

Технічні науки

УДК 628.5.66.011.12

**Корнієнко Ярослав Микитович**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

**Степанюк Андрій Романович**

кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

**Kornienko Y.**

PhD, Professor,  
Head of Department of machines and apparatus of chemical and petroleum industries National Technical University of Ukraine  
"Kyiv Polytechnic Institute"

**Stepaniuk A.**

Ph.D., assistant professor of Department of machines and apparatus of chemical and petroleum industries National Technical University of Ukraine  
"Kyiv Polytechnic Institute"

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СТВОРЕННЯ  
РЕТУРУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ  
КОМПОЗИТІВ  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ  
РЕТУРА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ  
КОМПОЗИТОВ**

## MATHEMATICAL MODELING OF CREATION NEW CENTERS OF FORMATION OF GRANULES IN THE PRODUCTION OF ORGANIC-MINERAL COMPOSITES

**Анотація:** Запропоновано та обґрунтовано математичну модель процесу створення ретуру при виробництві органо-мінеральних композитів. Отримано залежність витраченої на подрібнення енергії в залежності від розмірів гранул.

**Ключові слова:** гумат, мінерально-органічне добриво, подрібнення.

**Аннотация:** Предложено и обосновано математическую модель процесса создания ретура при производстве органо-минеральных композитов. Получена зависимость количества использований на измельчение энергии в зависимости от размеров гранул.

**Ключевые слова:** гумат, минерально-органическое удобрение, измельчения.

**Abstract:** Proposed and reasonably mathematical model of creation new centers of formation of granules in the production of organic-mineral composites. The dependence of spent on shredding-ment of energy depending on the size.

**Key words:** humates, mineral and organic fertilizer, shredding.

**Постановка проблеми.** Ефективна протидія негативним явищам зниження родючості ґрунтів в Україні, пов'язана з інтенсивним збільшенням посівів олійно-ефірних культур та кукурудзи, можлива через застосування органо-мінеральних добрив нового покоління [1]. Особливістю запропонованої технології полягає у створенні гранульованих твердих композитів із змінним співвідношенням мінеральних, розислюючих та гумінових речовин, яке визначається агро-екологічними та кліматично-біологічними умовами регіону їх застосування. Задані фізико-механічні властивості гранульованого

продукту  $2,0 \leq D_e \leq 4,5$  мм, міцністю  $P \geq 10$  Н на гранулу та рівномірність розподілення компонентів досягається при застосуванні техніки псевдозрідження при зневодненні рідких гетерогенних систем. Разом з тим, для стабілізації дисперсного складу гранульованого продукту частину нових центів грануляції необхідно вводити іззовні – ретур. Зазвичай підготовка ретура проводиться шляхом подрібнення великих гранул. Основною задачею є визначення розміру частинок ретуру, які визначаються динамікою зміни розмірів частинок при грануляції.

**Метою статті** є визначення впливу технологічних параметрів на ефективність подрібнення.

### **Виклад основного матеріалу.**

Середній розмір ретуру визначається, як [2]:

$$d_p = D - \lambda \cdot \tau_{сер},$$

де  $D$  – еквівалентний діаметр частинки в шарі, мм;

$\lambda = \frac{dD}{d\tau}$  – середня швидкість росту гранул, мм/год;

$\tau_{сер} = \frac{1}{K}$  – середній час перебування гранули в щарі, год;

$K$  – константа вивантаження, 1/год;

$$K = \frac{G_1}{G_m},$$

$G_1$  – масові витрати сухих речовин що надходять до апарату з рідкою фазою, кг/год;

$G_m$  – маса шару в апараті, кг.

Загальна робота, затрачена на подрібнення гранули до розміру  $\frac{D}{d_p}$

визначається залежністю [3]:

$$A_{заг} = \frac{3\sigma^2 D^3}{2E} (m - 1),$$

де  $\sigma$  – межа міцності гранули (границя міцності матеріалу гранул), МПа;  $D$  – розмір гранул, м;  $E$  – модуль пружності матеріалу гранули, Па;  $m$  – кількість шматків, які утворюються після подрібнення.

Робота, затрачена на подрібнення із врахуванням руйнівного зусилля визначається залежністю [3]:

$$A_{zag} = P''R,$$

де  $P''$  – сила, яка прикладається до гранули при подрібненні (руйнівне зусилля);  $R$  – радіус ножа.

Відповідно потужність, яка витрачається на подрібнення [3]:

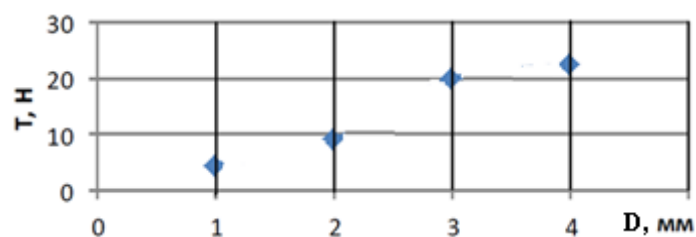
$$N = \frac{A_{zag}z \cdot n}{60},$$

де  $z$  – кількість ножів;

$n$  – частота обертання, 1/хв.

Для перевірки наведених припущень проведено експериментальні дослідження.

На спеціально розробленому стенді були визначені руйнівні зусилля, які необхідні для подрібнення гранул. За результатами експериментів визначення руйнівного зусилля були побудовані залежність, зображена на рис. 1.



**Рис. 1 – Залежність міцності гранул подрібнюваного матеріалу від діаметру**

Мінімальна міцність гранул з середнім діаметром розміром 1 мм становить 4,9 Н на гранулу. При збільшенні діаметру частинок фракції 2 мм руйнівна сила збільшується до 9 Н, рис. 1, що повністю відповідає

вимогам нормативів міцності до гранульованих добрив. Для фракції +3,0 мм і +3,5 мм величина руйнівного зусилля практично не змінюється. Це пояснюється тим, що за технологією організації процесу зневоднення гранули цих фракцій підлягають подрібненню.

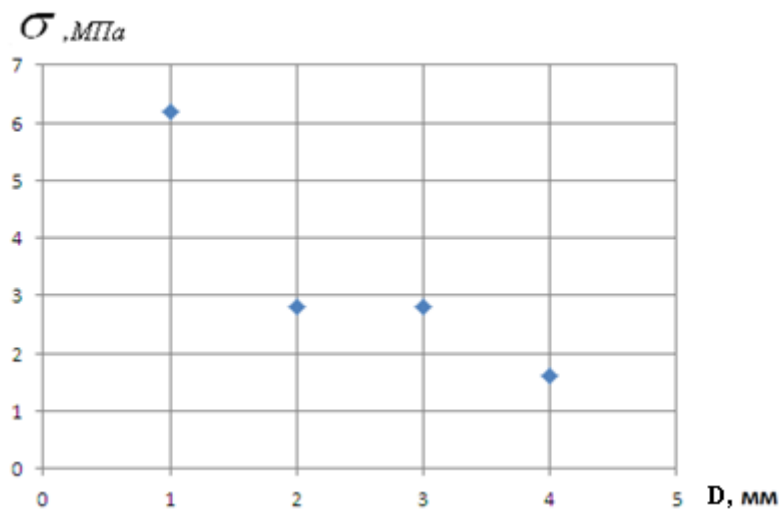
Але якщо визначити межу приведеної міцності на стискання, як

$$\sigma_i = \frac{T}{F_{np}}$$

де  $T$  – сила, що призводить до руйнування гранули;  $F_{np}$  – площа перерізу гранули, розташована перпендикулярно до вектора дії сили  $T$ .

$$F_{np} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Залежність значення межі міцності гранул при стисненні від діаметру зображено на рис. 2.



**Рис. 2 – Значення межі міцності гранул подрібнюваного матеріалу від діаметру**

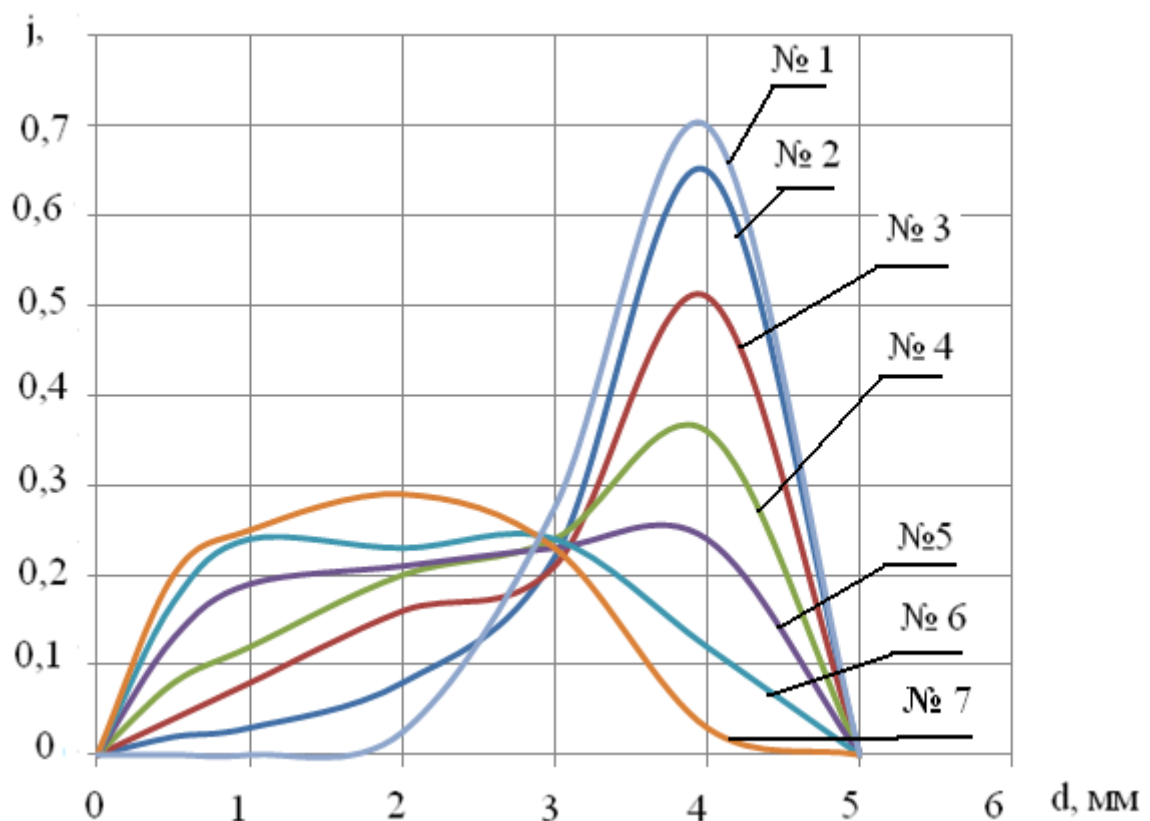
Таким чином із збільшенням діаметру межа міцності гранул зменшується, що зумовлює зменшення затрат енергії при подрібненні.

Досліди проводились на дисмембраторі, що містить 4 ряди пальців, які розташовані по колах з діаметром 0,07 м (13 пальців), 0,09 м (23 пальці), 0,11 м (30 пальців) та 0,13 м (36 пальців).

В якості матеріалу, який підлягає подрібненню, використовувалась фракція +4,0 мм гранульованого сульфату амонія з домішками гуматів, фосфору, калію та кальцію.

В дослідах визначалось вплив параметрів проходження матеріалу через вибраний дисембратор.

Результати подрібнення у вигляді масового розподілу наведено на рис. 3.

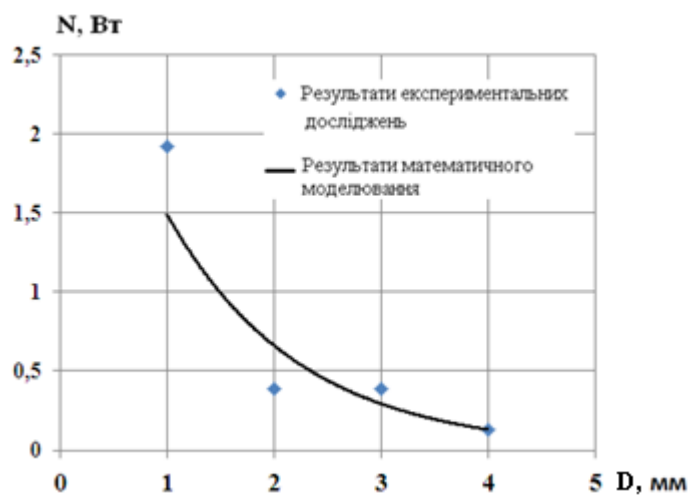


№ 1 – зразок до подрібнення; № 2 – зразок подрібнювався 1 раз; № 3 – зразок подрібнювався 2 рази; № 4 – зразок подрібнювався 3 рази; № 5 – зразок подрібнювався 4 рази; № 6 – зразок подрібнювався 4 рази; № 7 – зразок подрібнювався 5 разів;

**Рис. 3 – Вплив кількості циклів подрібнення на масове розподілення матеріалу подрібнених гранул**

Відповідно, для того, щоб гранули роздрібнити повністю, необхідно піддати їх цикловому подрібненню з подальшим вилученням із подрібненого матеріалу гранул певних фракцій. Як видно з графіка, щоб подрібнити гранули фракції  $> 4$  мм до необхідного фракційного складу їх необхідно піддати повторному подрібненню 6 разів. Для кращого подрібнення гранули малої фракції, які досягли необхідного розміру, потрібно вилучати з подрібненого матеріалу.

Перевірка математичної моделі на адекватність зображена на рис. 4.



**Рис. 4 – Графік залежності затраченої потужності від розміру гранул**

На графіку зображено залежності потужності, яка затрачена на подрібнення, що визначена за результатами математичного моделювання та експериментальних досліджень.

За результатами досліджень отримано залежність витраченої на подрібнення енергії в залежності від розмірів гранул, Вт:

$$N = 3,3635 \cdot \exp(-0,813 \cdot D),$$

де  $D$  – діаметр частинок, м.

Похибка між теоретичним і експериментальним результатами досліджень склала 11,2%.

Отримана залежність дає можливість проводити проектні розрахунки для визначення витраченої на подрібнення енергії в залежності від розмірів гранул.

**Висновки.** Середні розміри гранул знаходяться в межах  $D_e = 2,5...3,0 \text{ мм}$ , а фракція  $+1,0 \text{ мм}$  не повинна перевищувати 5%, подрібненню підлягають фракції більше  $+3,0 \text{ мм}$ .

### **Література:**

1. Корнієнко Я.М., Куріньовський О. В. Актуальність виробництва органо-мінеральних гумінових добрив Збірник тез доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання" (20-21 листопада 2014р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: НТУУ «КПІ», 2014.– 110с.
2. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / Касаткин А.Г. — 10-е изд., стер. — М.: ООО ТИД «Альянс», 2008.
3. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / Иоффе И. Л. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.