

Кінетика гранулювання органічної суспензії курячого посліду

С. П. Шевець¹

¹ Сумський державний університет вул. Римського-Корсакова, 2, 4000,7 Суми, Україна

У даній роботі обґрунтовано необхідність пошуку, удосконалення та впровадження технології яка передбачає використання відходів курячого посліду з метою одержання органічних добрив. Проведено фізичне моделювання процесів гранулоутворення на діючій лабораторній установці киплячого шару. Досліджено кінетику та тепломасообмінні процеси гранулювання суспензії курячого посліду. На базі результатів експерименту побудовано гістограму розподілу частинок за розмірами в різні моменти часу протягом процесу гранулювання, а також визначено оптимальний температурний режим процесу та вплив основних робочих параметрів процесу на гранулометричний склад готової продукції. Встановлено умови формування зваженого шару та фактори, що визначають характер взаємодії суспензії з часточками. З урахуванням властивостей суспензії запропоновано структурну схему установки гранулювання органічних добрив.

Отримані результати дозволять спрогнозувати матеріальні та енергетичні витрати процесу гранулювання добрив і визначитися з оптимальними умовами проведення грануляції. Стаття ґрунтується на матеріалах О. М. Тодеса, Ю. Я. Кагановича, Н. П. Вершиніна та Р. О. Остроги наведених в роботах [1–3].

Ключові слова: Органічне добриво, Грануляція, Киплячий шар, Кінетика, Гранулоутворення, Температурний режим, Курячий послід, Суспензія.

1. ВСТУП

Останнім часом, внаслідок різкого зниження природної родючості ґрунтів, підприємці часто вдаються до інтенсивного землеробства з використанням надмірної кількості мінеральних добрив, чим значно погіршують становище.

Сучасні мінеральні добрива містять у своєму складі близько 50% живильних елементів, яких потребує рослина, а решта є забруднюючим ґрунт баластом. Разом із тим, систематичне збільшення концентрації мінеральних солей у ґрунті, призводить до знищення гумусу та накопичення в овочах шкідливих для здоров'я нітратів. Мінеральні солі руйнують структуру ґрунту, роблячи його більш щільним, а це ускладнює його взаємодію з вологою та киснем, що призводить до значного зниження його родючості.

Ще однією проблемою, яка потребує негайного вирішення, є проблема утилізації відходів птахівництва. В Україні все ще слабо розвинені технології переробки відходів сільського господарства. Не зважаючи на те, що курячий послід є високоефективним органічним добривом, у більшій мірі він не переробляється а лише накопи-

чується, тим самим становлячи загрозу екології.

Вирішити зазначені проблеми повною мірою дозволяє перехід від інтенсивного до органічного землеробства з використанням безбаластних гранульованих органічних добрив на основі курячого посліду, а тому значної актуальності набуває питання розробки та удосконалення технологій, що дозволять використовувати відходи курячого посліду в якості сировини для виробництва гранульованих органічних добрив.

2. ОПИС ОБ'ЄКТУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Формулювання цілей роботи

Метою проведеної роботи, було дослідження механізму утворення та кінетики росту органічних гранул у киплячому шарі та встановлення оптимальних режимно-температурних параметрів гранулювання суспензії курячого посліду.

Об'єктом дослідження є процес сушки та грануляції курячого посліду в апараті киплячого шару з форсунковим розпиленням.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Дослідити механізм гранулоутворення в апараті киплячого шару.
2. Встановити оптимальний температурний режим проведення процесу грануляції.
3. Експериментально дослідити кінетику росту гранул у киплячому шарі та отримати гістограму масових кривих розподілу.
4. Запропонувати апаратурне оформлення промислової лінії виробництва гранульованих органічних добрив.

2.2 Вибір конструкції гранулятора киплячого шару

Курячий послід – являє собою рідкий продукт життєдіяльності птахів, він містить в своєму складі як органічні, так і мінеральні речовини. В залежності від способу прибирання відходів на птахофабриках отримують послід різного ступеня вологості. При механічному прибиранні отримують безпідстилковий послід з вологістю 65-70% або напіврідкий з вологістю 90-95%, при гідрозмиві – стічні води, вологість яких перевищує 95%.

З огляду на високу вологість та природну липкість курячого посліду найбільш доцільним буде проводити грануляцію в апараті киплячого шару з форсунковим розпиленням.

Існує велика кількість різноманітних конструкцій апаратів киплячого шару, які класифікуються за формою корпусу, кількістю секцій, способом підводу тепла, місцем розміщення та конструкцією форсунки та пристрою для вивантаження готового продукту.

В циліндричних апаратах відбувається рівномірне по всьому перерізу псевдозрідження, а тому вони успішно можуть застосовуватися для грануляції речовин з високою липкістю. Оптимальною схемою подачі суспензії в апарат є схема з горизонтальною подачею суспензії в киплячий шар, яка дозволяє зменшити винесення продукту висхідним потоком повітря, створити необхідні умови для розвитку факела та збільшення поверхні зрошення. При виборі форсунки було вирішено надати перевагу пневматичній форсунці, вона забезпечує тонке та рівномірне розпилення суспензії під тиском повітря. Вивантаження гранул краще всього проводити з рівня газорозподільчої решітки, це дозволяє в першу чергу виводити з апарату гранули товарного розміру.

2.3 Опис експериментальної установки

Фізичне моделювання процесу грануляції проводилося на лабораторній установці киплячого шару (рис. 1). Суспензією для зрошення



Рис. 1 – Експериментальна установка гранулювання органічних добрив

слугувала суспензія курячого посліду. В якості затравки використовувалися завчасно приготовані дрібні гранули курячого посліду.

Основним апаратом в лабораторній установці був гранулятор киплячого шару, який для покращення візуалізації процесів виконаний з прозорого пластику. В стінку апарата вмонтована пневматична форсунка до якої через патрубки підводиться стиснене повітря з тиском 4-6 атмосфер для підтримання стабільної зони зрошення в апараті та рідкий курячий послід. Верхня частина корпусу гранулятора має розширення яке забезпечує зниження швидкості висхідного потоку повітря, тим самим забезпечуючи сепарацію краплин суспензії та повернення їх в зону зрошення. Для видалення неприємного запаху у верхній частині гранулятора встановлено алюмінієву гофровану трубу яка з'єднана з вентиляційно-витяжною системою. “Кипіння” шару гранул над газорозподільчою решіткою апарату забезпечувалося нагнітанням повітря з газодувки за встановленим швидкісним режимом. Нагрівання теплоносія забезпечувалося електрокалорифером.

Перед розпиленням в апарат, послід попередньо проходив три стадії подрібнення на лабораторному млині (рис.2), де здійснювалося перетирання твердих включень: корму птиці, залишків соломи тощо.

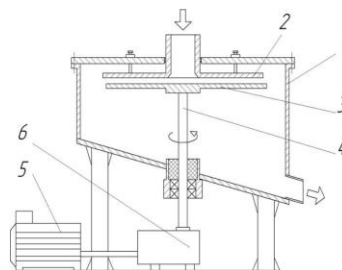


Рис. 2 – Схема млина: 1 - корпус; 2 – нерухомий диск; 3 – рухомий диск; 4 – вал; 5 - електродвигун; 6 – редуктор

Тиск повітря в форсунці забезпечувався роботою компресора.

2.4 Аналіз механізму утворення гранул в апараті киплячого шару

Механізм гранулоутворення напряму впливає на ефективність процесу гранулювання, в свою чергу він залежить від апаратного оформлення лінії виробництва органічних гранульованих добрив, методів гранулювання, властивостей суспензії та режимів проведення процесу. Сутність методу гранулювання суспензії в апараті киплячого шару полягає в імпульсному розпиленні за допомогою форсунки на поверхню твердих частинок суспензії, яка розтікається та покриває часточки у вигляді тонкої плівки і наступному випаровуванні розчинника за рахунок підводу тепла в апарат. При цьому на поверхні гранули утворюється твердий, викристалізований шар органічної речовини. При багаторазовому повторенні циклів нанесення та сушки суспензії утворюється багатшарова гранула сферичної форми розмірами 2,5-4,0 мм.

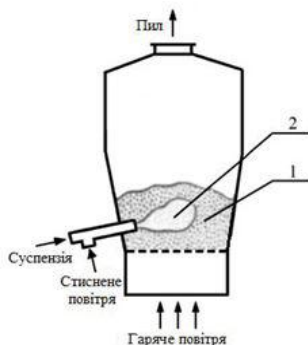


Рис. 3 – Схема і потоки гранулятора: 1 – зона сушіння гранул; 2 – зона зрошення.

В об'ємі апарату за рахунок подачі повітря з встановленою швидкістю під розподільчу решітку, створюється зона “киплячого” шару (довжиною 15-20 см), яка обмежена з боків стінками апарату, а знизу газорозподільною решіткою. При роботі апарату гранули мають змогу підніматися на деяку висоту - в зону зрошення, де після покриття гранули плівкою суспензії, за рахунок збільшення ваги вони опускаються вниз – в зону сушки, де температура повітря на порядок вище, після осушки гранула збільшує свої розміри та зменшує вагу і під впливом повітряного потоку знову підіймається у зону зрошення.

Суспензія в зону зрошення подається за допомогою пневматичної форсунки, механізм роботи якої передбачає розпил суспензії за рахунок

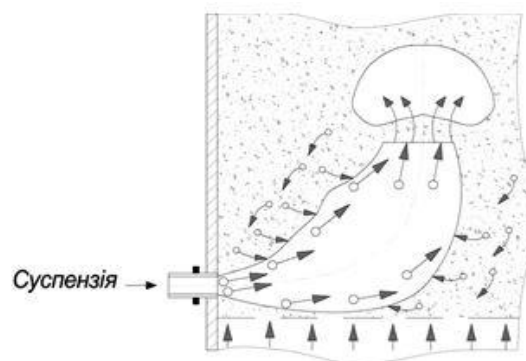


Рис. 4 – Ідеалізована модель роботи форсунки

подачі повітря під тиском. При розпилі суспензії в апараті утворюється порожнинна зона вільна від гранул, в яку й розпилюється суспензія.

Різні параметри не однаковою мірою впливають на хід гранулоутворення, а залежать від особливостей процесу, зокрема від механізму гранулоутворення. Наприклад, середній час перебування продукту в шарі та швидкість псевдозрідження за умови безперервності процесу не впливають на розмір гранул. Проте, при зменшенні швидкості зріджуючого агента зменшується число циклів нагрівання та охолодження гранули, що призводить до погіршення інтенсивності перемішування. А при зменшенні часу перебування товарної гранули в шарі, зменшується ефект від теплового дроблення, що призводить до зниження кількості утворюваних при тепловому дробленні нових частинок, без необхідної кількості яких неможливе проведення грануляції в безперервному режимі. Отже при зменшенні середнього часу перебування продуктів у шарі та зменшенні швидкості зріджуючого агента при тепловому дробленні в режимі безперервного процесу відбувається зростання діаметра гранул, та зменшення утворення нових частинок [1].

Як бачимо, для забезпечення потрібного гранулометричного складу та безперервності протікання процесу необхідно регулювати кількість утворюваної дрібної фракції.

Механізм гранулоутворення залежить не тільки від кількості поданої суспензії, а й від часу розтікання плівки суспензії по поверхні гранули. Оскільки швидкість розтікання суспензії залежить від властивостей та природи речовини, то зміна технологічних параметрів зводиться до керування температурними режимами грануляції.

Від часу розтікання краплі суспензії по поверхні гранули залежить й характер гранулоутворення: при недостатній для видалення вологи

кількості підведеного тепла (низькій температурі) гранула залишається вологою. При високій температурі волога видаляється з краплі суспензії, яка не встигла повністю розтектися по поверхні гранули, при цьому утворюються нерівномірні нарости органіки, а також виникає небезпека її пригорання. При оптимально підібраній температурі суспензія потрапляючи на гранулу повністю розтікається і покриває її поверхню, а після випаровування розчинника утворює рівномірну сферичну оболонку [3].

Розмір та форма утвореного наросту органіки залежать від текучості рідини та поверхневого натягу, відношення розмірів краплі суспензії та гранули, шорсткості та змочуваності поверхні гранули. Чим крупніша крапля, більша її текучість, менше інтенсивність видалення рідини, гладкіша поверхня гранули, тим більш ймовірний ріст гранул по поверхні.

Висновки щодо закономірностей росту гранул, отримані на підставі аналізу взаємодії однієї гранули з краплею та не дають точного пояснення закономірностей росту гранул в киплячому шарі через складність взаємодії частинок та крапель суспензії між собою. Насправді ж, в апараті існує безліч факторів які неможливо врахувати, але які визначають закономірності росту гранул, наприклад: контакт гранул між собою, зрошення гранули одночасно декількома краплями, перетікання крапель з гранули на гранулу, тертя та обертання гранул в шарі, контакт гранул зі стінкою апарату.

Лабораторний експеримент показав, що при використанні в якості зрошувальної суспензії рідкого курячого посліду розтікання плівки по поверхні гранули не завжди відбувається рівномірно, а отже не можна априорно приймати гіпотезу про рівномірно-поверхневий механізм росту гранул в апараті.

2.5 Визначення температурного режиму процесу грануляції

Для вимірювання температури повітря в киплячому шарі використовували самописний потенціометр (типу КСП-4). Датчики термопар мають вигляд трубок довжиною 6 см та діаметром 0,2 см на їх кінцях розміщений хромель-копелевий спай з дротів діаметром 0,01 см. Термопара має малу теплосмність, що дозволяє провести вимірювання в умовах змінних температур за час виконання дослідів [3].

Під час проведення лабораторних досліджень, в прирешіточній зоні гранулятора регулювання температур відбувалося в межах 60-110°C, тоді температура повітря в зоні зрошення

становила близько 40-80°C. Зниження температури в зоні зрошення викликано постійним вводом вологи з суспензією яка випаровується відбирає тепло. Змінюючи температуру повітря під решіткою встановлювали потрібну температуру в шарі матеріалу.

Дослідження структури гранул проводили наступним чином, попередньо підготували сталю трубку діаметром Ø25x2,5мм яка слугувала формою для закладання гранул. Гладку скляну поверхню натерту воском підкладали під створену форму, трубку з гранулами заливали на 2 дні сумішшю епоксидної смоли з отверджувачем в заданій пропорції. Через 2 дні трубку з гранулами від'єднували від скляної поверхні та сточували на шліфувальному верстаті до появи потрібного зображення зрізів, після чого, зрізи досліджували під мікроскопом.

Під час проведення експериментальних досліджень на установці киплячого шару було визначено три температурні режими приросту гранул: зі зростанням гранул в часі (оболонковий режим рис. 5.а) якому відповідає температура повітря в киплячому шарі 60-70°C, зі збільшенням розміру існуючих та утворенням нових частинок (оболонковий з тріщинами рис. 5.б) якому відповідає температура повітря шару 70-80°C, та без зміни розмірів гранул у часі завдяки утворенню нових частинок з крапель суспензії в повітрі (рис. 6.в) якому відповідає температура повітря в шарі гранул 80-90°C.

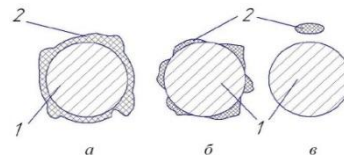


Рисунок 5 – Режимы роста гранул: а – оболонковий; б – оболонковий з тріщинками; в – з утворенням нових центрів грануляції; 1 – органічне ядро; 2 – зневоднена складова суспензії

При забезпеченні температури в шарі гранул в межах 70-80°C одночасно спостерігали два процеси - збільшення розмірів існуючих гранул та утворення нових зародків грануляції за рахунок теплового розтріскування та відколу частинок органічного матеріалу від крупних гранул.

Між тепловим розтріскуванням гранул і температурою повітря в шарі спостерігається пряма залежність, так при температурі киплячого шару 70°C суспензія органіки розтікається по поверхні гранули та активно випаровується, новоутворена органічна оболонка гранули при цьому температурному режимі має високу міцність, поверхня порита дрібними тріщинками а в деяких місцях присутні сколи матеріалу, з яких утворюються

нові зародки грануляції. Поряд з процесами утворення нових центрів грануляції відбувається інтенсивне нарощення розмірів існуючих гранул.

При виборі в якості робочої - температури 80°C спостерігається інтенсифікація процесу випаровування вологи з суспензії, проте органічна оболонка піддається ще більшому тепловому розтріскуванню. Оболонка гранули отримує глибокі тріщини та велику кількість сколів органічного матеріалу. Така гранула має низьку статичну міцність та щільність, волога з пористої гранули вивільняється швидше, а отже гранула не володіє пролонгованою дією та значно швидше розчиняється водою.

2.6 Дослідження кінетики росту гранул

Експериментальні дослідження кінетики росту гранул у киплячому шарі проводилися на лабораторній установці за режимно-технологічних параметрів наведених у таблиці 1.

Таблиця 1 – Режимно-технологічні параметри гранулювання суспензії курячого посліду на лабораторній установці

Витрата суспензії (курячий послід), мл/хв	25
Середньозважений діаметр гранул затравки, мм	1,8
Швидкість повітря, м/с	5,1
Гідравлічний опір, Па	
Температура повітря під решіткою, °С	85
Температура повітря в шарі дисперсного матеріалу, °С	70

Перед початком дослідження за методом ситового аналізу з використанням 6 сит з отворами заданих діаметрів проводився гранулометричний аналіз затравочних часточок. Спочатку наважка вихідного матеріалу завантажувалася на сито з отворами найбільшого діаметру – 3,5 мм та розділялася на залишок та прохід. Часточки що не пройшли через отвори сита (залишок) зважувались на вагах, а прохід в свою чергу аналогічно розділяли на ситах меншого розміру. Матеріал пройшовши почергово сита з діаметрами отворів 3,5; 3; 2,5; 2; 1,5 та 1 мм зважувався, таким чином було визначено масовий вміст кожної з фракцій.

Дослід проводився наступним чином, навіску органіки вагою 500г завантажували на поверхню газорозподільної решітки, після чого вмикалася

газовування а після виходу газодувки в робочий режим коли швидкість висхідного потоку забезпечувала киплячий шар вмикали калорифер. За допомогою компресора в пневмофорсунку нагніталось повітря з тиском 4-6 атм. В цей час розпочинали подачу в форсунку суспензії. Через кожні 20 хвилин процес зупиняли та проводили ситовий аналіз. Кінцеві гранули попереднього процесу були вихідними для кожного послідовного.

3. ОПИС ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Розробка апаратного оформлення промислової лінії виробництва гранульованих органічних добрив

Одним із завдань роботи була розробка апаратного оформлення виробництва гранульованих органічних добрив з суспензії курячого посліду. Пропонована структурна схема виробництва гранульованих органічних добрив (рис 6) передбачає подачу в апарат затравочного матеріалу через відповідний приймач.

Рідкий послід попередньо проходить три стадії подрібнення у млині 1. Подрібнена гомогенна маса суспензії пройшовши знезараження від патогенного середовища та насіння бур'янів в кавітаторі 16 [2] накопичується в ємності 2, яка обладнана перемішуючим пристроєм. Далі, за допомогою насоса 3, суспензія курячого посліду потрапляє в мірний бак 4. З мірного баку суспензія самопливом надходить в насос-дозатор 5 в якому дозується і подається через пневматичну форсунку в гранулятор киплячого шару 6 де й відбувається покриття часточок суспензією.

Повітря з вулиці забирається газодувкою 7 та продувається через калорифер 8 за рахунок чого підігрівається до температури 120°C. Температура під газорозподільною решіткою підтримується в межах 100-110°C, що відповідає температурі в шарі гранул 70°C. Швидкість повітря підтримується сталою для забезпечення «киплячого шару» гранул над газорозподільною решіткою. Компресор 14 нагнітає повітря в ресивер 15 в якому воно накопичується під тиском 4-6 атм, після чого подається в пневмофорсунку для забезпечення розпилу суспензії в шар гранул.

З рівня решітки організовано постійний відбір гранул. Відібрані гранули потрапляють у пневмокласифікатор 9, в якому відбувається розподіл гранул на товарну і дрібну фракції. За допомогою газодувки 11 дрібні гранули по трубопроводу повертаються в киплячий шар на дорошування, а товарні – виводяться та накопичуються у збірнику готових гранул 10.

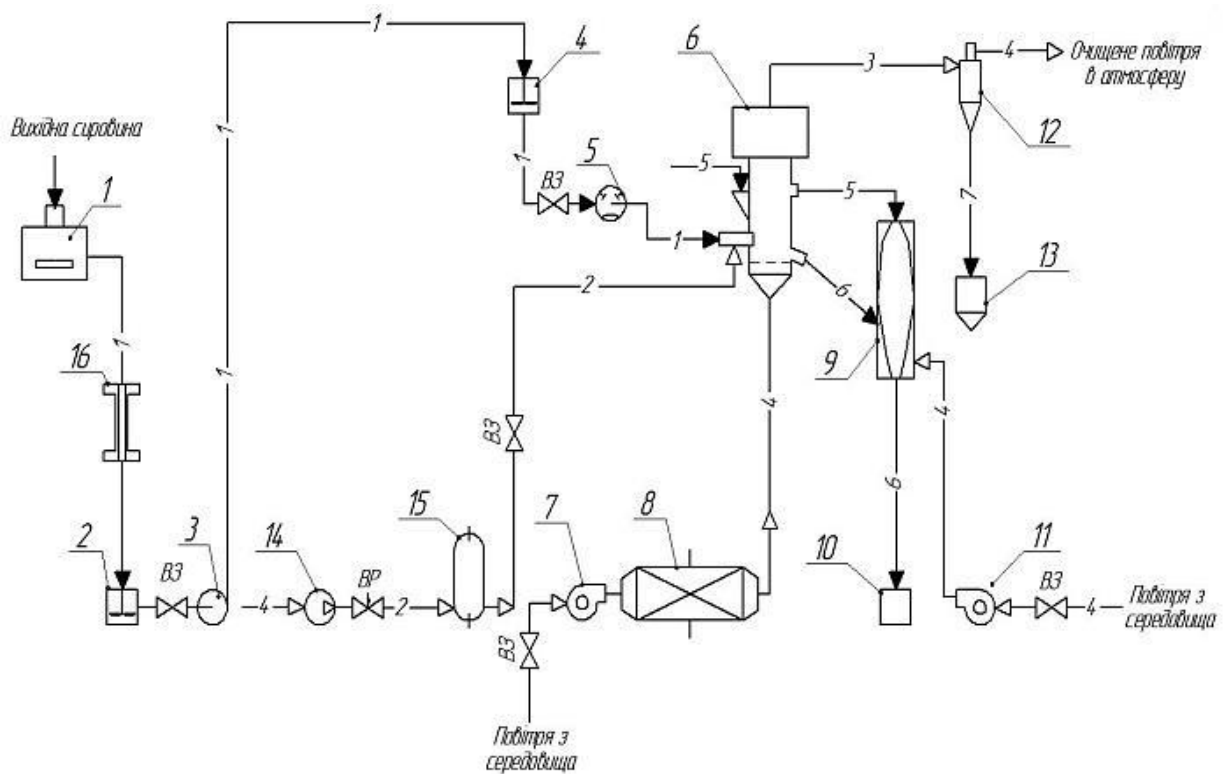


Рисунок 6 – Структурна схема блоку покриття гранул мінеральних добрив суспензією курячого посліду: 1 – дисковий млин; 2 – ємність робочої речовини; 3 – насос робочої речовини; 4 – мірний бак; 5 – насос-дозатор; 6 – гранулятор киплячого шару; 7 – газодувка; 8 – калорифер; 9 – класифікатор гранул; 10 – збірник гранул; 11 – газодувка; 12 – циклон; 13 – збірник пилу; 14 – компресор; 15 – ресивер; 16 – кавітатор

З сепараційної зони апарату запилене повітря надходить в циклон 12, де пил відділяється від повітря та під силою тяжіння надходить в збірник пилу 13, а очищене повітря виводиться за межі цеху.

3.2 Аналіз результатів визначення температурного режиму процесу грануляції

Експериментально визначений температурний режим (70-80°C) є оптимальним для проведення процесу грануляції в безперервному режимі з утворенням товарних гранул протягом тривалого часу, та відповідає режиму – «оболонковий з тріщинами».

Як видно зі знімків рис.7 гранули отримані при нижчій температурі мають більш якісну та щільну структуру, такі гранули володіють високою міцністю та пролонгованою дією – тобто здатністю вивільняти поживні компоненти в ґрунт протягом певного часу та не розмиватися ґрунтовими водами.

Цілком очевидно що попри можливість проведення процесу грануляції в межах проміжку температур 70-80°C, для отримання гранул ви-

сокої якості, які володіють пролонгованою дією слід дотримуватися нижнього значення температури (70°C).

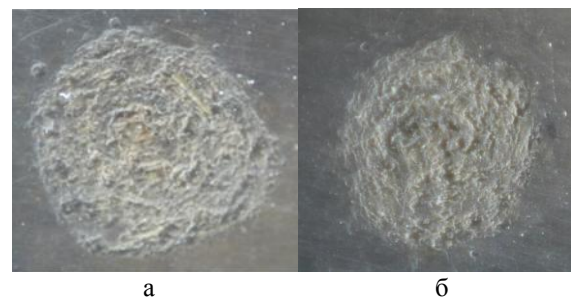


Рисунок 7 – Зрізи гранул під мікроскопом при збільшенні в 20 разів, одержані при температурі 70°C (а) та 80°C (б)

3.3 Аналіз результатів дослідження кінетики росту гранул

За результатами ситового аналізу була побудована гістограма розподілу частинок за розмірами в різні моменти часу. Як видно з гістограми, характер залежності розподілу частинок за розмірами має один видимий максимум, для заправки вміст гранул з розмірами до 2 мм складає

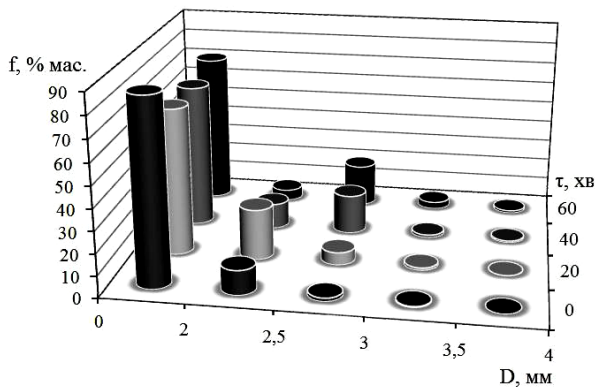


Рисунок 8 – Гістограма розподілу частинок за розмірами в різні моменти часу

86,3%, а приблизно через 40 хвилин грануляції крива розподілу отримує бімодальний характер з двома максимумами, один для гранул до 2 мм – 67,5%, а інший для гранул з розмірами 2,5–3 мм – 18,4%.

Побудована за результатами ситового аналізу гістограма підтверджує що при температурі в шарі гранул 70°C система знаходиться в стані динамічної рівноваги, тобто процес протікає в двох напрямках з укрупненням існуючих гранул та утворенням нових центрів грануляції, що забезпечує умови проведення процесу грануляції

в безперервному режимі протягом достатньо великого проміжку часу.

4. ВИСНОВКИ

За результатами експериментального дослідження було виявлено три температурні режими грануляції: “оболонковий”, “оболонковий з тріщинами”, та режим “утворення зародків грануляції”. Оптимальним для проведення процесу грануляції в безперервному режимі роботи є температурний режим “оболонковий з тріщинами” якому відповідає температура повітря в шарі киплячих гранул – 70°C. Встановлена температура забезпечує достатню для проведення процесу в безперервному режимі кількість новоутворених зародків грануляції з відколеного матеріалу крупних гранул, гарну якість та високий вихід товарної фракції, що підтверджується результатами мікроскопічного дослідження розрізів гранул та ситовим аналізом. Результати даної роботи дозволили виявити функціональну залежність між режимами роботи апарату та фракційним складом одержуваних гранул, а також виявити оптимальні режими роботи установки, що дозволить оптимізувати процес та покращити економічні показники виробництва.

The kinetics of granulation of organic chicken manure slurry

S. P. Shevets¹

¹ *Sumy State University, 2, Rimsky Korsakov Str., 40007, Sumy, Ukraine*

Need of search, improvement and implementation of technology, which provides using of waste products of a chicken manure for receiving organic fertilizers, are proved in this paper. Physical modeling of granule formation processes on the experimental apparatus of fluidized bed is carried out. The kinetics and heat-mass exchange processes of a chicken manure suspension granulation are researched. On the basis of experiment results it is constructed the histogram of particles distribution by the sizes in different timepoints during process of a granulation, and also optimum temperature mode of process and influence of the main working parameters of process on granulometric composition of finished products is defined. Conditions of weighed layer formation and the factors, that define nature of suspension interaction with particles are established. Given the properties of suspension the structural diagram of equipment of organic fertilizers granulation is offered.

The received results will allow to predict material and energy expenditure of fertilizers granulation process and to decide optimal conditions of granulation. The article is based on materials of O. M. Todes, Yu. Ya. Kaganovich, N. P. Vershinin and R. A. Ostroga and given in [1–3].

Keywords: Organic fertilizer, Granulation, Fluidized bed, Kinetics, Formation of granules, Temperature mode, Chicken manure, Suspension.

Кинетика гранулирования органической суспензии куриного помета

С. П. Шевец¹

¹ Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, 4000,7 Сумы, Украина

В данной работе обоснована необходимость поиска, совершенствования и внедрения технологии которая предусматривает использование отходов куриного помета с целью получения органических удобрений. Проведено физическое моделирование процессов гранулообразования на действующей лабораторной установке кипящего слоя. Исследована кинетика и тепломассообмен процессов гранулирования суспензии куриного помета. На базе результатов эксперимента построено гистограмму распределения частиц по размерам в различные моменты времени в течение процесса гранулирования, а также определен оптимальный температурный режим процесса и влияние основных рабочих параметров процесса на гранулометрический состав готовой продукции. Установлены условия формирования взвешенного слоя и факторы определяющие характер взаимодействия суспензии с частицами. С учетом свойств суспензии предложена структурная схема установки гранулирования органических удобрений.

Полученные результаты позволят спрогнозировать материальные и энергетические затраты процесса гранулирования удобрений и определиться с оптимальными условиями проведения грануляции. Статья основывается на материалах О. М. Тодеса, Ю. Я. Кагановича, Н. П. Вершинина и Р. А. Острога приведенных в работах [1–3].

Ключевые слова: Органическое удобрение, Грануляция, Кипящий слой, Кинетика, Гранулообразование, Температурный режим, Куриный помет, Суспензия.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. О. М. Тодес, Ю. Я. Каганович, С. П. Налимов / Обезвоживание растворов в кипящем слое / Metallurgia, 1973. – 288 с.
2. Вершинин Н. П. Установки активации процессов / Н. П. Вершинин. – Ростов-на-Дону : Инноватор, 2004. – 96 с.
3. Острога Р. А. Органические и органо-минеральные удобрения / Наукові праці ОНАХТ. Серія: Технічні науки. – 2012 – С. 242–246.

REFERENCES

1. O. M. Todes, Yu. Ya. Kaganovich, S. P. Nalimov (1973). Obezvozhivanie rastvorov v kipyashhem sloe [Dewatering of solutions in a fluidized bed], Metallurgiya.
2. Vershinin N. P. (2004). Ustanovki aktivacii processov [Setting the activation of processes], Innovator, Rostov-on-Don, Russia.
3. Ostroga R. A. (2012) Organicheskie i organo-mineralnye udobreniya [Organic and organo-mineral fertilizers] Naukovi praci ONAHT. Texnichni nauki.