

При зменшенні концентрації кисню в газовій фазі зменшується вигорання коксового залишку, і вже при концентрації 15% коксовий залишок майже не вигоряє.

Розмір частки вугілля суттєво впливає на швидкість дифузії кисню, а значить і згорання палива. Чим більший розмір частки, тим менша швидкість дифузії кисню.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бабий В.И. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / Бабий В.И., Куваев Ю.Ф. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208с.
2. Хзмалян Д.М. Теория горения и топочные устройства / Хзмалян Д.М., Каган Я.А. – М.: Энергия, 1976. – 486с.
3. Хитрин Л.Н. Физика горения и взрыва / Хитрин Л.Н. – М.: Издательство московского университета, 1957. – 452с.
4. Ксандопуло Г.И. Химия пламени / Ксандопуло Г.И. – М.: Химия, 1980. – 256с.

УДК 662.749.62.776(048)

НАГОРНИЙ Ю.С., д.т.н., доцент  
МАРИНІНА Т.В., магістр  
НАГОРНА С.Ю., асистент  
ВЛАСЯН С.В., здобувач

Дніпродзержинський державний технічний університет

### **ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ, ВОЛОГОСТІ І ОДНОРІДНОСТІ ЗЕРНИСТОГО МАТЕРІАЛУ НА ЩІЛЬНІСТЬ ЙОГО НАСИПУ**

**Вступ.** Одним із характерних представників зернистих матеріалів є розсипчасті, або гранульовані мінеральні добрива і їх суміші.

Механічні, фізико-хімічні і товарні властивості добрив впливають на умови їх виробництва, складського зберігання, транспортування і безпосереднього використання в сільському господарстві: гігроскопічність, злежуваність, гранулометричний склад, середній розмір часток, міцність гранул, кути природного укусу, вологовміст, щільність, насипна щільність, однорідність складу тукоsumішей і сегрегація, розсіюваність. Названі показники якості добрива взаємопов'язані.

При змішуванні добрив відносно короткочасно взаємодіють компоненти суміші, і можливі реакції між ними не протікають до кінця, тому фізико-хімічні властивості компонентів суміші майже не змінюються.

В цій роботі обмежимося виявленням взаємозалежностей основних характеристик зернистого широко розповсюдженого фосфорного добрива – суперфосфату, який ефективно використовують під любі культури і на любих ґрунтах, частіше використовують не безпосередньо, а у вигляді тукоsumішей.

**Постановка задачі.** Отже, представляє практичний інтерес дослідження залежності щільності насипної маси зернистого добрива (суперфосфату) від гранулометричного складу, вологості і однорідності насипу.

За зовнішнім виглядом – розсипчастий порошковидний або гранульований продукт сірого кольору різноманітних відтінків. Фосфор у суперфосфаті знаходиться головним чином у вигляді  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  і вільної фосфорної кислоти. Якість суперфосфату оцінюють за вмістом у ньому засвоєного  $\text{P}_2\text{O}_5$  (в середньому 20%), який присутній у вигляді різноманітних з'єднань:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$ . Насипна щільність гранульованого суперфосфату 0,84-0,87 т/м<sup>3</sup>. Гігроскопічність (за шкалою Пестова) нейтралізованого суперфосфату при вологості 10-15% знаходиться в межах 3-5 балів.

При нейтралізації вільної кислотності вапняком або аміаком бал гігроскопічності знижується до 1 [1].

Злежуваність суперфосфату викликається кристалізацією  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  із рідинної фази. Охолоджений і визрілий на складі суперфосфат, в якому закінчилась кристалізація монокальційфосфату, не злежується [1].

Розсіюваність або сипучість суперфосфату визначають [2] здатність його висіюватись сіялками і різко зростають при нейтралізації його та висушуванні.

**Результати роботи.** Для визначення залежності щільності насипної маси суперфосфату від різних факторів поставлено плановий експеримент, у якому перемінними факторами були гранулометричний склад, вологість зернистого добрива і однорідність насипу.

Для постановки експерименту переходимо від натуральних факторів до безрозмірних величин і визначаємо рівні варіювання, на яких буде поставлено експеримент.

Рівні варіювання вибрані максимально близькими до параметрів якості добрива і представлені в табл.1.

Таблиця 1 – Кодування факторів

| Найменування фактору    | Вологість | Гранулометричний склад (вміст гранул 2-4 мм) | Однорідність насипу зернистого добрива (число пересипань) |
|-------------------------|-----------|--|---|
| Кодове позначення       | $X_1$     | $X_2$  | $X_3$   |
| Нульовий рівень $x_i=0$ | 4         | 75   | 2   |
| Інтервал варіювання     | 2         | 5  | 1   |
| Нижній рівень $x_i=-1$  | 2         | 70   | 1   |
| Верхній рівень $x_i=+1$ | 6         | 80   | 3   |

Для більш точного опису експерименту склали рівняння регресії з урахуванням взаємного впливу факторів.

$$Y = \epsilon_0 + \epsilon_1 x_1 + \epsilon_2 x_2 + \epsilon_3 x_3 + \epsilon_{12} x_1 x_2 + \epsilon_{13} x_1 x_3 + \epsilon_{23} x_2 x_3 + \epsilon_{123} x_1 x_2 x_3. \quad (1)$$

План-матриця планового факторного експерименту типу  $2^3$  з урахуванням взаємного впливу факторів наведена в табл.2.

Таблиця 2 – План-матриця планованого факторного дослідження з урахуванням взаємного впливу факторів

| Номер дослідження | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_1 X_2$ | $X_2 X_3$ | $X_1 X_3$ | $X_1 X_2 X_3$ | $Y_i$  | $S_j^2 \cdot 10^5$ |
|-------------------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|---------------|--------|--------------------|
| 1                 | +     | -     | -     | -         | +         | -         | +             | 0,7606 | 0,157              |
| 2                 | +     | +     | -     | +         | -         | -         | -             | 0,7662 | 0,21               |
| 3                 | +     | +     | +     | +         | +         | +         | +             | 0,7525 | 0                  |
| 4                 | -     | +     | +     | -         | +         | -         | -             | 0,7519 | 0,157              |
| 5                 | -     | -     | +     | +         | -         | -         | +             | 0,7606 | 0,157              |
| 6                 | -     | -     | -     | +         | +         | +         | -             | 0,7525 | 0,417              |
| 7                 | +     | -     | +     | -         | -         | +         | -             | 0,7500 | 0                  |
| 8                 | -     | +     | -     | -         | -         | +         | +             | 0,7437 | 0,21               |

Обчислюємо коефіцієнт регресії, користуючись формулами [3]:

$$b_0 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N y_j ; \quad (2)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N x_i y_j , \quad (3)$$

де  $N$  – загальна кількість дослідів в матриці;  $j$  – номер дослідів;  $I$  – номер фактору.

Підставивши значення у формули 2 та 3 отримуємо:

$$e_0 = \frac{1}{8} (0,7606 + 0,7662 + 0,7525 + 0,7519 + 0,7606 + 0,7525 + 0,7500 + 0,7437) = 0,75475 ;$$

$$e_1 = \frac{1}{8} (0,7606 + 0,7662 + 0,7525 - 0,7519 - 0,7606 - 0,7525 + 0,7500 - 0,7437) = 0,002575 ;$$

$$e_2 = \frac{1}{8} (-0,7606 + 0,7662 + 0,7525 + 0,7519 - 0,7606 - 0,7525 - 0,7500 + 0,7437) = -0,0012 ;$$

$$e_3 = \frac{1}{8} (-0,7606 - 0,7662 + 0,7525 + 0,7519 + 0,7606 - 0,7525 + 0,7500 - 0,7437) = -0,001 ;$$

$$e_{12} = \frac{1}{8} (-0,7606 + 0,7662 + 0,7525 - 0,7519 + 0,7606 + 0,7525 - 0,7500 - 0,7437) = 0,0032 ;$$

$$e_{23} = \frac{1}{8} (0,7606 + 0,7525 - 0,7662 + 0,7519 - 0,7606 + 0,7525 - 0,7500 - 0,7437) = 0,00037 ;$$

$$e_{13} = \frac{1}{8} (-0,7606 - 0,7662 + 0,7525 - 0,7519 - 0,7606 + 0,7525 + 0,7500 + 0,7437) = -0,005 ;$$

$$e_{123} = \frac{1}{8} (0,7606 - 0,7662 + 0,7525 - 0,7519 + 0,7606 - 0,7525 - 0,7500 + 0,7437) = -0,0004 .$$

Підставивши отримані значення коефіцієнтів в (1), отримуємо рівняння регресії наступного вигляду:

$$Y = 0,75475 + 0,002575X_1 - 0,0012X_2 - 0,001X_3 . \quad (4)$$

Статистичний аналіз рівняння регресії складається із трьох етапів:

- 1) оцінка дисперсії відтворюваності;
- 2) оцінка значимості коефіцієнтів рівняння регресії;
- 3) оцінка адекватності моделі.

Для визначення помилки дослідів (дисперсії відтворюваності) розраховували побудівні дисперсії  $S_j^2$  за формулою:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n)0} (j_i - j_{cp})^2}{n - 1} ; \quad \sigma = \sqrt{S^2} . \quad (5)$$

Однорідність дисперсії перевіряємо при зрівнянні з табличним значенням критерію Кохрена [3], розрахункове значення якого визначається за формулою:

$$\sigma_p = \frac{S_j^2 \max}{\sum_{n=1}^N S_j^2} , \quad (6)$$

де  $S_j^2$  – максимальна із розрахованих побудованих дисперсій;

$\sum_{n=1}^N S_j^2$  – сума всіх дисперсій по рядкам матриці планування.

Знаходимо помилку досліду у визначенні коефіцієнтів:

$$S_e = \sqrt{\frac{S_j^2}{N}}; \quad (7)$$

$$S_j^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_j^2; \quad (8)$$

$$S_j^2 = \frac{1}{8} (0,000001573 + 0,00000417 + 0,00000212) = 0,000001635.$$

Знаходимо оцінку дисперсії середнього значення

$$S_j^2 = \frac{S_j^2}{K}, \quad (9)$$

де  $K$  – число паралельних дослідів.

$$S_j^2 = \frac{0,000001635}{4} = 0,00000041..$$

Тоді помилка у визначенні коефіцієнтів буде дорівнювати:

$$S_e = \frac{0,41 \cdot 10^{-6}}{8} = 0,000226.$$

Розрахункове значення критерію Кохрена складе:

$$\sigma_p = \frac{0,00000417}{0,00001308} = 0,318.$$

При вірогідності  $P=0,95$  табличне значення критерію Кохрена для кількості оцінок дисперсії  $N=8$  та числа степенів свободи  $f=K-1=4-1=3$  дорівнює  $\sigma_m=0,438$ .

Так як  $\sigma_p < \sigma_m$ , можна зробити висновок, що всі досліди відтворюються, а дисперсії однорідні.

Визначимо значимість коефіцієнтів рівняння 4. Основою для оцінки значимості служить побудова довірливих інтервалів для коефіцієнтів, для чого, користуючись таблицею [3] для довірливих вірогідності  $P=0,95$  та 24 степені свободи, знаходимо значення Стьюдента:  $t=2,06$ .

Число степенів свободи розраховуємо за формулою:

$$f=N(K-1), \quad (10)$$

$$f=8(4-1)=24.$$

Прийнято вважати, що коефіцієнт регресії має значення, якщо виконується умова

$$|\epsilon| \geq S_{\epsilon \cdot t}. \quad (11)$$

В протилежному випадку коефіцієнт регресії не має значення, і відповідний член можна виключити із рівняння (1).

Для оцінки значимості знайдено відношення:

$$S_{\epsilon \cdot t} = 0,000226 \cdot 2,06 = 0,000465;$$

$$\begin{aligned}
|\epsilon_0| &= 0,75475 \cdot 0,000465; |\epsilon_1| = 0,002575 \cdot 0,000465; |\epsilon_2| = 0,0012 \cdot 0,000465; \\
|\epsilon_3| &= 0,001 \cdot 0,000465; |\epsilon_{12}| = 0,0032 \cdot S_{\epsilon t} = 0,000465; |\epsilon_{23}| = 0,00037 \cdot 0,000465; \\
|\epsilon_{13}| &= 0,005 \cdot 0,000465; |\epsilon_{123}| = 0,0004 \cdot 0,000465.
\end{aligned}$$

Із розрахунків випливає, що коефіцієнти регресії  $\epsilon_{23}$  та  $\epsilon_{123}$  не мають значень. Тоді рівняння регресії приймає вигляд:

$$Y = 0,75475 + 0,002575x_1 - 0,0012x_2 - 0,001x_3 + 0,0032x_1x_2 - 0,005x_1x_3. \quad (12)$$

Для отриманого рівняння знайдемо розрахункові значення функцій:

$$\begin{aligned}
Y_1^P &= 0,75475 + 0,002575(+1) - 0,0012(-) - 0,001(-1) + 0,0032(-1) - 0,005(-1) = 0,7613; \\
Y_2^P &= 0,7653; Y_3^P = 0,7533; Y_4^P = 0,7517; Y_5^P = 0,7605; Y_6^P = 0,7625; Y_7^P = 0,7493; \\
Y_8^P &= 0,7437.
\end{aligned}$$

Розраховуємо оцінку адекватності:

$$S_{ad} = \frac{1}{8-6} \left[ \begin{aligned} & (0,7606-0,7613)^2 + (0,7662-0,7653)^2 + (0,7525-0,7533)^2 + \\ & + (0,7519-0,7517)^2 + (0,7606-0,7605)^2 + (0,7525-0,7525)^2 + \\ & + (0,75-0,7493)^2 + (0,7437-0,7437)^2 \end{aligned} \right] = 1,24 \cdot 10^{-6}.$$

Число степенів свободи  $F = N - B = 2$ .

Розрахункове значення критерію Фішера  $F_P = \frac{1,24 \cdot 10^{-6}}{0,41 \cdot 10^{-6}} = 3,02$  і не перевищує

табличного, рівного 9,12.

Відповідно рівняння регресії (12) адекватно описує реальний процес.

У рівнянні регресії кодовані змінні  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  замінюємо фізичними значеннями: вологість, гранулометричний склад зернистого матеріалу та кількість пересіпок. Таким чином, на основі табл.2 отримуємо:

$$\begin{aligned}
W = X_1 &= \frac{X_1 - X_{01}}{\Delta X_1} = \frac{X_1 - 9}{2} = 0,5X_1 - 4,5; \\
\Pi = X_2 &= \frac{X_2 - X_{02}}{\Delta X_2} = \frac{X_2 - 15}{5} = 0,2X_2 - 25; \\
C = X_3 &= \frac{X_3 - X_{03}}{\Delta X_3} = \frac{X_3 - 0,015}{0,005} = 200X_3 - 3.
\end{aligned}$$

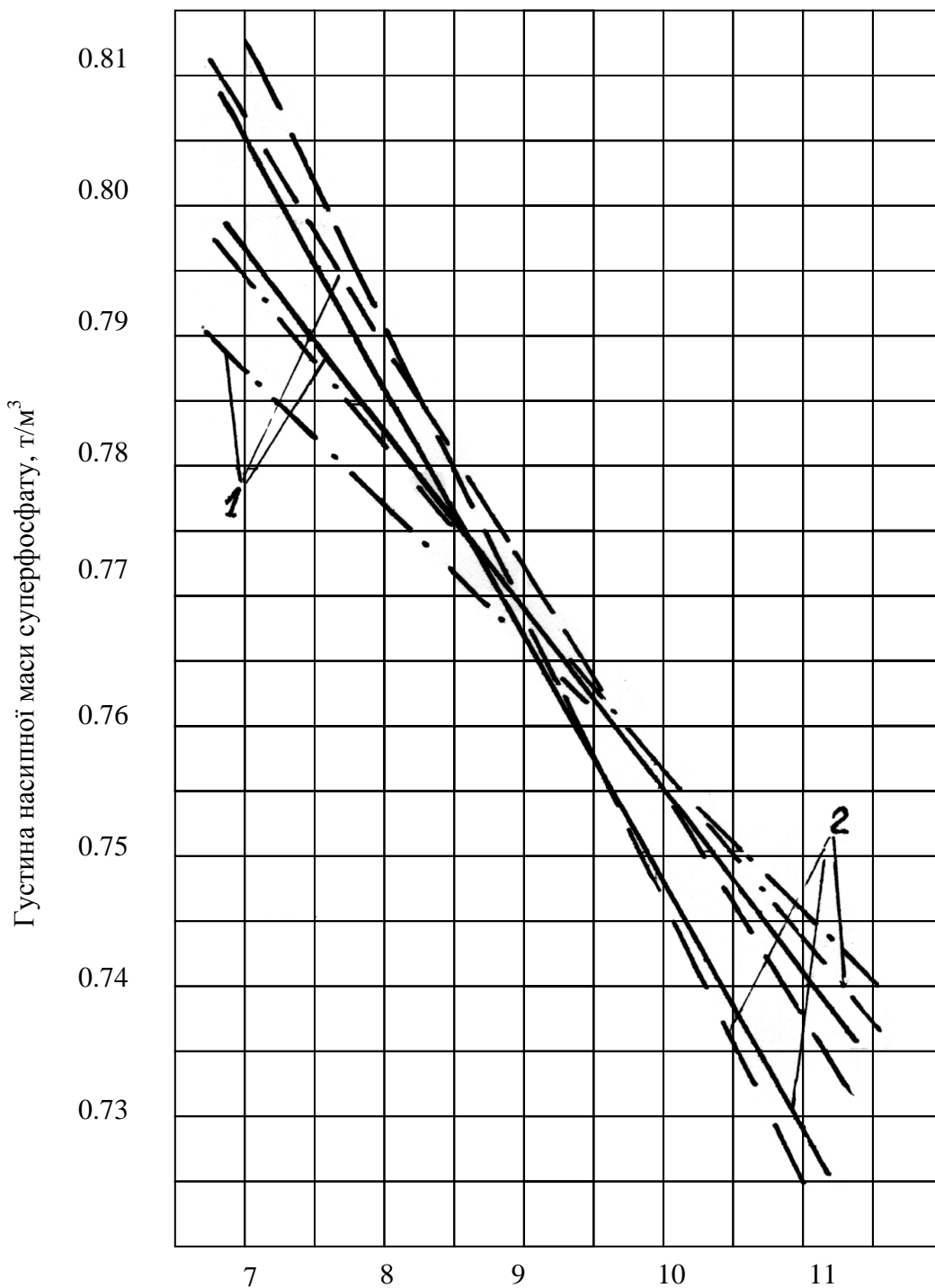
Підставимо отримані значення у рівняння (12):

$$\begin{aligned}
Y &= 0,75475 + 0,002575(0,5x_1 - 4,5) - 0,0012(0,2x_2 - 25) - 0,001(200x_3 - 3) + \\
&+ 0,0032(0,5x_1 - 4,5)(0,2x_2 - 25) - 0,005(0,5x_1 - 4,5)(200x_3 - 3).
\end{aligned}$$

Після перетворення отримуємо:

$$Y = 1,06366 - 0,03121W - 0,00312\Pi + 4,3C + 0,00032W\Pi - 0,5WC \text{ т/м}^3. \quad (13)$$

Взаємний вплив факторів, які змінюють щільність насипної маси зернистого матеріалу, представлено на рис.1, 2.



1 – однорідність – 0,01%; 2 – однорідність – 0,02%;

вологість суперфосфату, %:

вміст кл. 2-4 мм 70%;

вміст кл. 2-4 мм 80%;

вміст кл. 2-4 мм 60%

Рисунок 1 – Залежність щільності насипної маси суперфосфату від вологості (%), гранулометричного складу (% вміст кл. 2-4 мм.), однорідності насипу



**Висновки.** Дослідження показали, що зі збільшенням вологості щільність насипної маси знижується для всіх варіантів помелу та кількості пересипок. Однак при помелі 80% класу 2-4 мм зниження щільності менше, ніж для подрібнення 60% класу 2-4 мм: при вологості 11% щільність насипної маси більш крупного суперфосфату стає меншою від щільності насипної маси матеріалу, подрібненого більш тонкіше. Для суперфосфату вологістю 8,5-9,5% збільшення кількості пересипок на суху масу призводить до зниження насипної щільності. Тобто, кількість пересипок, яка забезпечує максимальне збільшення насипної щільності, залежить від вологості пересипок.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Сатин С.Н. Планирование эксперимента в химической технологии / Сатин С.Н. – Л.: Химия, 1985. – 48с.
2. Соколовский А.А. Краткий справочник по минеральным удобрениям / А.А.Соколовский, Т.П.Унаняц. – М.: Химия, 1977. – 375с.
3. Технология фосфорных и комплексных удобрений / [под ред. С.Д.Эвенчика, А.А.Бродского]. – М.: Химия, 1987. – 464с.

УДК 661.632

ЛАРИЧЕВА Л.П., к.т.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

### ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ ФОСФОРИТІВ. КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ

**Вступ.** Термічна обробка природних фосфоритів, а також спікання їх із солями лужних металів (содою, сумішшю сульфату натрію з вугіллям) або сплавлення їх із кварцитом, силікатами магнею, лужними алюмосилікатами веде до утворення термофосфатів, у яких  $P_2O_5$  знаходиться у формах, що засвоюються рослинами. При термічній обробці фосфату, особливо у присутності добавок, що вказані вище, руйнується кристалічна решітка апатиту і утворюється трикальційфосфат  $3CaO \cdot P_2O_5$  та інші сполуки, що можуть засвоюватися рослинами.

Лужне розкладання фосфоритів відрізняється простотою технологічного процесу і дозволяє обійтися без витрат кислот, необхідних при інших способах виробництва мінеральних добрив, а також дає можливість використання без передчасного збагачення низькоякісної сировини, яка містить значну кількість домішок, зокрема полуторних оксидів заліза та алюмінію.

Як і у будь-якому іншому процесі, у процесі термічного розкладання фосфоритів ключовим моментом стає контроль та керування технологічними параметрами, зокрема, температурою. Тому була запропонована схема управління температурою у муфельній печі, яка дозволяє контроль температури вести за допомогою електронної обчислювальної машини (ЕОМ), що значно покращує умови управління технологічним процесом розкладання фосфориту, процесом обробки та зберігання інформації.

**Постановка задачі.** Метою експерименту стало дослідження принципової можливості термічної переробки низькоякісних фосфоритів у мінеральні добрива, впливу температури на процес термічного розкладання фосфоритів, а також удосконалення системи контролю та керування температурою в муфельній печі.

**Результати роботи.** Дослідження термічної переробки фосфоритів у добрива. Дослідження проводилися на зразку телекської руди, що має хімічний та гранулометричний склад, наведений у табл.1.