

Манойло Ю.О., Моисеев В.Ф.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ДИСМЕМБРАТОРА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПОРОШКОПОДІБНИХ СУМІШЕЙ

Сьогодні існує велика кількість підходів до питання організації методики експериментальних досліджень, як у галузі здрібнення сировинних матеріалів, так і в цілому у хімічній технології.

Результат роботи машин для здрібнення матеріалів визначається технологічною ефективністю та енергоємністю процесу переробки сировинного матеріалу. Дослідження ефективності процесу здрібнення проводилося у декілька етапів: розробка окремих методик експериментальних досліджень; виготовлення лабораторної установки по дослідженню здрібнення сировинних матеріалів для виготовлення порошкоподібних сумішей на прикладі сухої будівельної шпатлівки; підготовка лабораторного обладнання та контрольно-вимірювальної апаратури. Проведення досліджень та аналіз результатів.

Мета проведення досліджень – встановлення закономірностей процесу здрібнення матеріалів при змінах режимів роботи машини та сировинних чинників на властивості кінцевого продукту.

1. Виявлення факторів, які впливають на ефективність роботи дисмембратора

Блок-схема, яка запропонована до розгляду на рисунку 1 відображає класифікацію найвагоміших факторів, при зміні яких можна істотно трансформувати ефективність роботи дослідного дисмембратора.



Рисунок 1 – Фактори, що впливають на ефективність процесу здрібнення

2. Опис дослідної установки та лабораторного обладнання

Для встановлення закономірностей процесу здрібнення матеріалів для виробництва порошкоподібних сумішей на прикладі будівельної шпатлівки на машині дисмембранного типу, спроектовано та виготовлено дисмембратор, здрібнення у якому відбувається комбінованим способом (вільним та скрутним ударом) [1, 2, 3, 4]. Трьохвимірну модель дисмембратора представлено на рисунку 2.

При розробці машини були враховані наступні вимоги:

1. Машина має відповідати вимогам безпеки функціонування.
2. Процес здрібнення у дисмембраторі повинен бути керованим у широких діапазонах.
3. Машина має бути компактною. На процес здрібнення, що реалізується у дисмембраторі повинно витратитися менше енергії, ніж у відомих аналогів.
4. Передбачена можливість розбирання та збирання машини у виробничих умовах.
5. Можливість проведення замірів та контролю вхідних та вихідних параметрів за допомогою простих та надійних пристроїв.
6. Експлуатація машини повинна бути стійкою та не залежати в якому саме режимі відбувається процес здрібнення.

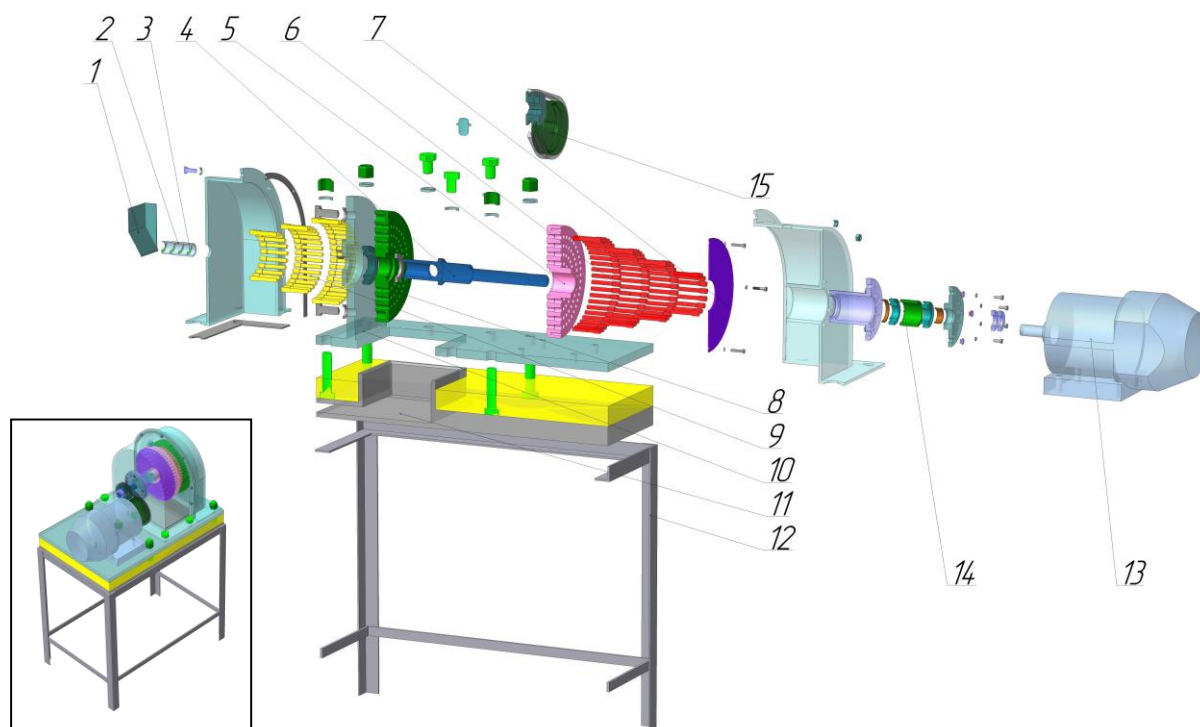


Рисунок 2 – Тривимірна модель лабораторного дисмембратора

Основні елементи з яких складається дисмембратор наступні: бункер вихідної сировини 1, живильний пристрій 2 та 3, привідний вал 4, диск ротора 5, біти ротора 6, упор ротора 7, диск статора 8, біти статора 9, рама 10, опорна плита 11, станина 12, електродвигун 13, підшипниковий вузол 14, ремінна передача 15. Робочими органами дисмембратора, які забезпечують процес здрібнення є біти ротора 6 та біти статора 8,

які закріплено у відповідних дисках по концентричним окружностям, таким чином, що ряди біт ротора та статора взаємо-чергуються, причому, крайніми рядами є біти ротора. Диск ротора 5, знаряджений бітами, закріплений шпонковим з'єднанням на привідному валу із Т-подібним отвором 4. Біти ротора 6 закріплено у відповідному диску посадкою із натягом та додатково фіксовані упором 7.

Привідний вал машини спирається на підшипниковий вузол 14 та підшипник, що центрує, закріплений у головній частині привідного валу 4 на тильній частині диска статора 8. Завдяки такому розташуванню підшипників у дисмембраторі виконується вимога безпечної експлуатації машині при різних режимах її роботи. Диск статора, споряджений бітами закріплено на рамі 10. Оберткові рухи створює електромотор 13 та засобами ремінної передачі 15 передаються на привідний вал 4. Вся конструкція базується на опорній плиті 11, яка має прорублені отвори для забору помелу. Опорна плита 11 встановлена на станіну 12.

Машина працює наступним чином. Частки вихідної сировини знаходяться у бункеру 1, який спроектовано таким чином, щоб кут його схилу сприяв найшвидшому просуванню часток до його нижньої границі. При встановленні значної частоти обертання (більше ніж 600 хв^{-1}) привідного валу, разом із ним починає обертатися стінка пристрою системи живлення машини сировиною 2 та диск ротора, споряджений бітами. Внаслідок оберткових рухів, що утворилися, починається процес пересування сировини із бункеру 1 до внутрішнього об'єму дисмембратора. При попаданні часток сировини до внутрішньої камери вони піддаються багатократним ударам із сторони біт ротору 5 та внаслідок цих зіткнень набувають такої ж швидкості як і біти 5. Одночасно із цим, на частки, що утворилися після первісного здрібнення першим рядом біт ротору, починають діяти відцентрові та аеродинамічні сили, які віддаляють їх від осі привідного валу. За першим рядом біт ротора, конструкцією передбачено нерухомий ряд біт статора, з яким і зіштовхуються частки, які утворилися раніше та додатково здрібнюються, зменшуючи власну швидкість. Загалом в дисмембраторі на якому проводяться дослідження є 4 ряди біт ротора та 3 ряди біт статора. Аналогічні явища по здрібненню відбуваються і на них. По проходженню всіх рядів біт помел, що утворився, осідає у опорній плиті 11.

У таблиці 1 наведені технічні характеристики дослідного дисмембратора.

Таблиця 1 – Технічні характеристики дисмембратора

Показники	Значення
Потужність приводу, кВт	1,5
Частота обертів ротора, хв^{-1}	1000÷3000
Діаметр ротора, мм	230
Вільна довжина (виліт) біт у робочому об'ємі машини, мм	30
Діаметр біт, мм	8
Кількість біт у роторі, од	124
Кількість біт у статорі, од	92
Габарити, мм	432×688×1005
Маса, кг	186

На рисунку 3 зображено принципову електричну схему дослідної установки та залежність енерговитрат при змінах частоти обертів ротора.

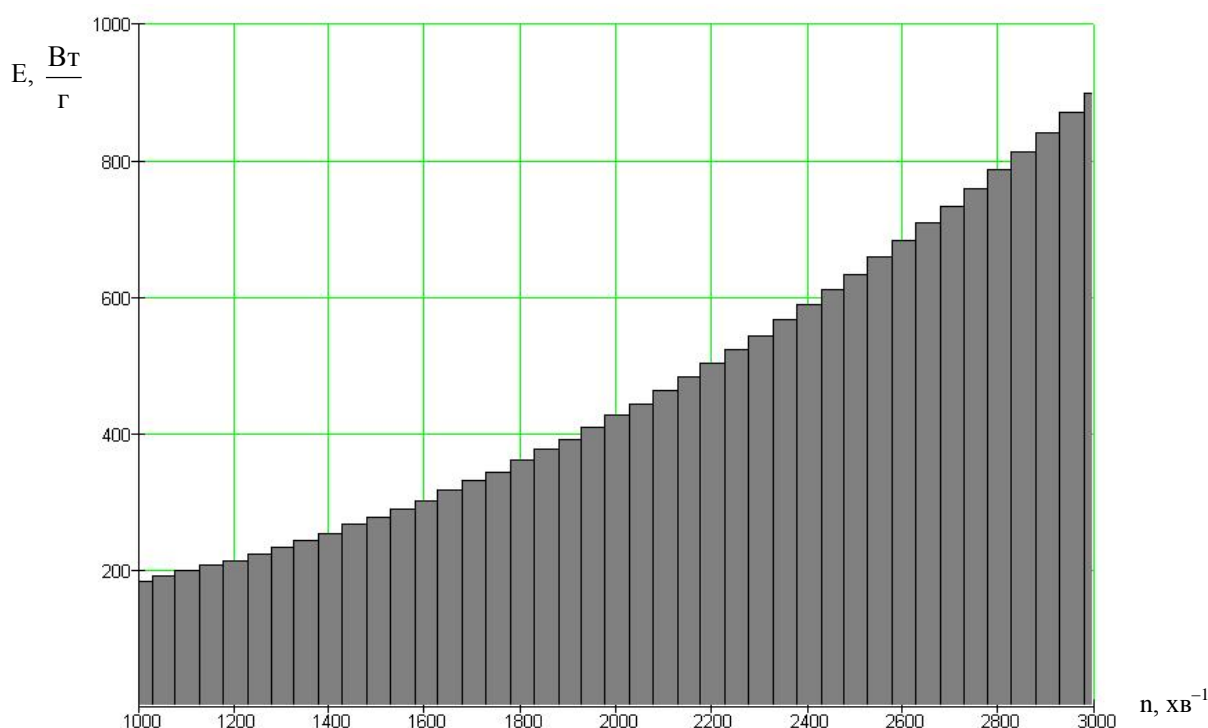
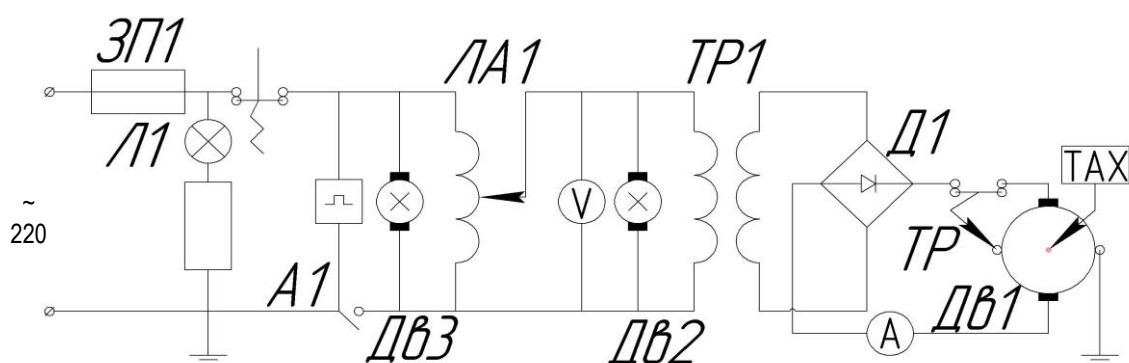


Рисунок 3 – Принципова електрична схема дослідної установки та залежність енерговитрат від навантаження

На вхід електричної схеми подається перемінний струм напругою 220 В. Дана напруга подається на сигнальну лампу ввімкнення установки Л1 через запобіжник ЗП1, через автомат екстреного вимкнення А1. Далі через регулятор ЛАТР – ЛА1 на понижуючий трансформатор ТР1.

На вході ТР1 встановлено вольтметр V, для контролю за напругою, що подається. Коефіцієнт трансформації ТР1 – 1:10.

Вихід трансформатора ТР1 навантажено на випрямляючий мостик, що дозволяє заживити двигун постійного струму Дв1. На валу двигуна встановлено тахометр із градировкою $\times 2$ (через ремінну передачу, з передаточним числом $u = 2$).

Для забезпечення умов безпечності та надійності функціонування машини у електричній схемі передбачено два вентилятора Дв2 – для обдуву трансформатора ТР1 та Дв3 – для обдуву двигуна Дв1.

Крім цього, двигун дисмембратора Дв1 заряджений датчиком температури корпусу, що дозволяє запобігти перегріву та виходу його із ладу.

Зразки, які піддаються здрібненню, являють собою частки кубічної форми шару шпатлівки, яка висохла, заданими геометричними параметрами: у межах дослідних груп відхилення у довжині кубічної грані не перевищує 5 %. Вологість зразків – 7,5 %_{мас.}

3 Дослідження функціональних особливостей живильного пристрою

Мета – експериментальне встановлення оптимального розміру часток, які проходять через живильний пристрій та визначення частоти обертання валу дисмембратора оптимальної за продуктивністю машини.

При проведенні експериментів по встановленню функціональних особливостей системи живлення дисмембратора замірювали масу часток m_N , які в результаті роботи машини опинилися у внутрішньому об'ємі та час t_N за який пройшло їх переміщення із бункеру.

Для встановлення експериментальних залежностей, які характеризують функціональність живильного пристрою дисмембратора доцільно спочатку визначити його продуктивність.

Розрахунки продуктивності живильного пристрою проводимо за наступною формулою:

$$P_N = \frac{m_N}{t_N}. \quad (1)$$

Усереднення отриманих за (1) значень проводимо наступним чином: значення середньої продуктивності для кожного із трьох паралельних експериментів, визначаємо, як середньоарифметичне:

$$\bar{P} = \frac{P_N + P_{N+1} + P_{N+2}}{3}, \quad (2)$$

де P_N , P_{N+1} та P_{N+2} – значення продуктивності паралельних дослідів.

4. Проведення серії експериментів по здрібненню

Мета – експериментальне встановлення оптимального режиму роботи дисмембратора з огляду на якість отриманого у результаті помелу (гранулометричного складу готового продукту).

Провели дослідження по здрібненню часток означених груп (окремо для кожної групи) при частотах обертання ротора машини: $n \in [1\ 000; 3\ 000] \text{ хв}^{-1}$ із кроком 500 хв^{-1} .

У результаті гранулометричного аналізу отримано значення мас, що розподілилися між інтервалами.

Ширину (breadth) n-ного інтервалу можна визначити за формулою:

$$Br_N = b_{MAX} - b_{MIN}, \quad (3)$$

де b_{MAX} – більша межа (boundary) у інтервалі, м; b_{MIN} – менша межа у інтервалі, м.

Значення середини інтервалу (middle), визначаємо за формулою:

$$M_N = \frac{b_{MAX} + b_{MIN}}{2} \quad (4)$$

Характеристики інтервалів, що використовуються для подальших розрахунків приведено у таблиці 2. Оскільки логарифмуванню неможна піддавати розмірні величини у таблиці 2 у колонці $\ln(M_N)$ наведені натуральні логарифми не середин інтервалів, а чисельних значень середин інтервалів.

Таблиця 2 – Характеристики інтервалів

Номер інтервалу	Межі, 10^{-6} м	Ширина V_{rN} , 10^{-6} м	Середина M_N , 10^{-6} м	Логарифм значення середини інтервалу $\ln(M_N)$
1	8÷20	12	14	- 11,278
2	20÷30	10	25	- 10,617
3	30÷60	30	45	- 10,068
4	60÷80	20	70	- 9,577
5	80÷115	35	97,5	- 9,252
6	115÷300	185	207,5	- 8,591
7	300÷450	150	375	- 7,909
8	450÷630	180	540	- 7,538
9	630÷850	220	740	- 7,222
10	850÷1 000	150	925	- 6,989

Як видно із таблиці 2 інтервали на рівнозначні за власною шириною. Даний факт використаний при аналізі даних отриманих при проведенні гранулометрії змісту пакетів із помелом.

Дисперсія (variance), як міра розсіву значень розміру часток відносно середнього значення може бути визначена, виходячи із:

$$Var = \frac{\sum_{k=1}^{10} M_k \cdot \left[\frac{\sum_{k=1}^{10} [\ln(M_k) \cdot M_k]}{\sum_{k=1}^{10} M_k} - \ln(M_k) \right]^2}{\sum_{k=1}^{10} M_k} \quad (5)$$

Питома вага фракцій визначається за формулою:

$$D_N = \frac{m_N}{\sum m_N} \cdot 100 \% , \quad (6)$$

де m_N – маса n-ної фракції, кг; $\sum m_N$ – маса змісту пакета, кг.

Середній розмір (average size) часток помелу після здрібнення можна визначити за формулою, м:

$$AvS = \frac{D_N \cdot M_N}{100 \%}. \quad (7)$$

Ступінь здрібнення визначаємо за формулою:

$$\lambda = \frac{d_{I-III}}{AvS}, \quad (8)$$

де d_{I-III} – розмір сировинної частки. $d_{II} = 0,001; 0,002$ або $0,005$ м.

Виходячи із нерівності інтервалів є необхідність привести масу фракції до ширини інтервалу:

$$m'_N = \frac{m_N}{Br_N}. \quad (9)$$

За аналогією, питома вага фракції, що приведена до ширини інтервалу – щільність ймовірності, визначається, як:

$$E_N = \frac{m'_N}{\sum m'_N}, \quad (10)$$

де $\sum m'_N$ – сума приведених до ширини інтервалу мас фракцій.

Час, за який проходить здрібнення сировини у дисмембраторі визначаємо виходячи із продуктивності машини P_N на відповідному режимі її роботи:

$$t = \frac{\sum m_N}{P_N}. \quad (11)$$

Робота, яка витрачається на здрібнення, визначається за формулою:

$$A_B = \frac{U_N^2}{R} \cdot t, \quad (12)$$

де U_N – напруга на вторинній обмотці трансформатора TP1, яка залежить від режиму роботи машини; R – опір обмотки двигуна. $R = 0,5$ Ом.

Число часток вихідної сировини визначаємо за формулою із використанням функції округлення отриманого значення до найближчого цілого:

$$N_B = \left[\frac{\sum m_N}{m_{I-III}} \right], \quad (13)$$

де $m_{I\rightarrow III}$ – маса вихідної частки.

Кількість часток у пакеті визначаємо за формулою із використанням вищепи-
саної функції:

$$N_K = \left[\sum \frac{m_N}{\rho \cdot M_N^3} \right], \quad (14)$$

де ρ – дійсна щільність гіпсо-полімерної шпатлівки.

Об'єм часток вихідної сировини визначаємо за формулою:

$$V_B = N_B \cdot d_{I\rightarrow III}. \quad (15)$$

Площу часток продукту помелу:

$$S_K = N_K \cdot \sum N_{ГР} \cdot M_N^2, \quad (16)$$

де $N_{ГР}$ – кількість граней у заново-створеної частки.

Дослідники П.М. Сіденко [5] та С.В. Мельников [6] при розгляданні питань утворення нової поверхні робили допущення, що у результаті процесу здрібнення частки кубічної форми, утворюються також частки кубічної форми. Таким чином, Приймаємо $N_{ГР} = 6$ (число поверхонь для кубу). Проте, на відміну від припущень дослідників [5,6] формула (16) дозволить розглядати продукт помелу, не як набір однакових кубічних часток, а як суміш різних за розміром та подібних за геометрією кубів.

Корисну роботу по здрібненню часток у машині можна знайти, як:

$$A_K = \frac{\sigma^2}{2 \cdot E} \cdot V_B + \alpha \cdot S_K, \quad (17)$$

σ – межа міцності матеріалу гіпсо-полімерної шпатлівки при стисканні, $\sigma = 3,36 \times 10^6$ Па; E – модуль пружності матеріалу шпатлівки $3\,000 \times 10^6$ Па; α – характеристика матеріалу по утворенню поверхні виміряна за методом Брунауера-Еммета-Теллера (БЕТ)

[7]. $\alpha = 9 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}$.

Коефіцієнт корисної машини на даному режимі:

$$\eta = \frac{A_K}{A_B} \cdot 100 \% . \quad (18)$$

Середнє значення питомої ваги фракцій, що приведені до ширини інтервалів (щільності ймовірності):

$$\bar{E} = \frac{E_N + E_{N+1} + E_{N+2}}{3}, \quad (19)$$

де N, N+1 та N+2 у індексах відповідних значень – номера пакетів дублюючих (паралельних) дослідів.

За результатами розрахунків встановлюються закономірності процесу здрібнення матеріалів у машині дисембраторного типу. Отримані дані складають основу підсумкової.

5. Результати аналізу дослідних даних

На рисунку 5 приведено номограму, завдяки якій існує можливість зміненою режимних та сировинних чинників впливати на основні параметри процесу здрібнення матеріалів у машині дисембраторного типу.

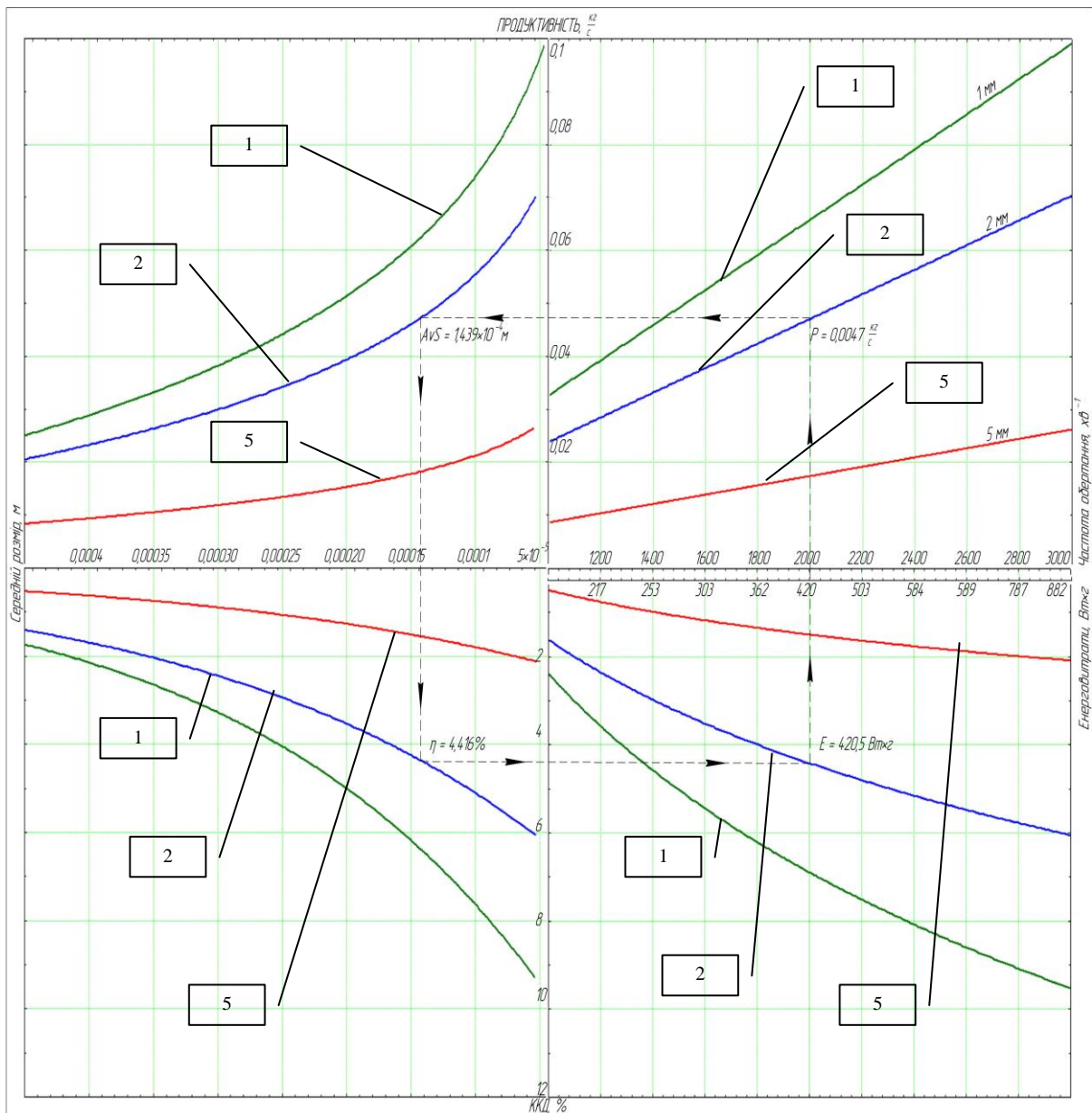


Рисунок 5 – Номограма керування параметрами процесу здрібнення

При створенні номограми нами були використані закономірності процесу здрібнення, встановлені при аналізі дослідних та розрахункових даних, які було приведено до відповідних координатних осей.

Так, для побудови номограми використано наступні функції:

- $P = f(n)$;
- $P = f(AvS)$. Похідна функція від $P = f(n)$ та $AvS = f(n)$;
- $\eta = f(AvS)$. Похідна функція від $\eta = f(n)$ та $AvS = f(n)$;
- $\eta = f(n)$;
- $n \sim E$.

Дані функції побудовано для трьох дослідних груп часток $d_{\Pi} = 1, 2$ та 5 мм.

У номограмі застосовані наступні умовні позначення:

- лінії «1» відповідають залежностям отриманим для $d_{\Pi} = 1$ мм;
- лінії «2» – для $d_{\Pi} = 2$ мм;
- лінії «5» – для $d_{\Pi} = 5$ мм;

Таким чином, знаючи частоту обертів ротору машини дисмембраторного типу та вихідний розмір часток сировинного матеріалу можна визначити продуктивність машини, середній розмір часток у помелі, коефіцієнт корисної дії даного режиму та енергетичні витрати на організацію процесу здрібнення у машині дисмембраторного типу.

6. Висновки

У статті висвітлюються питання організації проведення експериментальних досліджень та подальшого аналізу отриманих даних. Виявлені фактори, які впливають на ефективність роботи дисмембратора. Розроблено тривимірну модель дисмембратора. Приведено його технічні характеристики. Зроблено опис принципової електричної схеми дослідної установки, як механізму регулювання частоти обертів валу машини.

По-стадійно розглянуто проведення серії експериментів по встановленню функціональних параметрів живильного пристрою та закономірностей процесу здрібнення у дисмембраторі. Розкрито питання аналізу отриманих експериментальних даних.

Експериментально доведено, що ступінь здрібнення у машинах дисмембраторного типу може перевищувати $\lambda \leq 40$ [5,8].

Щодо застосовності дослідної машини у виробництві сухої будівельної шпатлівки отримано значення середнього розміру часток у помелі, які дають змогу стверджувати про її доцільність. Домінуючі частки у помелі при встановленому режимі роботи $3\ 000\ \text{хв}^{-1}$ – $AvS \in [45 \div 46]$ мкм, – дозволяють виготовляти на дисмембраторі універсальну шпаклівку.

Отримане розрахунками ККД дисмембратора – перевищує даний показник у аналогічних машин (наприклад ККД струминного млина не перевищує 2 % [9]).

Література

1. Манойло Ю.О., Моїсєєв В.Ф. Здрібнювання матеріалів у хімічній промисловості Матеріали міжнародної наукової конференції «Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних екологічних проблем». – Чернівці, 2005. с. 85–90.
2. Манойло Ю.О., Моїсєєв В.Ф., Кузнєцов П.В. Теорія здрібнення: енергетичні витрати. // Матеріали міжнародної наукової конференції «Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних екологічних проблем» – Чернівці, 2007. с. 116–123.

3. Манойло Ю.А., Моисеев В.Ф., Шапорев П.В. Сухие строительные шпатлевки. К вопросу о рецептуре и технологии производства. Восточно-европейский журнал передовых технологий № 6/1 (24) 2006. с. 23–27.
4. Манойло Ю.О., Моисеев В.Ф., Кузнецов П.В. Сучасні оздоблювальні матеріали: сухі будівельні шпаклівки. // Матеріали міжнародної наукової конференції «Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних екологічних проблем» – Чернівці, 2007. с. 106–115.
5. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия, 1979. – 368 с.
6. Мельников С.В. Технологическое оборудование животноводческих ферм. –Л.: Агропромиздат, 1985.
7. Бутягин П.Ю., Стрелецкий А.Н. Кинетика и энергетически баланс в механо-химических превращениях. // Физика твердого тела. т. 47. вып. 5, 2005. – 9 с.
8. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 830 с.
9. Савин А.А., Моисеев В.Ф., Манойло Ю.А. Процесс измельчения материалов в химической промышленности. Типология методов и моделей математического описания. Восточно-европейский журнал современных технологий. №6 (12), 2004. с. 105–108.

УДК 621.926 666.973.6 655.3.06

Манойло Ю.А., Моисеев В.Ф.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДИСМЕМБРАТОРА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОРОШКООБРАЗНЫХ СМЕСЕЙ

В статье рассматриваются вопросы организации исследований экспериментальной машины. Описана конструкция исследовательской установки. Приведен результат разработки трехмерной модели дисмембратора. Решены вопросы анализа полученных экспериментальных данных. Построена номограмма управления параметрами процесса дробления.