементом 3 до величини кутової швидкості ω , виникає явище резонансу. При цьому

амплітуда автоколивань внутрішньокамерного завантаження набуває максимального значення, що спричинює збільшення інтенсивності подрібнюючої дії молоткових тіл на частинки зернистого матеріалу.

Виконання пружного елемента 3 разом із тихохідним ступенем 7 передачі 2 у вигляді пасової передачі дозволяє спростити конструкцію та підвищити надійність приводу, а також полегшити забезпечення виникнення явища резонансу та збільшити амплітуду автоколивань, що самозбуджуються.

Для підвищення продуктивності та тонини помелу шляхом самозбудження кутових коливань барабана та автоколивного руху завантаження в камері барабана, які збільшують інтенсивність подрібнюючої дії на матеріал, доцільно здійснювати керування процесом помелу. Воно полягає у вимірювання та змінювання кутової швидкості обертання барабана до досягнення амплітуди крутильних коливань пружного кутового елемента в приводі барабана максимального можливого значення [3].

Вихідна сировина за допомогою вантажного пристрою 1 подається в робочу камеру барабана 2 (рис. 2.3). Подрібнений матеріал за допомогою розвантажного пристрою 3 видаляється з камери. Завантажений барабан 2 приводиться в обертання за допомогою електродвигуна 4, передачі 5 та пружного крутильного елемента 6.

Амплітуда крутильних коливань пружного елемента 6 контролюється датчиком 7, що зв'язаний із блоком контролю 8, блоком аналогових сигналів 9, перетворювачем 10, погоджувачем 11 та комп'ютером 12. Швидкість обертання передачі 5 контролюється тахогенератором 13, що зв'язаний із подільником напружень 14. Швидкість обертання електродвигуна регулюється блоком перетворювача 15.

Керування швидкістю обертання завантаженого барабана здійснюється у такий спосіб. При роботі млина барабан приводиться в обертання зі швидкістю, величина якої вибирається у межах діапазону біфуркаційних значень. Через втрату стійкості руху самозбуджуються пульсації завантаженого барабана 2, що спричинює крутильні коливання пружного

елемента 6. Внаслідок варіації вмісту та складу молольних тіл, вмісту та властивостей подрібнюваного матеріалу, а також величини швидкості обертання, амплітуда коливань елемента 6 може змінюватись.

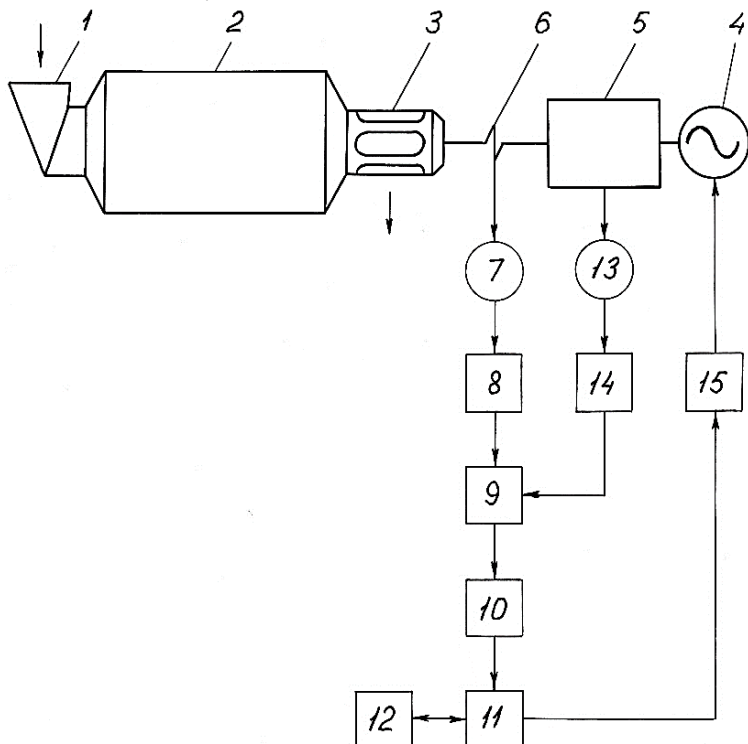


Рис. 2.3. Функціональна схема автоматичної системи керування процесом подрібнення в барабанному млині із автоколивним внутрішньокамерним завантаженням:

- 1 – пристрій для завантаження вихідної сировини,
 - 2 – барабан, 3 – пристрій для розвантаження продукту подрібнення,
 - 4 – приводний електродвигун, 5 – передача,
 - 6 – пружний кутовий елемент, 7 – датчик крутильних коливань,
 - 8 – блок контролю крутильних коливань, 9 – блок аналогових сигналів,
 - 10 – перетворювач, 11 – погоджувач керуючого сигналу,
 - 12 – комп’ютер, 13 – тахогенератор, 14 – подільник напружень,
 - 15 – блок перетворювача для регулювання швидкості обертання
- Сигнал, пропорційний амплітуді крутильних коливань

пружного елемента 6, з датчика 7 передається на блок 8, з якого через блок 9, перетворювач 10 та погоджувач 11 передається на комп'ютер 12. Одночасно сигнал, пропорційний швидкості обертання передачі 5, з тахогенератора 13 через подільник 14 надходить на блок 9, і далі, аналогічно до сигналу амплітуди коливань, також передається на комп'ютер 12. Комп'ютер, на основі отриманої інформації про амплітуду коливань елемента та швидкість обертання завантаженого барабана, визначає знак приросту амплітуди коливань та реалізує алгоритм безперервного пошуку функції якості залежності амплітуди від швидкості обертання. При цьому напрям регулювання швидкості обертання визначається знаком приросту амплітуди, а величина впливу задається пропорційним цьому приросту. Керуючий сигнал по швидкості від комп'ютера 12 через погоджувач 11 надходить до блоку 15, який регулює швидкість обертання млина.

2.2. Порядок виконання роботи 2

1. Вибрати за варіантом з табл. 2 вихідні дані роботи: радіус камери барабана R_0 , середній діаметр мольного тіла в камері барабана d , ступінь заповнення камери барабана завантаженням κ , осьовий момент інерції завантаженого барабана I , співвідношення між кутовою швидкістю обертання барабана та коловою частотою власних кутових коливань завантаженого барабана із пружним елементом M_1 та M_2 .

Таблиця 2

Варіанти вихідних даних до виконання роботи 2

Варіант	R_0	d	κ	I	M_1	M_2
	M			(кг·м ²)		
1	0,025	0,001	0,5	$5 \cdot 10^{-4}$	0,95	1,05
2	0,05	0,002	0,5	$1,1 \cdot 10^{-3}$	0,94	1,06
3	0,1	0,004	0,5	$2,4 \cdot 10^{-3}$	0,93	1,07
4	0,2	0,008	0,5	$5,4 \cdot 10^{-3}$	0,92	1,08
5	0,4	0,016	0,5	$1,2 \cdot 10^{-2}$	0,91	1,09
6	0,6	0,024	0,5	$2,6 \cdot 10^{-2}$	0,9	1,1
7	0,7	0,028	0,5	$5,9 \cdot 10^{-2}$	0,89	1,11
8	0,8	0,032	0,5	$1,3 \cdot 10^{-1}$	0,88	1,12
9	0,9	0,036	0,5	$2,9 \cdot 10^{-1}$	0,87	1,13
10	1	0,04	0,5	$6,3 \cdot 10^{-1}$	0,86	1,14
11	1,1	0,044	0,325	1,4	0,85	1,15
12	1,2	0,048	0,325	3,1	0,84	1,16
13	1,3	0,052	0,325	6,9	0,83	1,17
14	1,4	0,056	0,325	15	0,82	1,18
15	1,5	0,06	0,325	34	0,81	1,19
16	1,6	0,064	0,325	74	0,8	1,2
17	1,7	0,068	0,325	$1,6 \cdot 10^2$	0,79	1,21
18	1,8	0,072	0,325	$3,6 \cdot 10^2$	0,78	1,22
19	1,9	0,076	0,325	$8,1 \cdot 10^2$	0,77	1,23
20	2	0,08	0,325	$1,8 \cdot 10^3$	0,76	1,24
21	2,1	0,084	0,15	$3,9 \cdot 10^3$	0,75	1,25
22	2,2	0,088	0,15	$8,7 \cdot 10^3$	0,74	1,26
23	2,3	0,092	0,15	$1,9 \cdot 10^4$	0,73	1,27
24	2,4	0,096	0,15	$4,3 \cdot 10^4$	0,72	1,28
25	2,5	0,1	0,15	$9,4 \cdot 10^4$	0,71	1,29
26	2,6	0,104	0,15	$2,1 \cdot 10^5$	0,7	1,3
27	2,7	0,108	0,15	$4,6 \cdot 10^5$	0,69	1,31
28	2,8	0,112	0,15	10^6	0,68	1,32
29	2,9	0,116	0,15	$2,3 \cdot 10^6$	0,67	1,33
30	3	0,12	0,15	$5 \cdot 10^6$	0,66	1,34

2. Визначити розрахунковий радіус камери барабана R , м:

$$R = R_6 - \frac{d}{2}.$$

3. Визначити, надаючи, для спрощення, кутовій швидкості ω значення $\omega=1$ 1/с, координату допоміжної точки K^* на діаграмі $Re-Fr$ для числа Рейнольдса ($Re^*=(\omega R^2)/\nu$), Re^* :

$$Re^* = \frac{R^2}{\nu},$$

де $\nu \approx 10^{-3}$ м²/с – аналог кінематичної в'язкості зернистого завантаження.

4. Визначити, надаючи, для спрощення, кутовій швидкості ω значення $\omega=1$ 1/с, координату допоміжної точки K^* на діаграмі $Re-Fr$ для числа Фруда ($Fr^*=(\omega^2 R)/g$) Fr^* :

$$Fr^* = \frac{R}{g},$$

де $g=9,81$ м/с² – гравітаційне прискорення.

5. Визначити десяткову логарифмічну координату допоміжної точки K^* для числа Рейнольдса:

$$lg(Re^*).$$

6. Визначити десяткову логарифмічну координату допоміжної точки K^* для числа Фруда:

$$lg(Fr^*).$$

7. Побудувати на копії діаграми $Re-Fr$ (рис. 2.4) в логарифмічних осях за одержаними логарифмами координат $lg(Re^*)$ та $lg(Fr^*)$ допоміжну точку K^* .

8. Провести на діаграмі $Re-Fr$ (рис. 2.4) через одержану точку K^* допоміжну похилу пряму із кутовим коефіцієнтом 2, яка відповідає умові $R=const$, до перетину в точках K_1 та K_2 із лініями графіків ω_1 та ω_2 для відповідного значення ступеня заповнення камери k .

9. Виміряти на логарифмічних осях діаграми $Re-Fr$ (рис. 2.4) логарифмічні координати одержаної точки K_1 перетину допоміжної прямої із лінії графіку ω_1 :

$$lg(Re_1), lg(Fr_1).$$

10. Виміряти на логарифмічних осях діаграми $Re-Fr$ (рис.

2.4) логарифмічні координати одержаної точки K_2 перетину допоміжної прямої із лінією графіку ω_2 :

$$\lg(Re_2), \lg(Fr_2).$$

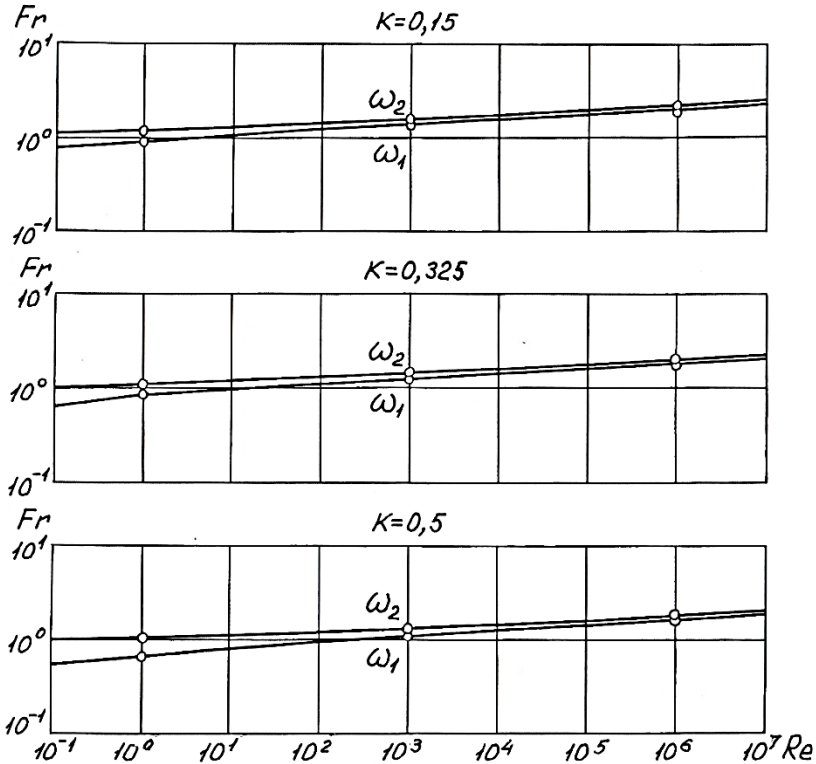


Рис. 2.4. Діаграма Re - Fr біфуркаційних швидкостей обертання
завантаженого зернистим заповненням барабана

11. Визначити, за одержаними логарифмічними координатами точки K_1 перетину допоміжної прямої із лінією графіку ω_1 , її координати Re_1 та Fr_1 :

$$Re_1 = 10^{\lg(Re_1)}, Fr_1 = 10^{\lg(Fr_1)}.$$

12. Визначити, за одержаними логарифмічними координатами точки K_2 перетину допоміжної прямої із лінією графіку ω_2 , її координати Re_2 та Fr_2 :

$$Re_2 = 10^{lg(Re_2)}, Fr_2 = 10^{lg(Fr_2)}.$$

13. Визначити значення кутової швидкості обертання форми при прямому переході режимів течії, що встановлено за допомогою графічного методу, $\omega_{1г}$, 1/с:

$$\omega_{1г} = \frac{\frac{Re_1 v}{R^2} + \sqrt{\frac{Fr_1 g}{R}}}{2}.$$

14. Визначити значення кутової швидкості обертання форми при зворотному переході режимів течії, що встановлено за допомогою графічного методу, $\omega_{2г}$, 1/с:

$$\omega_{2г} = \frac{\frac{Re_2 v}{R^2} + \sqrt{\frac{Fr_2 g}{R}}}{2}.$$

15. Визначити змінну величину G :

$$G = lg(R^2) - \frac{1}{2} lg\left(\frac{R}{g}\right).$$

16. Визначити змінну величину F_1 :

$$F_1 = -0,4186\kappa^2 - 0,01727\kappa + 0,1605,$$

17. Визначити змінну величину E_1 :

$$E_1 = 0,1793\kappa^2 - 0,09029\kappa + 0,06483,$$

18. Визначити змінну величину D_1 :

$$D_1 = -0,0273\kappa^2 + 0,01176\kappa - 0,001889,$$

19. Визначити змінну величину C_1 :

$$C_1 = D_1 G^2 + E_1 G + F_1.$$

20. Визначити змінну величину B_1 :

$$B_1 = D_1 G + \frac{E_1}{2} - 1.$$

21. Визначити змінну величину A_1 :

$$A_1 = \frac{D_1}{4}.$$

22. Визначити змінну величину $lg(Fr_1)$:

$$lg(Fr_1) = \frac{B_1 + \sqrt{B_1^2 - 4A_1 C_1}}{-2A_1}.$$

23. Визначити значення кутової швидкості при прямому переході режимів течії, що встановлено за допомогою аналітичного методу, ω_{1a} , 1/с:

$$\omega_{1a} = \sqrt{\frac{10^{lg(Fr_1)} g}{R}}.$$

24. Визначити відносну кутову швидкість при прямому переході режимів течії $\psi_{\omega_{1a}}$:

$$\psi_{\omega_{1a}} = \frac{\omega_{1a}}{\omega_{кр}} = \omega_{1a} \sqrt{\frac{R}{g}}.$$

25. Визначити змінну величину F_2 :

$$F_2 = 0,05714\kappa^2 - 0,2386\kappa + 0,23,$$

26. Визначити змінну величину E_2 :

$$E_2 = 0,008163\kappa^2 - 0,02245\kappa + 0,04668,$$

27. Визначити змінну величину D_2 :

$$D_2 = 0,001078\kappa^2 - 0,0008604\kappa + 0,001772,$$

28. Визначити змінну величину C_2 :

$$C_2 = D_2 G^2 + E_2 G + F_2.$$

29. Визначити змінну величину B_2 :

$$B_2 = D_2 G + \frac{E_2}{2} - 1.$$

30. Визначити змінну величину A_2 :

$$A_2 = \frac{D_2}{4}.$$

31. Визначити змінну величину $lg(Fr_2)$:

$$lg(Fr_2) = \frac{B_2 + \sqrt{B_2^2 - 4A_2 C_2}}{-2A_2}.$$

32. Визначити значення кутової швидкості при зворотному переході режимів течії, що встановлено за допомогою аналітичного методу, ω_{2a} , 1/с:

$$\omega_{2a} = \sqrt{\frac{10^{lg(Fr_2)} g}{R}}.$$

33. Визначити відносну кутову швидкість при зворотному переході режимів течії $\psi_{\omega_{2a}}$:

$$\psi_{\omega_{2a}} = \frac{\omega_{2a}}{\omega_{кр}} = \omega_{2a} \sqrt{\frac{R}{g}}$$

34. Визначити розбіжність значень кутової швидкості ω_1 , що отримано за допомогою графічного та аналітичного методів ε_1 , %:

$$\varepsilon_1 = \frac{|\omega_{1г} - \omega_{1a}|}{\omega_{1a}} 100.$$

35. Визначити розбіжність значень кутової швидкості ω_2 , що отримано за допомогою графічного та аналітичного методів, ε_2 , %:

$$\varepsilon_2 = \frac{|\omega_{2г} - \omega_{2a}|}{\omega_{2a}} 100.$$

36. Визначити кутову жорсткість пружного елемента c_1 , Нм/рад.:

$$c_1 = \frac{I\omega_{1a}^2}{M_1^2}.$$

37. Визначити кутову жорсткість пружного елемента c_2 , Нм/рад.:

$$c_2 = \frac{I\omega_{2a}^2}{M_2^2}.$$

38. Визначити середнє значення кутової жорсткості пружного елемента c , Нм/рад.:

$$c = \frac{I \left(\frac{\omega_{1a} + \omega_{2a}}{2} \right)^2}{\left(\frac{M_1 + M_2}{2} \right)^2}$$

2.3. Приклад виконання роботи 2

Розрахункова робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ В БАРАБАННОМУ МЛИНІ ІЗ АВТОКОЛИВНИМ ЗАВАНТАЖЕННЯМ ТА ПРУЖНИМ ЕЛЕМЕНТОМ У ПРИВОДІ

Мета роботи:

1. Визначити значення швидкості обертання барабана млина при самозбудженні автоколивань внутрішньокамерного завантаження із максимальним розмахом за допомогою графічного методу.

2. Визначити значення швидкості обертання барабана млина при самозбудженні автоколивань внутрішньокамерного завантаження із максимальним розмахом за допомогою аналітичного методу.

3. Оцінити розбіжність результатів, що отримано за допомогою графічного та аналітичного методів.

4. Визначити значення кутової жорсткості пружного елемента в приводі обертання барабана.

1. Вихідні дані роботи: радіус камери барабана $R_0=0,65$ м, середній діаметр молольного тіла в камері барабана $d=0,026$ м, ступінь заповнення камери барабана завантаженням $\kappa=0,325$, осьовий момент інерції завантаженого барабана $I=4,2 \cdot 10^{-2}$ кг·м², співвідношення між кутовою швидкістю обертання барабана та коловою частотою власних кутових коливань завантаженого барабана із пружним елементом $M_1=0,89$ та $M_2=1,11$.

2. Розрахунковий радіус камери барабана:

$$R = R_0 - \frac{d}{2} = 0,65 - \frac{0,026}{2} = 0,637 \text{ м.}$$

3. Координата допоміжної точки K^* на діаграмі $Re-Fr$ для числа Рейнольдса:

$$Re^* = \frac{R^2}{\nu} = \frac{0,637^2}{10^{-3}} = 406,$$

де $v \approx 10^{-3} \text{ м/с}$ – аналог кінематичної в'язкості зернистого завантаження.

4. Координата допоміжної точки K^* на діаграмі $Re-Fr$ для числа Фруда:

$$Fr^* = \frac{R}{g} = \frac{0,637}{9,81} = 0,0649,$$

де $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – гравітаційне прискорення.

5. Десяткова логарифмічна координата допоміжної точки K^* для числа Рейнольдса:

$$lg(Re^*) = lg(406) = 2,61.$$

6. Десяткова логарифмічна координата допоміжної точки K^* для числа Фруда:

$$lg(Fr^*) = lg(0,0649) = -1,19.$$

9. Виміряні на логарифмічних осях діаграми $Re-Fr$ логарифмічні координати одержаної точки K_1 перетину допоміжної прямої із лінії графіку ω_1 :

$$\begin{aligned}lg(Re_1) &= 3,25, \\lg(Fr_1) &= 0,106.\end{aligned}$$

10. Виміряні на логарифмічних осях діаграми $Re-Fr$ логарифмічні координати одержаної точки K_2 перетину допоміжної прямої із лінії графіку ω_2 :

$$\begin{aligned}lg(Re_2) &= 3,3, \\lg(Fr_2) &= 0,17.\end{aligned}$$

11. Координати точки K_1 перетину допоміжної прямої із лінією графіку ω_1 :

$$\begin{aligned}Re_1 &= 10^{lg(Re_1)} = 10^{3,25} = 1780, \\Fr_1 &= 10^{lg(Fr_1)} = 10^{0,106} = 1,28.\end{aligned}$$

12. Координати точки K_2 перетину допоміжної прямої із лінією графіку ω_2 :

$$\begin{aligned}Re_2 &= 10^{lg(Re_2)} = 10^{3,3} = 2000, \\Fr_2 &= 10^{lg(Fr_2)} = 10^{0,17} = 1,48.\end{aligned}$$

13. Кутова швидкість обертання форми при прямому переході режимів течії, що визначено графічним методом:

$$\omega_{1r} = \frac{\frac{Re_1 v}{R^2} + \sqrt{\frac{Fr_1 g}{R}}}{2} = \frac{\frac{1780 \cdot 10^{-3}}{0,637^2} + \sqrt{\frac{1,28 \cdot 9,81}{0,637}}}{2} = 4,41 \text{ 1/с.}$$

14. Кутова швидкість обертання форми при зворотному переході режимів течії, що визначено графічним методом:

$$\omega_{2r} = \frac{\frac{Re_2 v}{R^2} + \sqrt{\frac{Fr_2 g}{R}}}{2} = \frac{\frac{2000 \cdot 10^{-3}}{0,637^2} + \sqrt{\frac{1,48 \cdot 9,81}{0,637}}}{2} = 4,85 \text{ 1/с.}$$

15. Змінна величина:

$$G = \lg(R^2) - \frac{1}{2} \lg\left(\frac{R}{g}\right) = \lg(0,637^2) - \frac{1}{2} \lg\left(\frac{0,637}{9,81}\right) = 0,202.$$

16. Змінна величина:

$$F_1 = -0,4186\kappa^2 - 0,01727\kappa + 0,1605 = -0,4186 \cdot 0,325^2 - 0,01727 \cdot 0,325 + 0,1605 = 0,111,$$

17. Змінна величина:

$$E_1 = 0,1793\kappa^2 - 0,09029\kappa + 0,06483 = 0,1793 \cdot 0,325^2 - 0,09029 \cdot 0,325 + 0,06483 = 0,0544,$$

18. Змінна величина:

$$D_1 = -0,0273\kappa^2 + 0,01176\kappa - 0,001889 = -0,0273 \cdot 0,325^2 + 0,01176 \cdot 0,325 - 0,001889 = -0,000951,$$

19. Змінна величина:

$$C_1 = D_1 G^2 + E_1 G + F_1 = (-0,000951) \cdot 0,202^2 + 0,0544 \cdot 0,202 + 0,111 = 0,122.$$

20. Змінна величина:

$$B_1 = D_1 G + \frac{E_1}{2} - 1 = (-0,000951) \cdot 0,202 + \frac{0,0544}{2} - 1 = -0,973.$$

21. Змінна величина:

$$A_1 = \frac{D_1}{4} = \frac{-0,000951}{4} = -0,000238.$$

22. Змінна величина:

$$\begin{aligned} \lg(Fr_1) &= \frac{B_1 + \sqrt{B_1^2 - 4A_1C_1}}{-2A_1} = \\ &= \frac{(-0,973) + \sqrt{(-0,973)^2 - 4 \cdot (-0,000238) \cdot 0,122}}{-2 \cdot (-0,000238)} = \\ &= 0,125. \end{aligned}$$

23. Кутова швидкість при прямому переході режимів течії, що визначено аналітичним методом:

$$\omega_{1a} = \sqrt{\frac{10^{\lg(Fr_1)} g}{R}} = \sqrt{\frac{10^{0,125} \cdot 9,81}{0,637}} = 4,53 \text{ 1/с.}$$

24. Відносна кутова швидкість при прямому переході режимів течії:

$$\psi_{\omega_{1a}} = \frac{\omega_{1a}}{\omega_{кр}} = \omega_{1a} \sqrt{\frac{R}{g}} = 4,53 \cdot \sqrt{\frac{0,637}{9,81}} = 1,15.$$

25. Змінна величина:

$$\begin{aligned} F_2 &= 0,05714\kappa^2 - 0,2386\kappa + 0,23 = \\ &= 0,05714 \cdot 0,325^2 - 0,2386 \cdot 0,325 + 0,23 = 0,158, \end{aligned}$$

26. Змінна величина:

$$\begin{aligned} E_2 &= 0,008163\kappa^2 - 0,02245\kappa + 0,04668 = \\ &= 0,008163 \cdot 0,325^2 - 0,02245 \cdot 0,325 + 0,04668 = \\ &= 0,0402, \end{aligned}$$

27. Змінна величина:

$$\begin{aligned} D_2 &= 0,001078\kappa^2 - 0,0008604\kappa + 0,001772 = \\ &= 0,001078 \cdot 0,325^2 - 0,0008604 \cdot 0,325 + 0,001772 = \\ &= 0,000161, \end{aligned}$$

28. Змінна величина:

$$\begin{aligned} C_2 &= D_2 G^2 + E_2 G + F_2 = \\ &= 0,000161 \cdot 0,202^2 + 0,0402 \cdot 0,202 + 0,158 = 0,166. \end{aligned}$$

29. Змінна величина:

$$B_2 = D_2 G + \frac{E_2}{2} - 1 = 0,000161 \cdot 0,202 + \frac{0,0402}{2} - 1 = -0,98.$$

30. Змінна величина:

$$A_2 = \frac{D_2}{4} = \frac{0,000161}{4} = 0,000403.$$

31. Змінна величина:

$$\begin{aligned} \lg(Fr_2) &= \frac{B_2 + \sqrt{B_2^2 - 4A_2C_2}}{-2A_2} = \\ &= \frac{(-0,98) + \sqrt{(-0,98)^2 - 4 \cdot 0,000403 \cdot 0,166}}{-2 \cdot 0,000403} = 0,169. \end{aligned}$$

32. Кутова швидкість при зворотному переході режимів течії, що визначено аналітичним методом:

$$\omega_{2a} = \sqrt{\frac{10^{\lg(Fr_2)} g}{R}} = \sqrt{\frac{10^{0,169} \cdot 9,81}{0,637}} = 4,77 \text{ 1/с.}$$

33. Відносна кутова швидкість при зворотному переході режимів течії:

$$\psi_{\omega_{2a}} = \frac{\omega_{2a}}{\omega_{кр}} = \omega_{2a} \sqrt{\frac{R}{g}} = 4,77 \cdot \sqrt{\frac{0,637}{9,81}} = 1,22.$$

34. Розбіжність значень кутової швидкості ω_1 , що визначено графічним та аналітичним методами:

$$\varepsilon_1 = \frac{|\omega_{1г} - \omega_{1a}|}{\omega_{1a}} 100 = \frac{|4,41 - 4,53|}{4,53} \cdot 100 = 2,65 \text{ \%}.$$

35. Розбіжність значень кутової швидкості ω_2 , що визначено графічним та аналітичним методами:

$$\varepsilon_2 = \frac{|\omega_{2г} - \omega_{2a}|}{\omega_{2a}} 100 = \frac{|4,85 - 4,77|}{4,77} \cdot 100 = 1,68 \text{ \%}.$$

36. Кутова жорсткість пружного елемента c_1 :

$$c_1 = \frac{I \omega_{1a}^2}{M_1^2} = \frac{4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 4,53^2}{0,89^2} = 1,09 \text{ Нм/рад.}$$

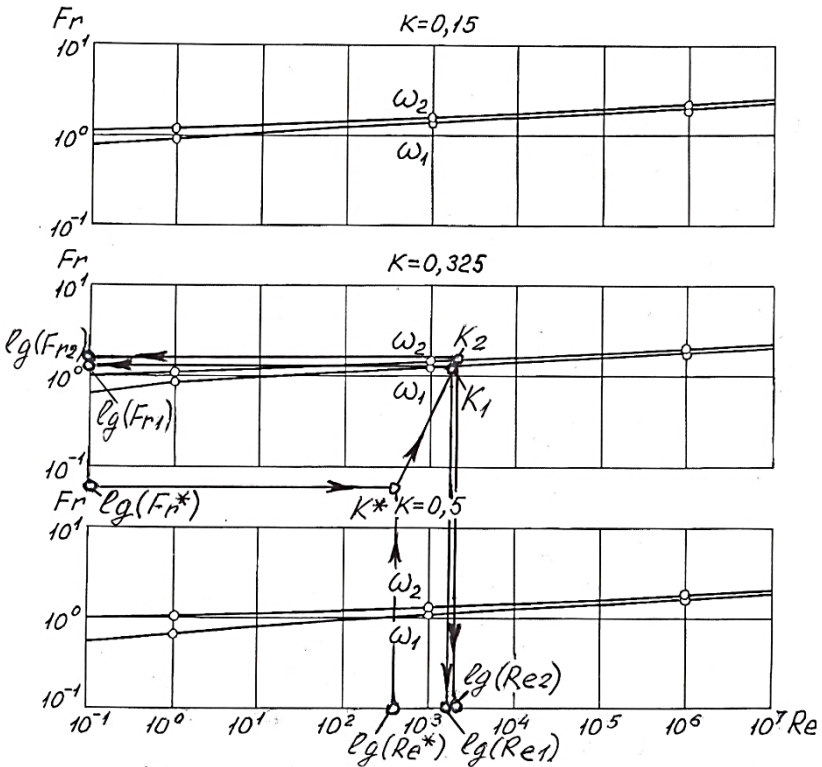
37. Кутова жорсткість пружного елемента c_2 :

$$c_2 = \frac{I\omega_{2a}^2}{M_2^2} = \frac{4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 4,77^2}{1,11^2} = 0,776 \text{ Нм/рад.}$$

38. Середнє значення кутової жорсткості пружного елемента:

$$c = \frac{I \left(\frac{\omega_{1a} + \omega_{2a}}{2} \right)^2}{\left(\frac{M_1 + M_2}{2} \right)^2} =$$

$$= \frac{4,2 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{4,53 + 4,77}{2} \right)^2}{\left(\frac{0,89 + 1,11}{2} \right)^2} = 0,908 \text{ Нм/рад.}$$



Розрахункові геометричні побудови на діаграмі $Re-Fr$

Розрахункова робота 3

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ЗОВНІШНЬОКАМЕРНОГО БАГАТОСТАДІЙНОГО ПОДРІБНЕННЯ В ПОМОЛЬНОМУ АГРЕГАТІ ІЗ БАРАБАННИМИ МЛИНАМИ

Мета роботи:

Визначити значення розмірів робочих камер, розмірів і мас молільних тіл та швидкостей обертання для барабанних млинів помольного агрегату зовнішньокамерного багатостадійного подрібнення.

3.1. Вихідні дані

Робочий процес зовнішньокамерного багатостадійного подрібнення в помельному агрегаті із барабанними млинами включає перший етап грубого подрібнення при переважно ударній дії молільного завантаження на подрібнюваний матеріал, можливі проміжні етапи середнього подрібнення та останній етап тонкого подрібнення при переважно стираючій та роздавлюючій дії завантаження на матеріал.

Перший етап подрібнення виконується при досягненні максимального значення питомої кінетичної енергії поступального руху частини завантаження, що здійснює невільне падіння, а останній етап подрібнення виконується при досягненні максимальних значень питомих кінетичних енергій хаотичного у поперечному напрямі та поступального у поздовжньому напрямі руху зсувного шару завантаження.

Зазначене підвищує продуктивність та тонину помелу, шляхом здійснення грубого подрібнення крупних частинок переважно ударною дією при створенні великих імпульсів, які сприяють виникненню у матеріалі граничного пружного деформування, а також здійснення тонкого подрібнення малих частинок переважно стиранням та роздавлюванням при створенні малих імпульсів, які сприяють виникненню пластичного деформування.

Перший етап подрібнення виконується при досягненні

відносної швидкості обертання барабана млина грубого подрібнення значення $\psi_{\omega T}=0,85-1,05$, ступеня заповнення камери барабана завантаженням значення $\kappa_T=0,4-0,45$ та співвідношення між середнім розміром молольних тіл d_T та діаметром камери барабана D_T цього млина значення $d_T/D_T=0,015-0,04$, а останній етап подрібнення виконується при досягненні відносної швидкості обертання барабана млина тонкого подрібнення значення $\psi_{\omega T}=0,25-0,45$, ступеня заповнення камери барабана завантаженням значення $\kappa_T=0,25-0,3$ та співвідношення між середнім розміром молольних тіл d_T та діаметром камери D_T цього млина значення $d_T/D_T=0,002-0,01$.

Зазначене забезпечує досягнення максимального значення питомої кінетичної енергії поступального руху частини завантаження, що здійснює невідільне падіння, на першому етапі подрібнення, а також досягнення максимального значення питомих кінетичних енергій хаотичного у поперечному напрямі та поступального у поздовжньому напрямі руху зсувного шару завантаження на останньому етапі подрібнення.

Перший етап грубого подрібнення виконується в барабанному млині, діаметр камери D_T якого у $D_T/D_T=1,2-1,8$ разів перевищує діаметр камери D_T барабанного млина, в якому виконується останній етап тонкого подрібнення.

Зазначене збільшує величини ударних імпульсів молольних тіл частини завантаження, що здійснює невідільне падіння, завдяки підвищенню висоти падіння.

Перший етап грубого подрібнення виконується в барабанному млині, співвідношення між довжиною L_T та діаметром D_T камери якого становить $L_T/D_T=1-1,8$, а останній етап тонкого подрібнення виконується в барабанному млині, співвідношення між довжиною L_T та діаметром D_T камери якого становить $L_T/D_T=4,5-6,5$.

Зазначене підвищує продуктивність короткого млина першого етапу грубого подрібнення, що зокрема зумовлено збільшеним поперечним розміром камери, а також підвищує тонину помелу у довгому млині останнього етапу тонкого подрібнення.

На першому етапі грубого подрібнення як молотьні тіла завантаження камери використовуються кулі, а на останньому етапі тонкого подрібнення як молотьні тіла завантаження камери використовується циліпебс або мініпебс.

Зазначене збільшує величини імпульсів ударної дії частини завантаження, що здійснює невільне падіння, у млині першого етапу, та збільшує площі поверхні стираючої дії зсувного шару завантаження у млині останнього етапу.

Після подрібнення матеріалу в одному млині першого етапу грубого подрібнення, за умови відсутності млинів проміжної стадії середнього подрібнення, він подрібнюється у 2-3 млинах останнього етапу тонкого подрібнення, що працюють за паралельною схемою.

Зазначене забезпечує безперервний режим роботи помольного агрегату, зокрема при можливому перевищенні продуктивності млина першого етапу над продуктивністю млина останнього етапу подрібнення.

Після подрібнення матеріалу в одному млині першого етапу грубого подрібнення, за умови наявності млинів проміжної стадії подрібнення, він подрібнюється у 1-2 млинах проміжного етапу середнього подрібнення, що працюють за паралельною схемою.

Зазначене забезпечує безперервний режим роботи помольного агрегату, зокрема при можливому перевищенні продуктивності млина першого етапу над продуктивністю млина проміжного етапу подрібнення.

Параметри млинів можливих проміжних етапів середнього подрібнення мають проміжні значення в межах значень параметрів млинів першого та останнього етапу грубого та тонкого подрібнення, наприклад мають значення, які разом зі значеннями параметрів млинів першого та останнього етапу подрібнення утворюють послідовність чисел, що складає геометричну прогресію.

Зазначене забезпечує сприятливі умови поступового переходу процесу подрібнення в млинах проміжних етапів від грубого до тонкого помелу шляхом пропорційної зміни значень

параметрів цих млинів у напрямку від млина першого етапу до млина останнього етапу.

Загалом процес забезпечує підвищення продуктивності та тонини помелу за рахунок досягнення на різних етапах помелу максимальної ударної, стираючої та роздавлюючої дії молоткових тіл на частинки подрібнюваного матеріалу, що підвищує вибірковість підведення енергії в робочу зону з метою мінімізації енерговитрат руйнування.

Процес багатостадійного подрібнення зернистого матеріалу в барабанних млинах виконується в помельному агрегаті (рис. 3.1) що містить перший етап грубого подрібнення при переважно ударній дії тіл молоткового завантаження на частинки подрібнюваного матеріалу, можливі проміжні етапи середнього подрібнення та останній етап тонкого подрібнення при переважно стираючій та роздавлюючій дії тіл молоткового завантаження на частинки подрібнюваного матеріалу [4].

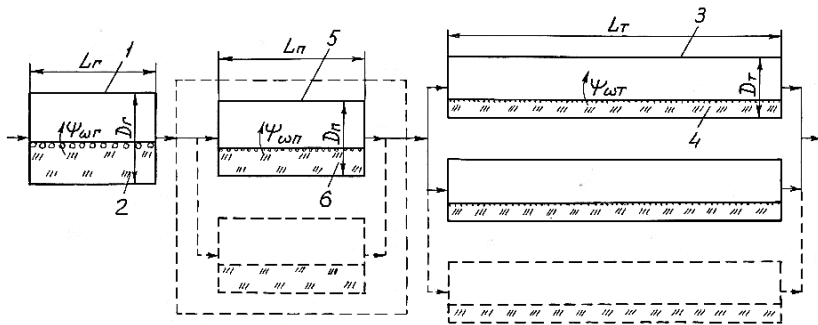


Рис. 3.1. Схема помельного агрегату для зовнішньокамерного багатостадійного подрібнення в барабанних млинах:

- 1 – млин першої стадії грубого подрібнення,
- 2 – завантаження млина першої стадії грубого подрібнення,
- 3 – млин останньої стадії тонкого подрібнення,
- 4 – завантаження млина останньої стадії тонкого подрібнення,
- 5 – млин проміжної стадії середнього подрібнення,
- 6 – завантаження млина проміжної стадії середнього подрібнення

Вихідна сировина подається у камеру 1 млина першої стадії подрібнення, де за допомогою завантаження 2 виконується грубий помел при досягненні максимального значення питомої кінетичної енергії поступального руху частини завантаження, що здійснює невільне падіння. За відсутності проміжної стадії, продукт грубого подрібнення із камери 1 подається у камери 3 млинів останньої стадії подрібнення, де за допомогою завантаження 4 виконується тонкий помел при досягненні максимальних значень питомих кінетичних енергій хаотичного у поперечному напрямі та поступального у поздовжньому напрямі руху шару завантаження. При наявності проміжної стадії, продукт грубого подрібнення із камери 1 подається у камери 5 млинів проміжної стадії, де за допомогою завантаження 6 виконується середній помел при досягненні проміжних значень питомих кінетичних енергій руху частини завантаження, що здійснює невільне падіння, та зсувного шару. Надалі продукт проміжного подрібнення із камер 5 подається у камери 3 млинів останньої стадії подрібнення.

3.2. Порядок виконання роботи 3

1. Вибрати за варіантом з табл. 3 вихідні дані роботи: діаметр камери млина першої стадії грубого подрібнення D_1 .

Таблиця 3

Варіанти вихідних даних до виконання роботи 3

Варіант	<i>D_г</i>
	м
1	1,5
2	1,7
3	1,9
4	2,1
5	2,3
6	2,5
7	2,7
8	2,9
9	3,1
10	3,3
11	3,5
12	3,7
1	2
13	3,9
14	4,2
15	4,5
16	4,8
17	5,1
18	5,4
19	5,7
20	6
21	6,3
22	6,6
23	6,9
24	7,2
25	7,5
26	7,8
27	8,1
28	8,4
29	8,7
30	9

2. Визначити діаметр камери млина останньої стадії тонкого подрібнення D_T , м:

$$D_T = \frac{D_G}{(D_G/D_T)},$$

де $(D_G/D_T)=1,2-1,8$ – співвідношення між діаметрами D_G та D_T камер грубого та тонкого подрібнення.

3. Визначити співвідношення між діаметрами D_G та D_{II} камер млинів грубого та проміжного подрібнення (D_G/D_{II}) :

$$(D_G/D_{II}) = \sqrt{(D_G/D_T)}.$$

4. Визначити діаметр камери млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення D_{II} , м:

$$D_{II} = \frac{D_G}{(D_G/D_{II})}.$$

5. Визначити швидкість обертання млина першої стадії грубого подрібнення ω_G , 1/с:

$$\omega_G = \psi_{\omega G} \sqrt{\frac{2g}{D_G}},$$

де $\psi_{\omega G}=0,85-1,05$ – відносна швидкість обертання млина першої стадії грубого подрібнення, $g=9,81$ м/с² – гравітаційне прискорення.

6. Визначити швидкість обертання млина останньої стадії тонкого подрібнення ω_T , 1/с:

$$\omega_T = \psi_{\omega T} \sqrt{\frac{2g}{D_T}},$$

де $\psi_{\omega T}=0,25-0,45$ – відносна швидкість обертання млина останньої стадії тонкого подрібнення.

7. Визначити відносну швидкість обертання млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення $\psi_{\omega II}$:

$$\psi_{\omega II} = \psi_{\omega G} \sqrt{\frac{\psi_{\omega T}}{\psi_{\omega G}}}.$$

8. Визначити швидкість обертання млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення ω_{II} , 1/с:

$$\omega_{\Pi} = \psi_{\omega\Pi} \sqrt{\frac{2g}{D_{\Pi}}}.$$

9. Визначити довжину камери млина першої стадії грубого подрібнення L_{Γ} , м:

$$L_{\Gamma} = D_{\Gamma}(L_{\Gamma}/D_{\Gamma}),$$

де $(L_{\Gamma}/D_{\Gamma})=1-1,8$ – співвідношення між довжиною L_{Γ} та діаметром D_{Γ} камери.

10. Визначити довжину камери млина останньої стадії тонкого подрібнення L_{Γ} , м:

$$L_{\Gamma} = D_{\Gamma}(L_{\Gamma}/D_{\Gamma}),$$

де $(L_{\Gamma}/D_{\Gamma})=4,5-6,5$ – співвідношення між довжиною L_{Γ} та діаметром D_{Γ} камери.

11. Визначити співвідношення між довжиною L_{Π} та діаметром D_{Π} камери можливої проміжної стадії середнього подрібнення (L_{Π}/D_{Π}) :

$$(L_{\Pi}/D_{\Pi}) = (L_{\Gamma}/D_{\Gamma}) \sqrt{\frac{(L_{\Gamma}/D_{\Gamma})}{(L_{\Gamma}/D_{\Gamma})}}.$$

12. Визначити довжину камери млина можливої проміжної стадії проміжного подрібнення L_{Π} , м:

$$L_{\Pi} = D_{\Pi}(L_{\Pi}/D_{\Pi}).$$

13. Визначити середній розмір молольних тіл камери млина першої стадії грубого подрібнення d_{Γ} , м:

$$d_{\Gamma} = D_{\Gamma}(d_{\Gamma}/D_{\Gamma}),$$

де $(d_{\Gamma}/D_{\Gamma})=0,015-0,04$ – співвідношення між середнім розміром молольних тіл d_{Γ} та діаметром камери D_{Γ} .

14. Визначити середній розмір молольних тіл камери млина останньої стадії тонкого подрібнення d_{Γ} , м:

$$d_{\Gamma} = D_{\Gamma}(d_{\Gamma}/D_{\Gamma}),$$

де $(d_{\Gamma}/D_{\Gamma})=0,002-0,01$ – співвідношення між середнім розміром молольних тіл d_{Γ} та діаметром камери D_{Γ} .

15. Визначити співвідношення між середнім розміром молольних тіл d_{Π} та діаметром D_{Π} камери млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення (d_{Π}/D_{Π}) :

$$(d_{\Pi}/D_{\Pi}) = (d_{\Gamma}/D_{\Gamma}) \sqrt{\frac{(d_{\Gamma}/D_{\Gamma})}{(d_{\Gamma}/D_{\Gamma})}}$$

16. Визначити середній розмір молольних тіл камери млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення d_{Π} , м:

$$d_{\Pi} = D_{\Pi}(d_{\Pi}/D_{\Pi}).$$

17. Визначити масу молольних тіл камери млина першої стадії грубого подрібнення m_{Γ} , т:

$$m_{\Gamma} = \frac{\pi D_{\Gamma}^2}{4} L_{\Gamma} \kappa_{\Gamma} K_{\Gamma} \rho,$$

де $\kappa_{\Gamma}=0,4-0,45$ – ступінь заповнення завантаженням камери млина першої стадії грубого подрібнення; $K_{\Gamma}=0,6$ – коефіцієнт розпушування для кульових молольних тіл 2 камери 1 млина першої стадії грубого подрібнення (рис. 3.1); $\rho=7,85$ т/м³ – густина сталі, як матеріалу молльних тіл.

18. Визначити масу молольних тіл камери млина останньої стадії тонкого подрібнення m_{Γ} , т:

$$m_{\Gamma} = \frac{\pi D_{\Gamma}^2}{4} L_{\Gamma} \kappa_{\Gamma} K_{\Gamma} \rho,$$

де $\kappa_{\Gamma}=0,25-0,3$ – ступінь заповнення завантаженням камери млина останньої стадії тонкого подрібнення; $K_{\Gamma}=0,65$ – коефіцієнт розпушування для молольних тіл у вигляді мініпелса 4 камер 3 млинів останньої стадії тонкого подрібнення (рис. 3.1).

19. Визначити ступінь заповнення завантаженням камери млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення κ_{Π} :

$$\kappa_{\Pi} = \kappa_{\Gamma} \sqrt{\frac{\kappa_{\Gamma}}{\kappa_{\Gamma}}}$$

20. Визначити масу молольних тіл камери млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення m_{Π} , т:

$$m_{\Pi} = \frac{\pi D_{\Pi}^2}{4} L_{\Pi} \kappa_{\Pi} K_{\Pi} \rho,$$

де $K_{\Pi}=0,65$ – коефіцієнт розпушування для молольних тіл у вигляді цильпелса 6 камер 5 млинів можливої проміжної стадії середнього подрібнення (рис. 3.1).

3.3. Приклад виконання роботи 3

Розрахункова робота 3

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ЗОВНІШНЬОКАМЕРНОГО БАГАТОСТАДІЙНОГО ПОДРІБНЕННЯ В ПОМОЛЬНОМУ АГРЕГАТІ ІЗ БАРАБАННИМИ МЛИНАМИ

Мета роботи:

Визначити значення розмірів робочих камер, розмірів і мас молотьних тіл та швидкостей обертання для барабанних млинів помольного агрегату зовнішньокамерного багатостадійного подрібнення.

1. Вихідні дані роботи: діаметр камери млина першої стадії грубого подрібнення $D_{Г}=3$ м.

2. Діаметр камери млина останньої стадії тонкого подрібнення:

$$D_{Т} = \frac{D_{Г}}{(D_{Г}/D_{Т})} = \frac{3}{1,5} = 2 \text{ м,}$$

де $(D_{Г}/D_{Т})=1,5$ – прийняте значення співвідношення між діаметрами $D_{Г}$ та $D_{Т}$ камер грубого та тонкого подрібнення.

3. Співвідношення між діаметрами $D_{Г}$ та $D_{П}$ камер млинів грубого та проміжного подрібнення:

$$(D_{Г}/D_{П}) = \sqrt{(D_{Г}/D_{Т})} = \sqrt{1,5} = 1,22.$$

4. Діаметр камери млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення:

$$D_{П} = \frac{D_{Г}}{(D_{Г}/D_{П})} = \frac{3}{1,22} = 2,46 \text{ м.}$$

5. Швидкість обертання млина першої стадії грубого подрібнення:

$$\omega_{Г} = \psi_{\omega_{Г}} \sqrt{\frac{2g}{D_{Г}}} = 0,95 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{3}} = 2,43 \text{ 1/с,}$$

де $\psi_{\omega_{Г}}=0,95$ – прийняте значення відносної швидкості обертання

млина першої стадії грубого подрібнення, $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – гравітаційне прискорення.

6. Швидкість обертання млина останньої стадії тонкого подрібнення:

$$\omega_T = \psi_{\omega T} \sqrt{\frac{2g}{D_T}} = 0,35 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{2,46}} = 1,63 \text{ 1/с},$$

де $\psi_{\omega T}=0,35$ – прийняте значення відносної швидкості обертання млина останньої стадії тонкого подрібнення.

7. Відносна швидкість обертання млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення:

$$\psi_{\omega \Pi} = \psi_{\omega T} \sqrt{\frac{\psi_{\omega T}}{\psi_{\omega T}}} = 0,95 \cdot \sqrt{\frac{0,35}{0,95}} = 0,577.$$

8. Швидкість обертання млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення:

$$\omega_{\Pi} = \psi_{\omega \Pi} \sqrt{\frac{2g}{D_{\Pi}}} = 0,577 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{2}} = 1,63 \text{ 1/с}.$$

9. Довжина камери млина першої стадії грубого подрібнення:

$$L_T = D_T(L_T/D_T) = 3 \cdot 1,4 = 4,2 \text{ м},$$

де $(L_T/D_T)=1,4$ – прийняте значення співвідношення між довжиною L_T та діаметром D_T камери.

10. Довжина камери млина останньої стадії тонкого подрібнення:

$$L_T = D_T(L_T/D_T) = 2 \cdot 5,5 = 11 \text{ м},$$

де $(L_T/D_T)=5,5$ – прийняте значення співвідношення між довжиною L_T та діаметром D_T камери.

11. Співвідношення між довжиною L_{Π} та діаметром D_{Π} камери можливої проміжної стадії середнього подрібнення:

$$(L_{\Pi}/D_{\Pi}) = (L_T/D_T) \sqrt{\frac{(L_T/D_T)}{(L_T/D_T)}} = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{5,5}{1,4}} = 2,77.$$

12. Довжина камери млина можливої проміжної стадії

проміжного подрібнення:

$$L_{\Pi} = D_{\Pi}(L_{\Pi}/D_{\Pi}) = 2,46 \cdot 2,77 = 6,81 \text{ м.}$$

13. Визначити середній розмір молольних тіл камери млина першої стадії грубого подрібнення:

$$d_{\Gamma} = D_{\Gamma}(d_{\Gamma}/D_{\Gamma}) = 3 \cdot 0,0275 = 0,0825 \text{ м,}$$

де $(d_{\Gamma}/D_{\Gamma})=0,0275$ – прийняте значення співвідношення між середнім розміром молольних тіл d_{Γ} та діаметром камери D_{Γ} .

14. Середній розмір молольних тіл камери млина останньої стадії тонкого подрібнення:

$$d_{\Gamma} = D_{\Gamma}(d_{\Gamma}/D_{\Gamma}) = 2 \cdot 0,006 = 0,012 \text{ м,}$$

де $(d_{\Gamma}/D_{\Gamma})=0,006$ – прийняте значення співвідношення між середнім розміром молольних тіл d_{Γ} та діаметром камери D_{Γ} .

15. Співвідношення між середнім розміром молольних тіл d_{Π} та діаметром D_{Π} камери млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення:

$$\begin{aligned} (d_{\Pi}/D_{\Pi}) &= (d_{\Gamma}/D_{\Gamma}) \sqrt{\frac{(d_{\Gamma}/D_{\Gamma})}{(d_{\Gamma}/D_{\Gamma})}} = 0,0275 \cdot \sqrt{\frac{0,006}{0,0275}} = \\ &= 0,0128. \end{aligned}$$

16. Середній розмір молольних тіл камери млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення:

$$d_{\Pi} = D_{\Pi}(d_{\Pi}/D_{\Pi}) = 2,46 \cdot 0,0128 = 0,0315 \text{ м.}$$

17. Маса молольних тіл камери млина першої стадії грубого подрібнення:

$$\begin{aligned} m_{\Gamma} &= \frac{\pi D_{\Gamma}^2}{4} L_{\Gamma} \kappa_{\Gamma} K_{\Gamma} \rho = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \cdot 4,2 \cdot 0,425 \cdot 0,6 \cdot 7,85 = \\ &= 59,4 \text{ т,} \end{aligned}$$

де $\kappa_{\Gamma}=0,425$ – прийняте значення ступеня заповнення завантаженням камери млина першої стадії грубого подрібнення; $K_{\Gamma}=0,6$ – коефіцієнт розпушування для кульових молольних тіл камери млина першої стадії грубого подрібнення; $\rho=7,85 \text{ т/м}^3$ – густина сталі, як матеріалу мольних тіл.

18. Маса молольних тіл камери млина останньої стадії тонкого подрібнення:

$$m_T = \frac{\pi D_T^2}{4} L_T \kappa_T K_T \rho = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 11 \cdot 0,275 \cdot 0,65 \cdot 7,85 = 48,5 \text{ т,}$$

де $\kappa_T=0,275$ – прийняте значення ступеня заповнення завантаженням камери млина останньої стадії тонкого подрібнення; $K_T=0,65$ – коефіцієнт розпушування для молольних тіл у вигляді мініпесба камер млинів останньої стадії тонкого подрібнення.

19. Ступінь заповнення завантаженням камери млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення:

$$\kappa_{\Pi} = \kappa_T \sqrt{\frac{\kappa_T}{\kappa_{\Gamma}}} = 0,425 \cdot \sqrt{\frac{0,275}{0,425}} = 0,342.$$

20. Маса молольних тіл камери млина можливої проміжної стадії середнього подрібнення:

$$m_{\Pi} = \frac{\pi D_{\Pi}^2}{4} L_{\Pi} \kappa_{\Pi} K_{\Pi} \rho = \frac{3,14 \cdot 2,46^2}{4} \cdot 6,81 \cdot 0,342 \cdot 0,65 \cdot 7,85 = 56,5 \text{ т,}$$

де $K_{\Pi}=0,65$ – коефіцієнт розпушування для молольних тіл у вигляді цильпесба камер млинів можливої проміжної стадії середнього подрібнення.

Список літератури

1. Патент UA17101U, МПК6 В28В 21/02. Спосіб відцентрового виготовлення трубчастих виробів з текучого матеріалу / Науменко Ю. В., Науменко К. Ю.; заявник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u200602321; заяв. 02.03.2006; опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9, 2006 р.

2. Патент UA58175U, МПК6 В02С 17/24. Привод барабанного млина із автоколивним внутрішньокамерним завантаженням / Дейнека К. Ю.; заявник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u201009020; заяв. 19.07.2010; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7, 2011 р.

3. Патент UA57104U, МПК6 В02С 25/00. Спосіб керування процесом подрібнення в барабанному млині із автоколивним внутрішньокамерним завантаженням / Дейнека К. Ю.; заявник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u201009048; заяв. 19.07.2010; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3, 2011 р.

4. Патент UA58177U, МПК6 В02С 17/00. Спосіб багатостадійного подрібнення в барабанних млинах / Науменко Ю. В.; заявник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u201009043; заяв. 19.07.2010; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7, 2011 р.

5. Теорія обертових машин : підруч. / Сівко В. Й., Науменко Ю. В., Кузьмінець М. П., Дейнека К. Ю. Київ, Рівне : НУВГП, 2015. 527 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/4034/1/V20.pdf>

6. Науменко Ю. В., Дейнека К. Ю. Теоретичні основи робочих процесів машин барабанного типу : монографія. Рівне : НУВГП, 2014. 531 с.

7. Науменко Ю. В. Основи теорії робочих процесів барабанних млинів : монографія. Рівне : НУВГП, 2014. 336 с.

8. Науменко Ю. В. Основи теорії режимів роботи барабанних млинів : монографія. Рівне : Видавництво СПД Зелент О. І., 2009. 282 с.