

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Вступ.

Важливою проблемою сучасних світових економічних відносин продовжує залишатися продовольча проблема, яка пов'язана із зростанням чисельності населення планети. Одним з варіантів розв'язання проблеми може стати підвищення врожайності на одиницю оброблюваної площі за рахунок використання високоефективних мінеральних добрив.

В останні роки почався випуск нового висококонцентрованого нітроген - фосфорного добрива NPS 10: 40: 5. Дане добриво містить в своєму складі нітроген амонійний, фосфати, сірку, а також додатково збагачене макроелементом кальцію.

Синтезоване мінеральне добриво характеризується високою агрохімічною ефективністю, його внесення в агрохімічної дозі забезпечує підвищення врожайності на 25-30%. Широкомасштабний випуск даного добрива стримується високою собівартістю продукції, пов'язаною з низькою ефективністю і неможливістю одержання продукції необхідного фракційного складу.

У зв'язку з цим є необхідність в розробці науково обґрунтованих рекомендацій для підвищення енергоефективності технологічної схеми і основного обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Процес гранулоутворення фосфоровмісних мінеральних добрив складається з двох основних стадій – пульпоутворення та гранулювання.

Гранулоутворення являє собою поєднання фізико-хімічних та фізико-механічних процесів, що забезпечує утворення часток певного розміру, форми, структури та фізичних властивостей. Загалом, процес одержання добрив включає наступні технологічні етапи: підготовку сировини; пульпоутворення; гранулювання (агломерація, ламінування, окатування, кристалізація, сушіння, ущільнення, полімеризація і т. д.); сортування (сепарація за розміром частинок) і фрагментація основних фракцій з подальшим виділенням товарного продукту [1].

На зростання гранул на стадії пульпоутворення впливають кристалізаційні і агломераційні процеси. Сам агломераційний процес протікає на стадії гранулювання, але основою для його протікання закладається на взаємодії початкових компонентів. Так вологість пульпи, як джерело агломерації формується з початкової вологості сировини та температурного режиму. В основу кристалізаційного процесу закладені різні умови протікання хімічних реакцій для одержання різних солей: співвідношення вихідних компонентів, температурний режим, інтенсивність змішування та інші.

В процесі гранулювання проявляються майже всі відомі види фізико-механічних та фізико-хімічних зв'язків між частинками [2]. Існують такі сили, діючі на частинки при зростанні та формуванні гранул: капілярні та поверхнево-активні сили на границі розділу твердої і рідкої фаз; адгезійні сили, що виникають в адсорбованих шарах; сили тяжіння між твердими частинками; сили зв'язку, зумовлені утворенням матеріальних містків, що виникають при спіканні.

Відомі способи гранулоутворення [3] в основному забезпечують одержання готового продукту із заданими якісними показниками (гранулометричний склад,

міцність гранул, злежуваність, розсипчастість, пилимість тощо). У разі посилення якісних показників продукту доводиться шукати прийоми і методи вдосконалення відомих процесів гранулювання та розробляти нові, більш ефективні способи.

Існують загальні принципи підходу до вибору ефективних методів гранулоутворення залежно від агрегатного стану та фізичних властивостей вихідних речовин [4].

Однією з основних стадій процесу одержання фосфоровмісних добрив є процес пульпоутворення - розкладання фосфатної сировини сірчаної та фосфорної кислотою з подальшою нейтралізацією аміаком [5].

Одним з важливих параметрів на цій стадії є співвідношення рідкої та твердої фаз. Це співвідношення у краплі залежить від температури, вологості і хімічного складу пульпи. При надлишку рідини на поверхні частинок (причиною може бути велика локальна висока вологість або температура матеріалу) сили поверхневого натягу виявляють більше сил, що забезпечують взаємний рух частинок, при цьому і відбувається їх злипання. При подальшому зникненні рідкої фази в процесі сушіння або охолодження утворюються кристалічні містки, які міцно зв'язують шматочки агломерату між собою. Якщо кристалізації не відбувається, то при досить інтенсивному русі частинок агломерати руйнуються з утворенням вихідних часток. Аналогічний процес відбувається, якщо утворюється недостатня кількість кристалів і зв'язок між частинками агломерату неміцний.

Другою стадією одержання гранульованих фосфоровмісних добрив є процес гранулювання, який відбувається в барабанному грануляторі – сушарці (БГС) при зіткненні пульпи з «завісою», що складається з дрібних частинок готового продукту.

При потраплянні краплі рідини на поверхню відбувається деяке розтікання краплі, повільне її нагрівання і випаровування, в процесі якого плавно знижується температура гранули. Після випаровування розчину утворюється міцний нарост, що збігається за формою з краплею.

З підвищенням температури товщина міцної основи і розміри окремих наростів зменшуються. При співвідношенні розмірів краплі і гранули 1:1 відбувається обтікання гранули розчином для всіх досліджених температур, а надлишкова кількість розчину стікає з гранули [6].

Подальше підвищення температури викликає збільшення на гранулі речовини, яка наростає і утворення пористої поверхні, яка легко очищається.

Слід зазначити, що ці висновки одержані на основі аналізу взаємодії одиничних крапель і гранул. У реальних процесах це взаємодія ускладнене можливістю одночасного контакту гранули з декількома краплями, передачі частини рідини з однієї гранули на інші при їх контакті і терті, обертанні гранул, охолодженні їх агентом, який розпилює. Знання характеру взаємодії крапель і гранул, хоча і допомагає виявити фактори, що впливають на процес, але не дає однозначного пояснення закономірностей росту гранул в рухомому шарі і ускладнює опис інтенсивності тепло - і масообміну в реальному процесі.

Тому в кожному конкретному випадку потрібні або експериментальні дослідження або дослідження методом математичного моделювання, використання якого дасть можливість знайти нові значення технологічних параметрів, що дозволить збільшити вихід основної фракції добрив з вирішенням питань енергозбереження.

Мета роботи.

Провести математичне моделювання процесу одержання мінеральних добрив для визначення оптимальних технологічних параметрів.

Основна частина.

Математичне моделювання процесу проводилося на базі розробленої раніше математичної моделі [7]. Розробка моделі і математичне моделювання процесу проводилось з використанням теорії нечітких множин [8, 9].

Використання теорії нечітких множин для формалізації залежності коефіцієнта гранулоутворення від формуючих його факторів дає можливість отримати наступні переваги:

- оперувати з нечітко заданими вхідними параметрами (дані параметри можна уявити у вигляді діапазону можливих значень або які неможливо визначити однозначно в силу постійного впливу на них інших факторів); інформаційним забезпеченням побудови моделі шуканої залежності служить набір статистичної інформації, який визначає значення результативного показника – коефіцієнта гранулоутворення, при зміні одного з факторів при одночасній підтримці на постійному рівні інших параметрів;

- використовувати при проведенні математичної формалізації шуканої залежності нечітко заданих критеріїв оцінки відповідності між основними факторами і коефіцієнтом гранулоутворення; дана перевага дозволяє представити математичну модель шуканої взаємозв'язку у вигляді системи нечітко заданих величин, коли визначеного діапазону деякого фактору ставиться у відповідність функція його впливу на результативний ознака - коефіцієнт гранулоутворення;

- моделювати основні закономірності та взаємозв'язки досить складних динамічних систем шляхом їх формалізації на основі використання нечітко заданих величин, що є неможливим з допомогою точних значень вхідних факторів;

- отримати розподіл можливих значень коефіцієнта гранулоутворення в залежності від діапазону можливих значень кожного з факторів формування даного результативного показника, а також провести якісну оцінку як вихідних даних, так і нечітких отриманих результатів моделювання даного процесу.

Були визначені залежності коефіцієнта гранулоутворення (результативний ознака моделі) від розрідження в БГС, діаметра крапель розпилюючої пульпи, температури на виході з апарату БГС, співвідношення оксиду кальцію та сірчаного ангідриду, співвідношення оксиду фосфору та сірчаного ангідриду, а також вологості пульпи (величин факторних ознак).

Математична модель представлялася у вигляді залежностей окремих параметрів на коефіцієнт гранулоутворення із зазначенням діапазонів значень, в межах яких записані рівняння залишаються справедливими.

На базі математичної моделі розроблялись алгоритм і програма розрахунку процесу гранулоутворення мінеральних добрив. Програма була розроблена з використанням пакету прикладних програм MATLAB v 8.7.

В результаті математичного моделювання були отримані наступні залежності (рис. 1-6). Одночасно на відповідних рисунках наведені і результати експериментальних досліджень.

З отриманих результатів (рис. 1-6) видно, що для проведення процесу в оптимальному режимі можна рекомендувати такі технологічні параметри: співвідношення $P_2O_5 / SO_3 = 8,2-8,4$; співвідношення $CaO / SO_3 = 1,81-1,91$; вологість пульпи $W = 43,0-46,0\%$ температура сушильного агента на виході з апарату БГС, $T_{вих} = 97,0-98,5$ °C; розрідження в БГС, $P_{разр} = 0,05-0,06$ кПа; діаметр крапель розпилюємої пульпи $d_k = 0,10-0,14$ мм. У цьому випадку буде отримано максимальний вихід

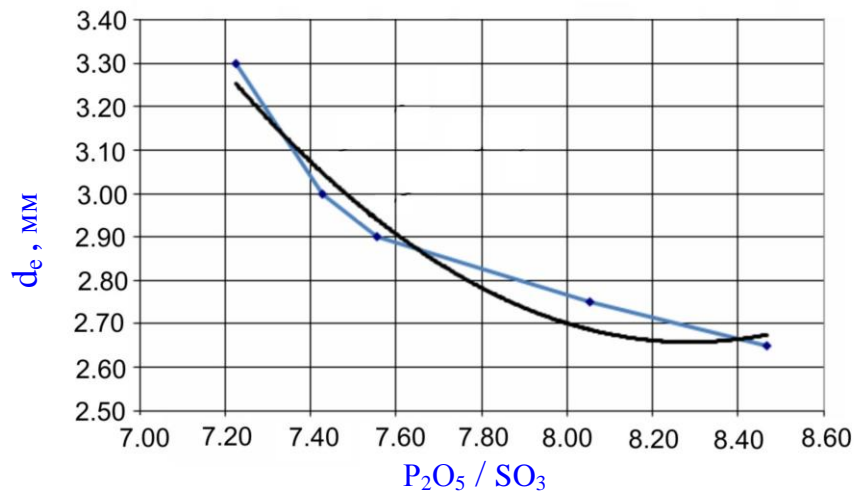


Рисунок 1 – Залежність еквівалентного діаметру гранул від P_2O_5/SO_3

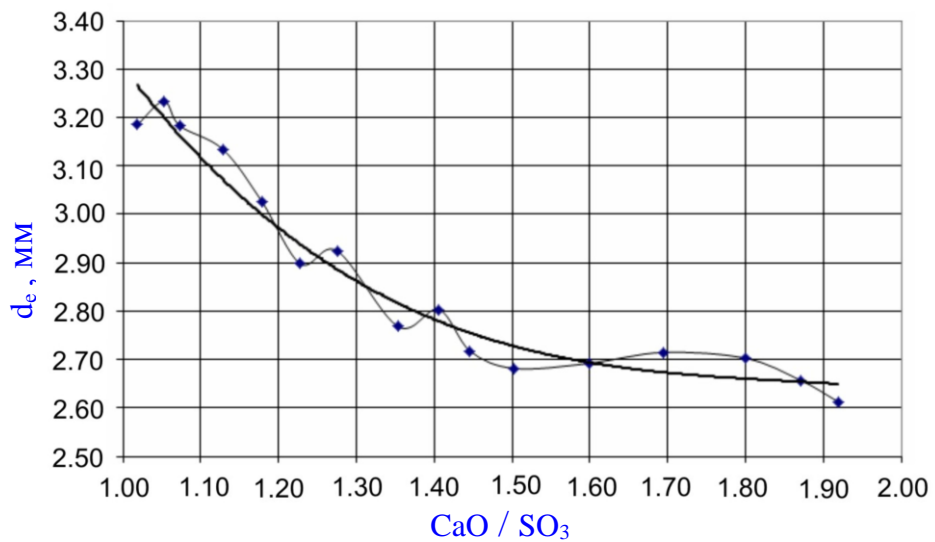


Рисунок 2 – Залежність еквівалентного діаметру гранул від CaO/SO_3

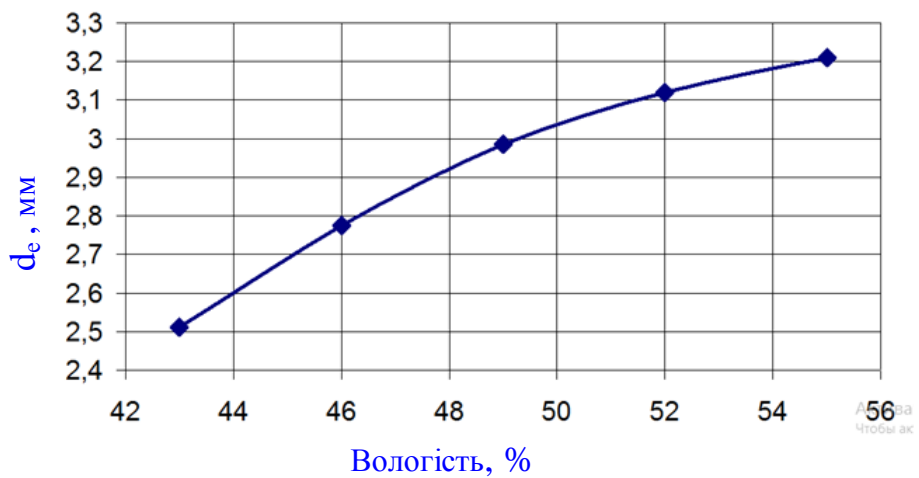


Рисунок 3 – Залежність еквівалентного діаметру гранул від вологості пульпи

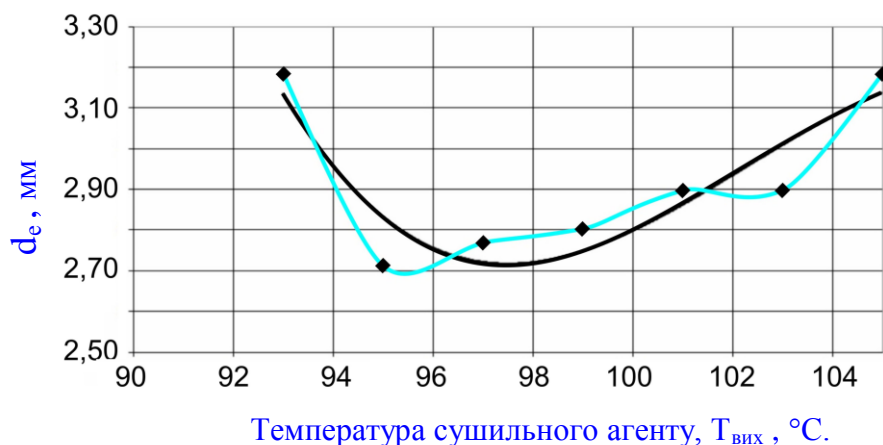


Рисунок 4 – Залежність еквівалентного діаметру гранул від температури сушильного агента

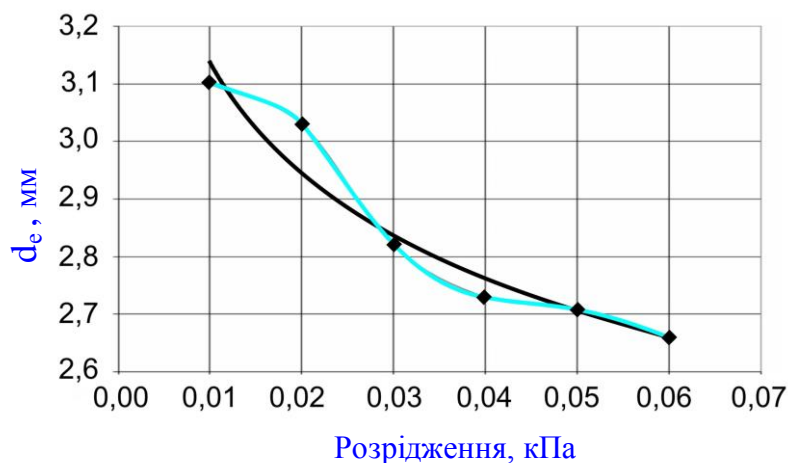


Рисунок 5 – Залежність еквівалентного діаметру гранул від розрідження у БГС

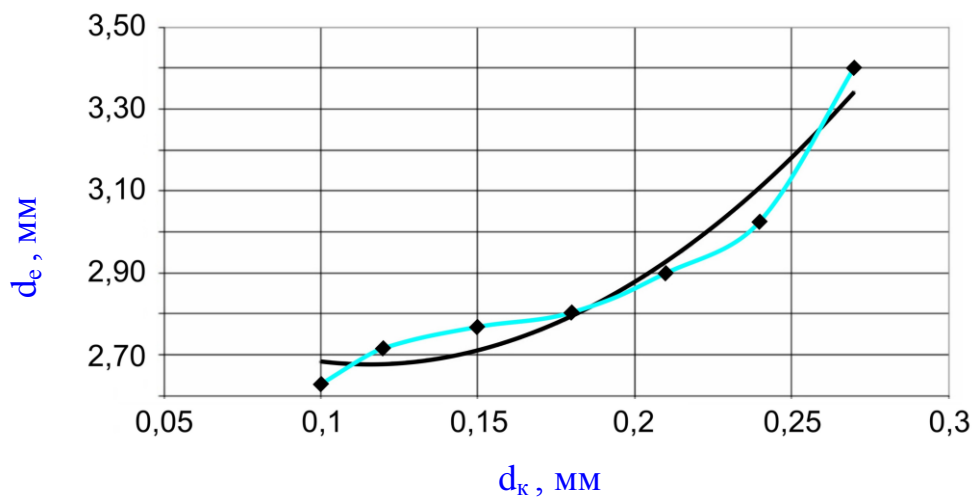


Рисунок 6 – Залежність еквівалентного діаметру гранул від діаметру крапель пульпи

товарної фракції 1,5-4,0 мм на рівні 97 %. Збільшення виходу основної фракції з 90% до 97% дає можливість повністю виключити стадії класифікації та дроблення, а значить виключити подачу зовнішнього ретура в барабанний гранулятор – сушарку.

Крім того, звівши до мінімуму вміст дрібної фракції ми мінімізуємо кількість пилу в процесі і відповідно зменшуємо навантаження на систему пилогазоочищення, тим самим вирішуючи питання екологічної безпеки виробництва.

Висновки.

Розроблено програму розрахунку процесу одержання мінеральних добрив. Наведено результати математичного моделювання даного процесу.

Розрахунки показали, що можна збільшити продуктивність установки на 30%, підвищити енергоефективність за рахунок виключення систем класифікації, подрібнення і транспортування зовнішнього ретура на 15%.

Література

1. Вилесов Н.Г. Процессы гранулирования в промышленности. / Н.Г. Вилесов. – К.: Техника, 1976. – 192 с.
2. Казакова Е.А. Гранулирование и охлаждение азотсодержащих удобрений / Е.А. Казакова. – М.: Химия, 1980. – 288 с.
3. Классен П.В. Гранулирование / П.В. Классен, И.Г. Гришаев, И.И. Шомин – М.: Химия, 1991. – 240 с.
4. Корнієнко Я.М. Виробництво гранульованих азотно-фосфорних добрив // Екотехнології та ресурсозбереження. – 2001.– № 3. – С. 35 – 39.
5. Дудка С.В. Исследование процесса пульпообразования в технологии гранулирования фосфоросодержащих удобрений марки «Суперагро NPS 10:40:5» / С.В. Дудка, В.И. Тошинский, Р.Н. Клименко // Інтегровані технології та енергозбереження. –Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – № 3. – С. 97 – 104.
6. Подгорный Н.В. Управление качеством гранулирования минеральных удобрений / Н.В. Подгорный, Я.Н. Корниенко, А.Н. Сильвестров – К.: Такі справи. – 1998. – 200 с.
7. Дудка С.В. Розробка математичної моделі і програмного забезпечення процесу гранулоутворення мінеральних добрив / С.В. Дудка, М.О. Подустов, О.М. Дзевочко, І.М. Рищенко, С.І. Кушинський // Інтегровані технології та енергозбереження, – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 1. – С. 37 – 41.
8. Раскин Л.Г. Нечеткая математика / Л.Г. Раскин, О.В. Серая / – Харьков: Парус, 2008. – 352 с.
9. Рыбин В.В. Основы теории нечетких множеств и нечеткой логики / В.В. Рыбин – М.: МАИ, 2007. – 96 с.

Bibliography (transliterated)

1. Vilesov N.H. Protsessy hranulirovaniia v promyshlennosti. / N.H. Vilesov. – K.: Tekhnika, 1976. – 192 s.
2. Kazakova E.A. Hranulyrovanie i okhlazhdenie azotsoderzhashchykh udobreni / E.A. Kazakova. – M.: Khimia, 1980. – 288 s.
3. Klassen P.V. Hranulyrovanie / P.V. Klassen, Y.N. Hryshaev, Y.Y. Shomyn – M.: Khymyia, 1991. – 240 s.

4. Korniienko Ia.M. Vyrobnystvo hranulovanykh azotno–fosfornykh dobryv // Ekotekhnolohii ta resursozberezhennia. – 2001. – № 3. – S. 35 – 39.
5. Dudka S.V. Yssledovanie protsessa pulpoobrazovania v tekhnolohii hranulyrovaniia fosforosoderzhashchykh udobrenii marky «Superahro NPS 10:40:5» / S.V. Dudka, V.Y. Toshynskii, R.N. Klymenko // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. –Kharkiv: NTU «KhPI», 2012. – № 3. – S. 97 – 104.
6. Podhornyi N.V. Upravlenie kachestvom hranulyrovania myneralnykh udobrenii / N.V. Podhornyi, Ia.N. Kornienko, A.N. Silvestrov – K.: Taki spravy. – 1998. – 200 s.
7. Dudka S.V. Rozrobka matematychnoi modeli i prohramnoho zabezpechennia protsesu hranuloutvorennia mineralnykh dobryv / S.V. Dudka, M.O. Podustov, O.M. Dzevochko, I.M. Ryshchenko, S.I. Kushynskiy // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia, – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2015. – № 1. – S. 37 – 41.
8. Raskin L.H. Nechetkaia matematika / L.H. Raskin, O.V. Seraia / – Kharkov: Parus, 2008. – 352 s.
9. Rybin V.V. Osnovy teorii nechetkikh mnozhestv y nechetkoi lohiki / V.V. Rybin – M.: MAI, 2007. – 96 s.

УДК 661.152.32

Подустов М.А., Дзевочко А.М., Дудка С.В.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Разработано программное обеспечение для расчета процесса получения минеральных удобрений с использованием пакета прикладных программ MATLAB. Приведены результаты математического моделирования данного процесса.

УДК 661.152.32

Podustov M.O., Dzevochko O.M., Dudka S.V.

MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF PRODUCING MINERAL FERTILIZERS

A software has been developed for calculating the process of obtaining mineral fertilizers using the MATLAB software package. The results of mathematical modeling of this process are presented.