

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Удосконалення процесу капсулювання гранул мінеральних добрив сапропелем з обґрунтуванням параметрів камери капсулювання»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм-21
спеціальності 208 Агроінженерія
за освітньо-професійною програмою
«Агроінженерія»

Гнатюк М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Цизь І. Є.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дацюк Л.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2024

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет

аграрних технологій та екології

Кафедра

аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса

Галузь знань

20 Аграрні науки та продовольство

Освітній ступінь

магістр

Спеціальність

208 Агроінженерія

Освітньо-професійна програма

Агроінженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса

доцент, к.т.н.

С.М.Хомич

«30» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Гнатюку Максиму Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення процесу капсулювання гранул мінеральних добрив сапропелем з обґрунтуванням параметрів камери капсулювання

керівник роботи Цизь І.Є., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом ЛНТУ від «30» грудня 2023 р. № 445/01-02

2. Термін здачі студентом роботи *20 грудня 2023 р.*

3. Вихідні дані до роботи

Тип машини - сферична;

Тривалість - від 1 до 2 год;

Продукти висіви - 2-й курс;

Зона дослідження - Воїслав, Львівщина.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

к-сть листів

- | | |
|---|--------|
| 1. Вихідні дані | 1 лист |
| 2. Теоретичні положення | 1 лист |
| 3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень | 1 лист |
| 4. Результати експериментальних досліджень | 1 лист |
| 5. Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування | 1 лист |
| 6. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова) | 1 лист |
| 7. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла | 1 лист |

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	17.06. – 01.07.2024 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	20.08 – 31.08.2024 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2024 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2024 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2024 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2024 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2024 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2024 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2024 р.	
10	Нормоконтроль	до 04.12.2024 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	04.12.– 14.12.2024 р.	

Студент

Гнатюк М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Цизь І.Є.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гнатюк М.В. Удосконалення процесу капсулювання гранул мінеральних добрив сапропелем з обґрунтуванням параметрів камери капсулювання. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і пропозицій, списку використаних джерел, додатків (згідно структури кваліфікаційної роботи, затвердженої кафедрою).

У роботі наведено результати комплексних теоретичних та експериментальних досліджень, які дозволили розробити конструкцію камери для капсулювання гранул мінеральних добрив органічним сапропелем для отримання ОМД.

Ключові слова:

Сапропель, гранула, камера капсулювання, суперфосфат, вміст, товарна фракція, вологість, кут природного відкосу.

ABSTRACT

Hnatyuk M.V. Process improving of encapsulating granules of mineral fertilizers with sapropel with parameters justification of the encapsulation chamber. Manuscript.

Master's qualification work of EP "Agricultural engineering" specialty 208 Agricultural engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024.

The master's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions and proposals, a list of used sources, appendices (according to the structure of the qualification work approved by the department).

The work presents the results of comprehensive theoretical and experimental studies that allowed developing the design of a chamber for encapsulating mineral fertilizer granules with organic sapropel to obtain OMF.

Keywords:

Sapropel, granule, encapsulation chamber, superphosphate, content, commodity fraction, humidity, angle of natural slope.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	2
АНОТАЦІЯ.....	3
ABSTRACT.....	4
ЗМІСТ.....	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Органо-мінеральних добрива: загальна характеристика та склад.....	10
1.2. Аналіз робочого процесу та конструкцій машин для гранулювання добрив.....	17
1.3. Постановка проблеми, мета та завдання дослідження.....	28
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КАПСУЛЮЮЧОГО БАРАБАНА	31
2.1. Обґрунтування конструкції пристрою для капсулювання органо- мінеральних добрив	31
2.2. Дослідження руху частинок добрив при обкочуванні в поперечному січненні камери капсулювання.....	32
2.3. Дослідження руху частинок добрив при обкочування вздовж осі обертання.....	40
2.4. Висновок.....	46
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	47
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	47
3.2. Прилади, обладнання та апаратура.....	47
3.3. Методика визначення вологості сапропелю.....	50
3.4. Методика визначення гранулометричного складу гранул ОМД.....	51
3.5. Методика визначення кутів природного відкосу.....	52

	6
3.6. Методика дослідження процесу капсулювання ОМД.....	53
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	57
4.1. Результати визначення кута природного відкосу суміші компонентів ОМД.....	57
4.2 Результати дослідження впливу факторів на вміст товарної фракції в загальній масі готових ОМД на виході із камери капсулювання.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	64
ДОДАТКИ.....	66

ВСТУП

Актуальність дослідження. Одне з найважливіших завдань, яке стоїть перед сільським господарством нашої країни є збереження та підвищення родючості ґрунтів. За роки незалежності України земля була виснажена, адже в ґрунт вносились в мізерній кількості мінеральні добрива, а органічні взагалі не вносились. Кількість гумусу у ґрунті значно зменшилась, а це як відомо веде до зменшення врожаю. Щоб відновити родючість ґрунту, а також підвищити врожайність рослин, у ґрунт слід вносити органічні і мінеральні добрива. Органічні добрива вносяться для відновлення гумусу у ґрунті, а мінеральні сприяють підвищенню врожайності рослин. Донедавна, основним органічним добривом, яке вносилося у ґрунт, був гній. Але із-за того, що кількість поголів'я великої рогатої худоби значно зменшилось то одним одним із напрямків вирішення цього питання можна вважати внесення у ґрунт сапропелю. Оскільки виникла потреба у пошуку альтернативних видів органічних добрив. Також перспективним є внесення у ґрунт добрив виготовлених на основі сапропелю і мінеральних добрив, тобто органо-мінеральних добрив, як один із найкращих варіантів. На даний час вже виготовляються ОМД з різним відсотковим вмістом мінеральних добрив під певні види рослин. Але тут є недолік – відсотковий вміст NPK у них фіксований під певну культуру, певну родючість ґрунту, певний тип ґрунту, що є зовсім неприйнятним у даний час при високій автоматизації виробничих процесів. Крім того, родючість і структура ґрунту можуть змінюватись через декілька метрів, що особливо актуально у північній і західній Україні.

Для розв'язання поставлених завдань слід удосконалити існуючі або створити нові засоби для гранулювання органо-мінеральних добрив, які забезпечать отримання гранул із розмірами 2...6 мм з вмістом макроелементів, що відповідає конкретним ґрунтовим умовам. Такий пристрій повинен забезпечувати мінімальні затрати енергії на процес гранулювання та сушіння сформованих гранул та максимальний вихід зазначеної вище розмірної фракції добрив.

У зв'язку з цим актуальною проблемою є дослідження процесу гранулювання органо-мінеральних добрив та параметрів його реалізації.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка конструкції та обґрунтування параметрів гранулятора для формування гранул органо-мінеральних добрив методом обкочування.

Для реалізації поставленої мети були сформульовані завдання досліджень:

1. Теоретично обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри гранулятора ОМД на основі сапропелю.
2. Провести експериментальні дослідження кута природного відкошу суміші мінеральних добрива та сапропелю.
3. Встановити закономірність впливу вологості сапропелю, частоти обертання барабана та часу перебування суміші в капсулюючій камері на вміст товарної фракції в загальній масі готових ОМД на виході із камери капсулювання.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес формування гранул органо-мінеральних добрив на основі сапропелю.

Предмет дослідження. Залежність якісних показників гранул органо-мінеральних добрив від параметрів процесу їх гранулювання.

Методи та способи вирішення поставлених завдань. У роботі були застосовані методи теоретичних та експериментальних досліджень. Так теоретичне обґрунтування діаметра та довжини гранулюючого барабану було здійснено на основі залежностей механіки сипкого середовища. Реалізація експериментальних досліджень базувалась на використанні математичного методу планування експерименту та регресійного та статистичного аналізу.

Науково-технічна новизна одержаних результатів:

1. Обґрунтовано функціональну схему гранулятора ОМД на основі сапропелю методом обкочування;
2. Теоретично обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри камери капсулювання ОМД на основі сапропелю;

3. Проведено експериментальне дослідження кута природного відкосу органо-мінеральної суміші із сапропелю та суперфосфату .

4. Досліджено вплив частоти обертання капсулюючого барабана, вологості сапропелю та часу гранулювання на вихід товарної фракції гранул ОМД.

Практичне значення одержаних результатів. Комплекс теоретичних та експериментальних досліджень дозволив розробити конструкцію капсулюючого барабана гранулятора ОМД.

Апробація роботи. Основні положення наукових досліджень, що містяться в роботі, доповідались й обговорювались на IV студентській науково-технічній конференції факультету АТЕ „Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні” (Луцьк, 2024 р.)

Публікації. Основні дослідження магістерської роботи опубліковано у тезах студентської наукової конференції.

Положення що виносяться на захист. Конструкція капсулюючого барабана гранулятора ОМД та теоретично і експериментально обґрунтовані конструкційні та технологічні його параметри.

Структура і обсяг магістерської роботи. Необхідність розв’язання поставлених задач зумовила наступну структурно-логічну будову роботи: вступ, чотири розділів, висновки, список джерел посилання з 17 назв та 1 додатка. Основна частина магістерської роботи розміщена на 63 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Органо-мінеральних добрива: загальна характеристика та склад

Під загальним терміном органо-мінеральні добрива (ОМД) прийнято розуміти комплексні добрива що містять органічну матерію, мінеральні складові та за потреби мікродобавки.

ОМД мають велику кількість різновидів, які відрізняються за фізичними та хімічними властивостями, мають різну ефективністю використання, чинять різний екологічний вплив. Важливою відмінністю різних видів є компонентний склад.

Особливість складу та технологій виробництва ОМД забезпечують передумови для досягнення якісно вищого рівня у сільському господарстві. А надання цим добривам форми гранул відкриває ще ширші перспективи. До таких переваг належить висока ефективність від використання мінеральних компонентів, прекрасні фізико-механічні властивості тощо. Це забезпечує простоту їх внесення, нівелює екологічний вплив, створює комфортні умови праці. Окрім цього є можливість програмування вивільнення поживних елементів залежно від конкретних умов навколишнього середовища.

Проаналізуємо можливі органічні компоненти ОМД. У якості органічних складників ОМД відоме використання гною, торфу, сапропелю, бурого вугілля, відходів харчової промисловості, осадів стічних вод комунального господарства тощо. Використання цих речовин у складі ОМД різниться ефективністю. Значне зростання ефективності досягається активацією гумінових компонентів, шляхом впливу на них мінеральних каталізаторів. Саме виробництво ОМД в гранульованій формі сприяє спрямованому впливу мінералів на органіку.

Збільшення об'ємної маси ОМД у процесі гранулювання сприяє набуттю добривами стійкості проти злежування а міцність гранул може досягати 4 МПа і вище. Завдяки цьому такі добрива добре розсіваються дисковими робочими

органами, не мають пилевидної фракції, не створюють шкідливих випарів. Органічна оболонка зменшує поверхневий контакт мінералів ОМД із металевими поверхнями робочих органів машин для їх внесення. Звдяки цьому, як засвідчують дослідження знижується корозія деталей із вуглецевої сталі у 2,4-2,5 рази.

У процесі реалізації технологічного процесу отримання гранульованих ОМД формується структура із трьох зон: перша – органічна матриця; друга – мінеральний наповнювач; третя – міжфазна зона.

Така структура сприяє поступовому вивільненню мінеральної частини з органічної матриці шляхом вимивання. Завдяки цьому надходження поживних речовин до кореневої системи рослини відбувається протягом усього періоду вегетації рослин. Технологія виробництва ОМД створює передумови до формування органічної матриці із заданою проникністю для мінеральних компонентів. Завдяки цьому можна програмувати закономірність вивільнення останніх

Також технологія виробництва гранул ОМД створює можливість отримання добрив із співвідношенням макроелементів, що забезпечить режим живлення рослин який оптимально відповідає конкретним ґрунтовим та кліматичним умовам вирощування. Окрім цього реалізація виробництва однокомпонентних ОМД створює можливість формування сумішей таких добрив із заданим співвідношенням NPK безпосередньо у сільськогосподарському підприємстві.

Мінеральна частина ОМД, як правило містить макроеелменти: азот, фосфор та калійні. Ці компоненти можуть входити до ОМД у складі різноманітних сполук. Перебувати у різних агрегатних станах: рідкому, твердому чи газоподібному стані. Мінеральний наповнювач може складатись як із трьох макроеелментів та відповідно до раніше сказаного один із.

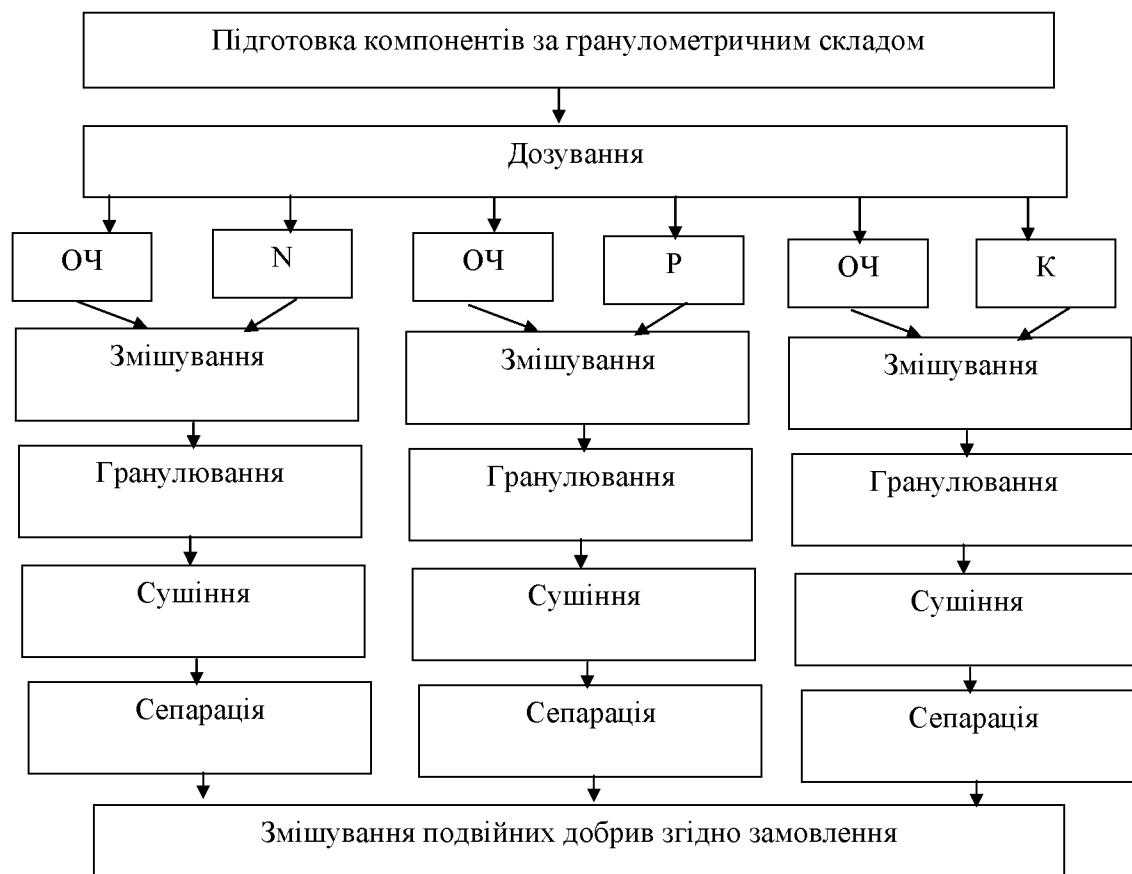


Рисунок 1.1 Схема отримання однокомпонентних ОМД

Для гранулювання ОМД можуть бути використані такі відомі способи, як екструдувannya, формування та пресування.

Значну увагу дослідженням впливу ОМД в умовах Волинської області на врожайність сільськогосподарських культур приділено Поліською дослідною станцією Інституту ґрунтознавства ім. О. Соколовського. Окрім цього виявлено радіопротекторний ефект таких добрив. Тобто вони блокують надходження радіонуклідів із забруднених ґрунтів до сільськогосподарської продукції. Так результати досліджень внесення 2 т/га ОМД на основі сапропелю врозкид на землях забруднених внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС виявили, що вміст радіонуклідів у рослинах, не перевищував 35 Бк/кг.

Найперші практики виробництва ОМД стосуються використання у якості органічної матриці торфу. Відомі дослідження властивостей торфу вказують, що залежно від родовища він може мати велику неоднорідність. Така

неоднорідність може проявлятися не лише для різних родовищ, а і для різних шарів і ділянок одного родовища. За умовами формування торф на верховий, низинний і перехідний. Це типи торфу. За характером рослинності з якого він формувався визначають вид торфу – моховий, трав'яний, деревинний. Ступінь розкладу характеризується такими показниками: слабо розкладений - 5-25%, середньо розкладений - 25-40%, сильно розкладений - 40%.

Вміст хімічних макроелементів у торфі характеризується такими значеннями: азот - 0,8-3,3%; фосфор (точніше P_2O_5) - 0,06-0,5%; калію (тобто K_2O) - 0,1-0,15%. Значення вказані на суху речовину торфу.

Важливим показником придатності торфу для його збагачення мінеральними компонентами є його поглинаюча здатність за аміаком. Залежно від ступеня розкладу торфу цей показник знаходиться у межах 0,7-1,15 %. Вміст гумінових кислот залежно від виду торфу коливається від 31,3 до 37,1 %.

Внесення торфу у чистому вигляді та від 10 т/га має особливе значення для піщаних ґрунтів. Він окрім родючості підвищується вологоємкість та поглинаючу здатність ґрунту.

Проте інтенсивне використання торфу для виготовлення паливних брикетів скорочує його ресурс для виготовлення добрив. Окрім цього добування торфу пов'язане з екологічними проблемами, такі як рекультивация земель на місці вичерпаних родовищ. Для умов Волинської області альтернативо торфу для виготовлення ОМД є органічний сапропель. Поклади сапропелю загалом в Україні досягають 140 млн. т. за перерахунку на 60% їх вологості. Значна частина цих покладів сконцентрована на території Волинської обл.

З іншої сторони здійснення добування сапропелю пов'язане із очищенням озер від цих покладів та відновленням їх гідрологічного балансу. Завдяки цьому відновлюється функція озера перш за все як резервуара прісної води та забезпечується загальне покращення екологічної ситуації регіону.

Властивості та склад сапропелів, як і торфу, варіює у широких межах з причини різноманітності рослинних та тваринних решток, що входять до його складу. За вмістом макроелементів у літературних джерелах маємо такі дані (у

відсотках на суху речовину): N - 1,2-3,4 %; P₂O₅ – 0,14-0,19 %; K₂O - 0,1-0,3 %;. Також сапропелі містять такі хімічні елементи як Ca, Mg, Fe, Al, Mn, Cu, Co, Zn, I, B, Br.

Для використання сапропелю як добрива він повинен відповідати таким вимогам ТУ: вологість 60%, вміст азоту загального не менше 1% на суху масу; не більше 5% заліза загального, в перерахунку на Fe₂O₃ на суху речовину; не більше 65%; золи на суху речовину; РН не менше 5,5.

Зовнішнє кольорове забарвлення щойно добутого сапропелю може бути , коричневим, темно сірим, сіро-жовтим, зеленуватим, чорним і навіть голубуватим, розовим і червонуватим. За зовнішнім забарвленням можна зробити попередній висновок про вміст тих чи інших речовин. Так зеленуватий колір вказує на вміст хлорофілу, рожевий на наявність каротину, голубуватий - вівіаніту, а от сірий, що швидко темніє на повітрі, вказує на вміст відновленого заліза, світло сірий - домішок вапна. Після підняття з під шару води на повітрі колір сапропелю має здатність змінюватись через процеси окислення.

Через специфічну колоїдну будову добутий сапропель повільно віддає вологу. Але висушений до певного значення вологості практично не поглинає вологу знову і набуває значної твердості. У наслідок дії відємних температур руйнується волокниста структура сапропелю після чого він активніше віддає воду, стає розсипчастим.

Не проморожений сапропель володіє особливо високою липкістю. Тому такий матеріал сприяє підвищенню вологоутримуючої здатності піщаних ґрунтів та їх здатності до формування агрегатів. завдяки чому не проходить через пори ґрунтів. Це у сукупності сприяє покращенню водно-фізичних властивостей ґрунтів та їх родючості.

У дослідженнях Шевчука М.Й. внесення 60 т/га чистого сапропелю забезпечило зростання врожаю картоплі на 26,3%. А компостування сапропелю із гноївкою та курячим послідом підвищує ефективність даких добрив до приросту врожаю на 63,2-120,0%. Такі числові значення вказують на

недоцільність використання сапропелю в якості добрива без його додаткової обробки.

Основним мінеральним компонентом ОМД є азот. Важливість включення даного елемента до складу ОМД визначається його важливістю для живлення рослин.

Згідно прийнятої класифікації виокремлені такі форми азотних добрив, які визначаються видом сполук азоту: аміачні, нітратні та амідні. У конкретному добриві можуть бути присутні не одна форма.

Найдешевшим видом аміачних добрив є аміак безводний. До цієї групи азотних добрив також належить аміачна вода, аміачна селітра, сульфат амонію. До нітратних азотних добрив належать натрієва та кальцієва селітра, а до амідних – карбамід (сечовина). Дані добрива також відрізняються агрегатним станом, вмістом азоту, гранулометричним складом та рядом інших фізико-механічних властивостей.

У останні роки набули широкого використання рідкі азотні добрива. Це карбамідно-аміачні суміші (КАС) із різним вмістом діючої речовини. Азот у таких добривах перебуває у аміачній та карбамідній формі. Завдяки цьому забезпечується пролонгованість використання азоту.

Високий вміст діючої речовини (46% азоту у формі аміду) у сечовині ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) робить її одним із перспективних компонентів ОМД. Перспективність використання азоту амідної форми у ОМД спричинена повільним його вивільненням у результаті гідролізного процесу під дією ферменту урези.

Фосфор є складником білків, входить до складу ферментів, що регулюють біохімічні процеси рослинних організмів. Сполуки фосфор забезпечують дихання рослин та синтез ними вуглеводнів. Вміст фосфору у дорослих рослинах не перевищує кількох десятих відсотка. Проте у насінні його вміст підвищується 1%. Це спричинено тим, що під час проростання насінини і формування перших корінців витрачається багато фосфору. Тому доцільно для розвитку потужної кореневої системи вносити при посіві усю

необхідну дозу фосфору. Зовнішніми ознаками нестачі фосфору є скручування листочків та утворення плямам різного кольору на їх поверхні.

Фосфорні добрива, як і азотні, поділяються на 3 групи, але за доступністю до споживання рослинами через утворення водних розчинів. Це водорозчинні, розчинні у слабких кислотах, та частково розчинні в слабких кислотах. Водорозчинними є простий та подвійний суперфосфат. Розчинні у слабких кислотах - преципитат, обезфторені фосфати, фосфоромісткі шлаки. Частково розчиняються у слабких кислотах фосфоритне і кісткове борошно.

Важливим джерелом для виробництва фосфорних добрив є місцеві агроруди. Шляхом розмелювання покладів таких фосфоритів отримують фосфоритне борошно. Максимальний ефект від фосфоритного борошна досягається через оптимізацію способів його внесення та змішування із іншими компонентами. Одним із шляхів є змішувати їх або з органічними добавками, це гній, торф, сапрпель або із доступними відходами промисловості (хімічної, харчової тощо).

Замикає трійку макроелементів калій, який сприяє активності синтезуючих систем рослинних клітин. Нестача калію проявляється особливо за умови нестачі вологи та веде до посилення в'янення рослин. Також нестача калію призупиняє накопичення цукру та гальмує синтез білків. А от достатня кількість калію сприяє кращому зберіганню та транспортуванню овочів і фруктів. Також калій підвищує схожість зерна, холодостійкість рослин та стійкість їх до вилягання.

Найбільшого поширення у світовому ринку калійних добрив набув хлористий калій через доступність покладів для його виробництва. Проте високий вміст сполук хлору у ньому перешкоджає застосуванню під картоплю, льон, гречку, бобові, цитрусові та виноград.

Значно безпечнішим для рослин є калімагнезій ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$). Таке добриво містить крім сульфату калію (K_2O – 19%) ще й сульфат магнію. Завдяки наявності магнію це добриво є особливо цінним. Адже магній це один

із найголовніших мікроелементів необхідних для життєдіяльності рослин. І подекуди прирівнюється до макроелементів.

В склад ОМД можна включати також мідь, сірку, залізо, кальцій. До рецептури можуть входити стимулятори росту таполуки що є необхідними для підвищення ефективності розвитку рослин за визначених ґрунтово-кліматичних умовах.

Таким чином у випадку виробництва ОМД на основі сапропелю можна отримати перспективне добриво для живлення рослин. Такі добрива окрім підвищення врожайності можуть бути використанні для отримання якісної сільськогосподарської продукції на техногенно забруднених ґрунтах. Використання сапропелю забезпечить отримання доданої вартості та підвищить виробництво однокомпонентних ОМД (див. рис.1.1) створює передумови до їх широкого використання у системі точного землеробства.

1.2. Аналіз робочого процесу та конструкцій машин для гранулювання добрив

Огляд результатів досліджень складу та значення ОМД для сільськогосподарські рослини виявив, що суттєве зростання їх ефективності має місце коли вони мають гранульовану форму.

Згідно визначення «гранулювання – це процес перетворення матеріалу у більш або менш однорідні гранули (від лат. *granulum* - зернятко)».

Як уже зазначалось під час гранулювання оргнао-мінеральної суміші формується трифазна структура гранули, яка характеризується додатковою міцністю, пониженою гігроскопічністю та злежуваністю, а також запрограмованою розчинністю у воді. Вказана структура утворюється не лише за рахунок гранулювання, але і у процесі сушіння і змішування компонентів.

Людина використовує процес гранулювання уже протягом сотень років і за цей період розроблено значну кількість конструкцій машин які здійснюють такий процес. Ці машини отримали назву грануляторів.

Узагальнена класифікація процесів гранулювання має такий вигляд:

- диспергуванням рідкої фази на краплини із наступним кристалізуванням у процесі зневоднення або охолодження;
- шляхом пресування твердої фази з наступним подрібненням отриманих монолітів до частинок потрібного розміру;
- агломерацією суміші порошків рідкою фазою з наступним обкочуванням отриманих частинок та збільшення сил адгезії між частинками за рахунок видалення вологи;
- шляхом конденсації розплаву з газоподібної фази та наступною його кристалізацією у вигляді гранул;
- шляхом реалізації хімічної реакції у суміші твердої, рідкої та газоподібної фаз.

На основі описаних процесів сформовано методи гранулювання. До основних з них належать: формування гранул досягається агломерацією або нашаруванням частинок, яке позначають терміном обкочування; розпилення рідини у певний об'єм заповнений повітрям або іншим середовищем; наближення частинок сухих порошків на віддалі молекулярного притягання з отриманням монолітів та з наступним подрібненням на гранули визначеного розміру – позначають терміном пресування; диспергування рідини на поверхню сухих частинок (осередків конденсації) в завислому стані; утворення гранул у процесі кристалізації розплаву твердих поверхнях; продавлювання пластичної маси через отвори - називають формуванням або екструзією.

Результат досягнутий у процесі гранулювання залежить від правильного підбору механізму утворення гранул, а також обраним способом гранулювання і його апаратним оформленням, яке має максимально враховувати властивості вихідної суміші.

Широко використовуються у виробничій сьгодні набули практично усі з наведених методи гранулювання. Але, як зазначалось раніше, особливі властивості мінеральної і особливо органічної складових ОМД вказують на те,

що для їх гранулювання можна застосовувати лише не значну кількість з описаних методів.

Для реалізації методу формування (обкочування) для отримання гранул ОМД відомі перші спроби використання тарілчастого гранулятора відносять до сорокових років минулого сторіччя. Основою такого гранулятора є тарілка, що здійснює обертовий рух навколо осі зі змінним кутом нахилу. На рис. 1.2 наведено рисунок тарілчастого гранулятора. Там показано таку його будову: обертова тарілка 1, герметичний кожух 2, розпилювач подавання води 3, оглядовий люк 4, канал для подачі суміші 5, вал 6, механізм повертання кута нахилу 7, станина 8. Не зважаючи на поважний вік такої конструкції вона і сьогодні пропонується на ринку. Цьому сприяють такі його беззаперечні переваги як проста конструкція, можливість візуального спостереження за процесом, легке регулювання режиму роботи, порівняно низькі питомі втрати енергії, що у сукупності забезпечує високу надійність виконання процесу. У той же час до основного недоліку тарілчастого гранулятора належить широка варіація розмірів (діаметру) отриманих гранул, їх порівняно низька міцність, а також потреба сушінні гранул. Проте не зважаючи на поважний вік конструкції за її дообладнання сучасними пристроями для контролю процесу вони продовжують успішно використовуватись у ряді виробництва гранул.

Типовий пристрій для реалізації методу отримання гранул пресуванням наведено на рис.1.3. У найпростішому випадку до такого пристрою входять два гладкі пресуючі вальці 1. Для забезпечення більшої щільності вихідного матеріалу здійснюється підпресовування суміші шнеком 2. Отриманий у результаті пресування матеріал має форму плоских шматків не правильної (довільної) форми. У подальшому ці шматки потрібно подрібнювати та здійснювати сепарацію отриманих частинок. До недоліків пристрою належить низька надійність реалізації процесу через можливість налипання матеріалу на поверхню пресуючих вальців, не контрольованість виходу гранул заданого розміру. Проте такий пристрій може забезпечити високу продуктивність.

Зважаючи на викладені недоліки вченими та інженерами постійно ведуться дослідження з метою удосконалення конструкції вальцевих грануляторів. До прикладу розглянемо конструкцію вальцевого гранулятора котрий містить чотири вальці (рис. 1.4) змонтовані у корпусі 1. Перша пара вальців забезпечують початкове пресування, а два нижніх – остаточне формування. Один з вальців 3 першої пари преса має гладку поверхню, а другий 4 має на своїй поверхні лопаті 5. Жані лопат опираються на ролики 6. Останні у свою чергу рухаються по кільцевих направляючих 7 завдяки обертанню вальця. Ролики розміщені ексцентрично відносно осі вальця. Завдяки такій конструкції лопаті у певний момент висуваючись із внутрішньої порожнини вальця та перекривають зазор між вальцями. Завдяки цьому забезпечують ефект нагнітання суміші у пресувальну камеру 8, а далі суміш під тиском надходить до формуючих вальців 2.

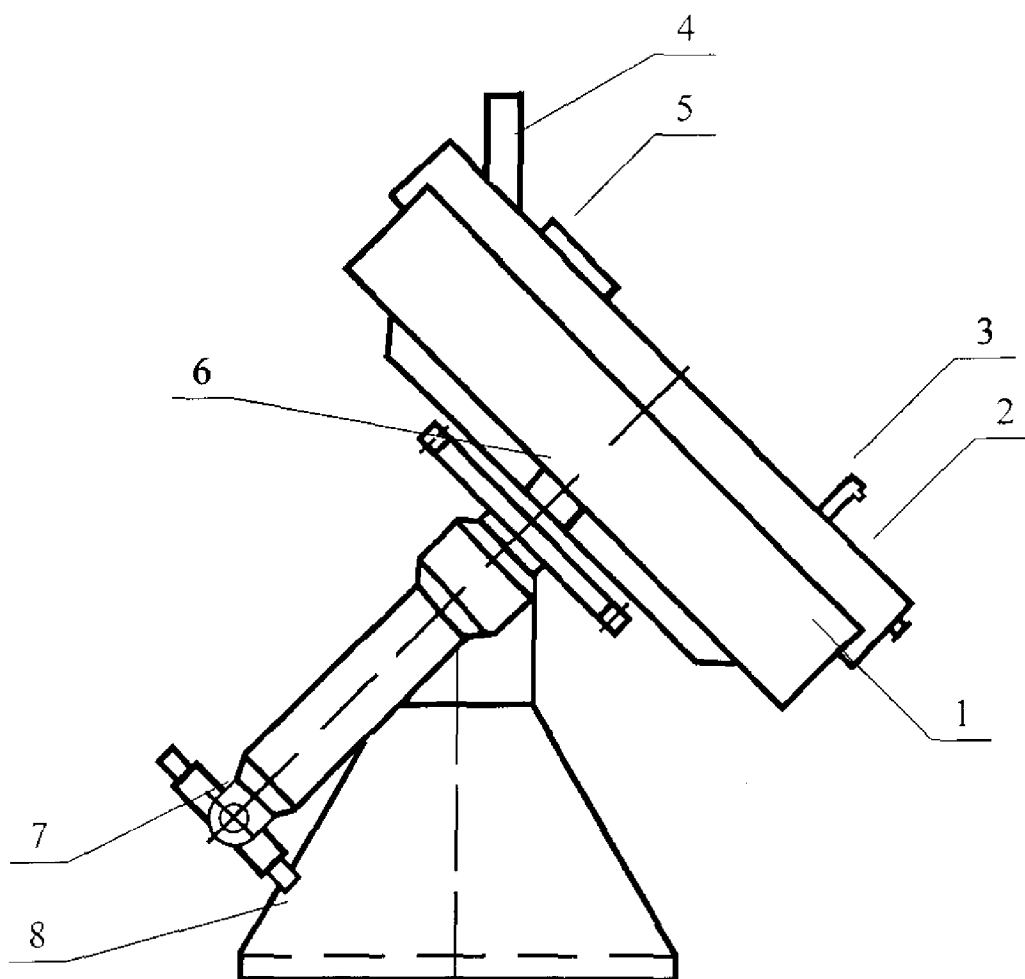


Рисунок 1.2 Тарілчастий гранулятор

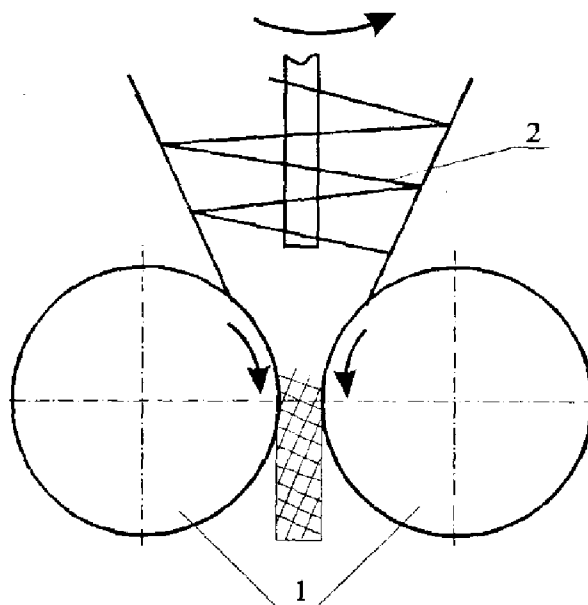


Рисунок 1.3 Вальцевий прес: 1 - вальці, 2 - шнековий підтискач

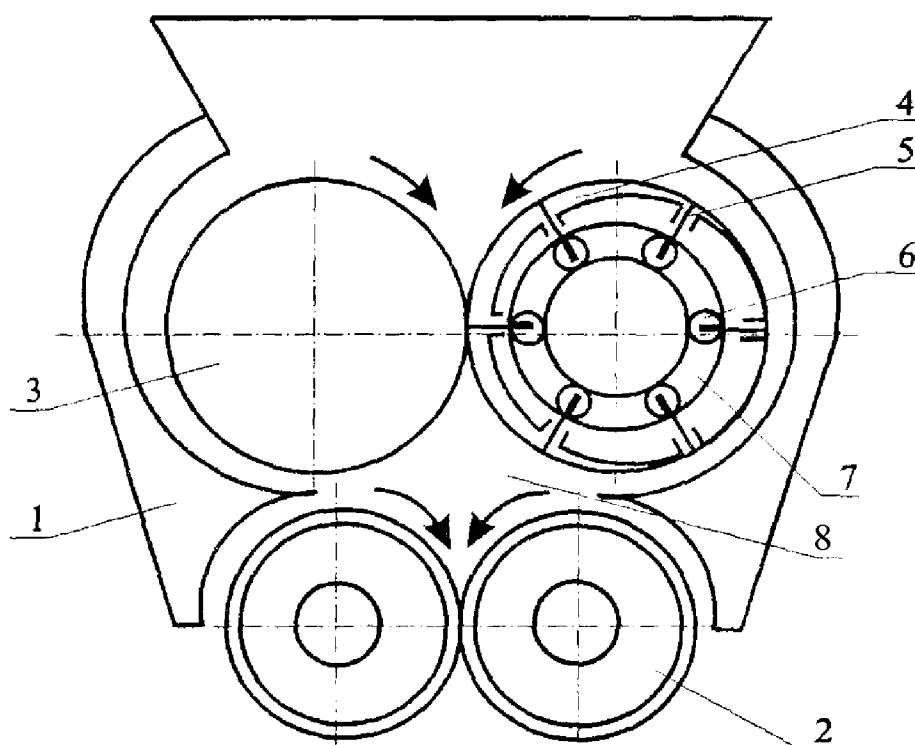


Рисунок 1.4 Схема гранулятора з попереднім ущільненням суміші

Якщо застосовувати таку конструкцію для гранулювання суміші сапропелю із мінеральними компонентами то таку суміш потрібно спочатку додатково сушити. Також залишається необхідність подальшого подрібнення частинок довільної форми з метою отримання визначеного фракційного складу.

Метод пресування гранул у каанлах діаметром, що визначає розмір кінцевих гранул є менш продуктивним із описаними вище методами та вимагає більших питомих затрат енергії на одиницю продукції. Але завдяки отриманню зразу із гранулятора готових гранул робить їх застосування доцільним. Найбільшого поширення серед машин даного класу набули гранулятори із кільцевою матрицею (рис. 1.5). Такий прес набув широкого розповсюдження у комбікормовій промисловості. Працює гранулятор завдяки обертовому руху матриці 1 відносно пресуючих роликів 3. У процесі роботи матеріал, який защемлюється у зазорі між роликом та матрицею вдавлюється у отвори матриці та поступово проштовхується вздовж каналу отвору. Готові гранули мають циліндричну форму. Діаметр гранул визначається діаметром отворів каналів, а довжина – положенням ножів 2, які зрізають гранули із зовнішньої поверхні матриці.

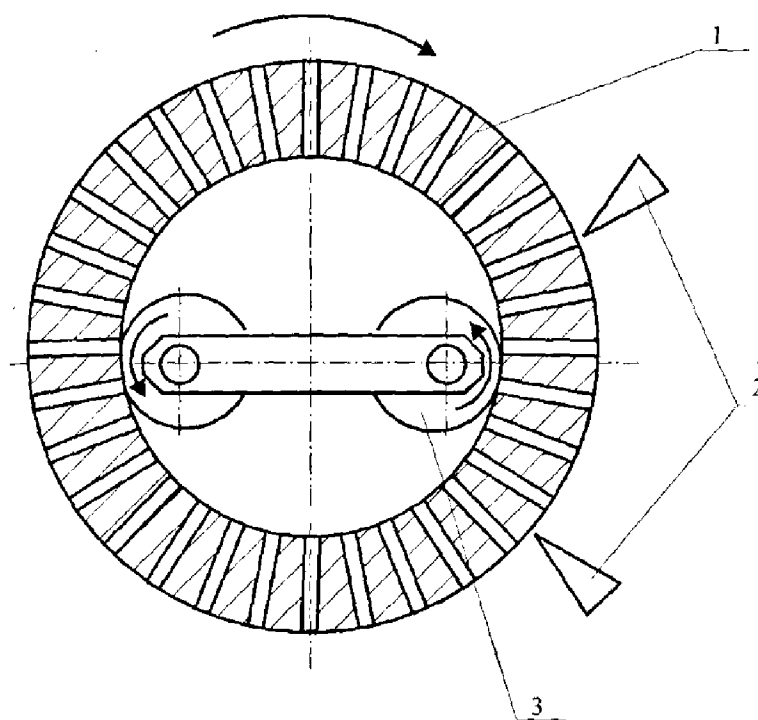


Рисунок 1.5 Прес-гранулятор з кільцевою матрицею

До недоліків роботи такого гранулятора із сумішами на основі сапропелю вологістю 60 % є необхідність попереднього висушування сапропелю або сушіння готових гранул. Сушіння готових гранул дозволяє зменшити енергетику процес гранулювання через використання вихідної суміші

підвищеної вологості. Проте отримані після гранулятора вологі гранули можуть втрачати свою цілісність.

Для реалізації методу пресування гранул із пластифікованої маси (екструзії) використовують пристрої у вигляді шнекового преса (рис. 1.6). Шнек 1 гвинтовою навивкою 2 створює тиск у циліндричному корпусі преса. Завдяки цьому відбувається продавлювання пластифікованої маси через отвори перфорованого диска 4. Готові гранули також мають форму циліндра із довжиною яку забезпечують відрізні ножі 3. Завдяки інтенсивним зсуваючим навантаженням матеріал у пресі нагрівається до високих температур. Використання такого преса для мас які після охолодження затвердівають забезпечую надійний процес гранулювання.

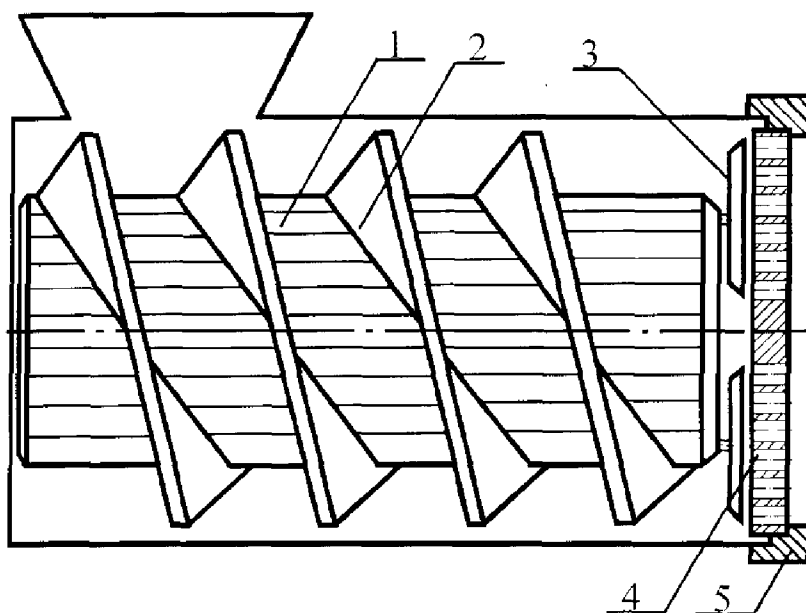


Рисунок 1.6 Шнековий гранулятор (екструдер): 1 - шнек, 2 – гвинтова навивка, 3 - ніж, 4- перфорований диск, 5 – гайка

Подальшим удосконаленням наведеної конструкції є екструдер зображений на рис. 1.7. У такому пресі встановлено два пресуючих шнеки зменшеного діаметру. Завдяки цьому зменшується діаметр перфорованого диска, а отже і кількість гранул, що за висотою одночасно виходять із гранулятооа. Таке рішення зменшує повторне укрупнення гранул через їх

злипання на виході із гранулятора. Проте тут маємо ускладнення конструкції гранулятора.

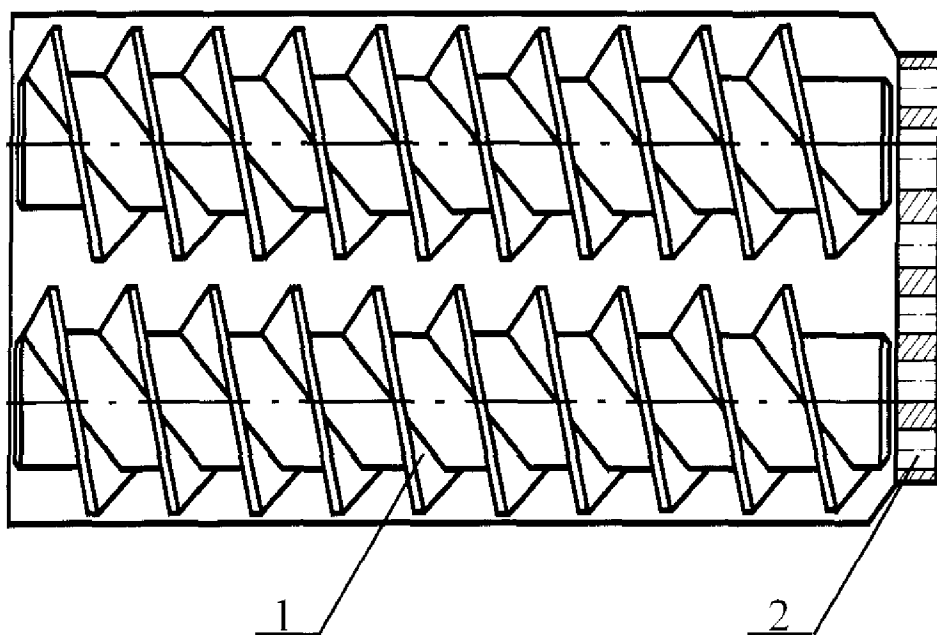


Рисунок 1.7 – Шнековий прес: 1- пресувальний шнек, 2- перфорований диск

Під час використання такого класу машин для отримання гранул із сумішей на основі сапропелю спостерігається злипання у загальну масу отриманих гранул після їх виходу з отворів диска. Хоча для гранулятора зображеного на рис. 1.7 таке негативне явище дещо зменшене. Також для таких грануляторів гранули вимагають сушіння для забезпечення необхідної їх міцності.

На рис. 1.8. зображено удосконалену будову гранулятора, що працює за принципом обкочування шляхом інтегрування у його конструкцію нагрітої поверхні. Робочий процес такого гранулятора здійснюється так. Попередньо змішані компоненти органо-мінеральної суміші різних розмірних та вагових фракцій надходять на коливну поверхню 2 розміщену під кутом α до горизонту. Дана поверхня нагрівається електричними тенами та теплоізолювана від навколишнього середовища. Регулювання кута α дозволяє змінювати час перебування гранул на коливній поверхні 2. Нагрівальні тени 4 вмонтовані в днище коливної поверхні 2. Частинки органо-мінеральної суміші здійснюють складний рух під дією сили тяжіння та сил, що виникають через переміщення

коливної поверхні 2. У процесі цього руху частинки об'єднуються у агрегати та набувають кулястої форми з діаметром у певному діапазоні. Також завдяки руху по нагрітій поверхні 2 сформовані кульки ОМД набувають твердості, що відбувається в основному за рахунок втрати вологи та усадки матеріалу. Із коливної поверхні 2 гранули надходять до охолоджувально-сепаруючого барабану 3. Тут вони охолоджуються та сепаруються. Дрібна фракція гранул повертається назад на гранулювання.

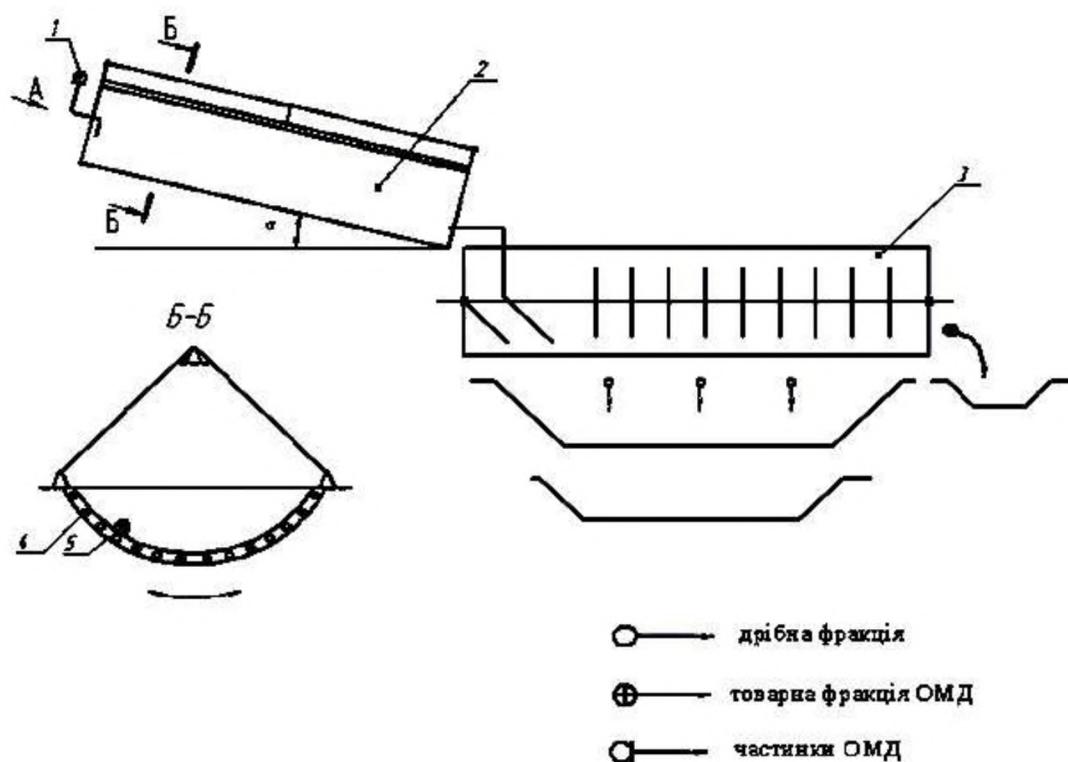


Рисунок 1.8 - Схема гранулятора із нагрітою коливною поверхнею

Також розроблена розроблена конструкція барабанної сушарках-грануляторах (рис. 1.9), яка поєднує у собі такі процеси: гранулювання органо-мінеральної суміші, сушіння та сепарацію готових гранул. Така машина складається із внутрішнього барабану 1, що здійснює обертання навколо осі, зовнішнього барабану 2 із гвинтовою навивкою, механізму розпилю пластичної органо-мінеральної суміші 3, патрубків через які підводиться 4 та відводиться теплоносій 5, розвантажувального пристрою 6. У внутрішній частині барабану 1 приварені за гвинтовою лінією лопатки 7, а також кульковий млин 8, прутки 9 із надітими на них ланцюгами 10. Зовнішня поверхня внутрішнього барабану

обладнана розташованими еквідистантно лопатками перед якими є отвори 12 у формі щілини із засувками 13. На внутрішній поверхні гвинтової навивки 2 змонтовані горизонтальні лопатки 14. Механізм для розпилу пластичної органо-мінеральної суміші містить два обертові вали 15 із закріпленим на них еквідистантно лопатками 16, бункер 17 та ежектор 18 з вертикальним 19 та горизонтальним 20 каналами. Зовнішній барабан 2 обладнаний біговими доріжками 21, які опираються на установочні ролики 22. Для того щоб зовнішній та внутрішній барабани обертались на зовнішньому барабані 2 закріплений зубчатий вінець 23 та механізм приводу 24.

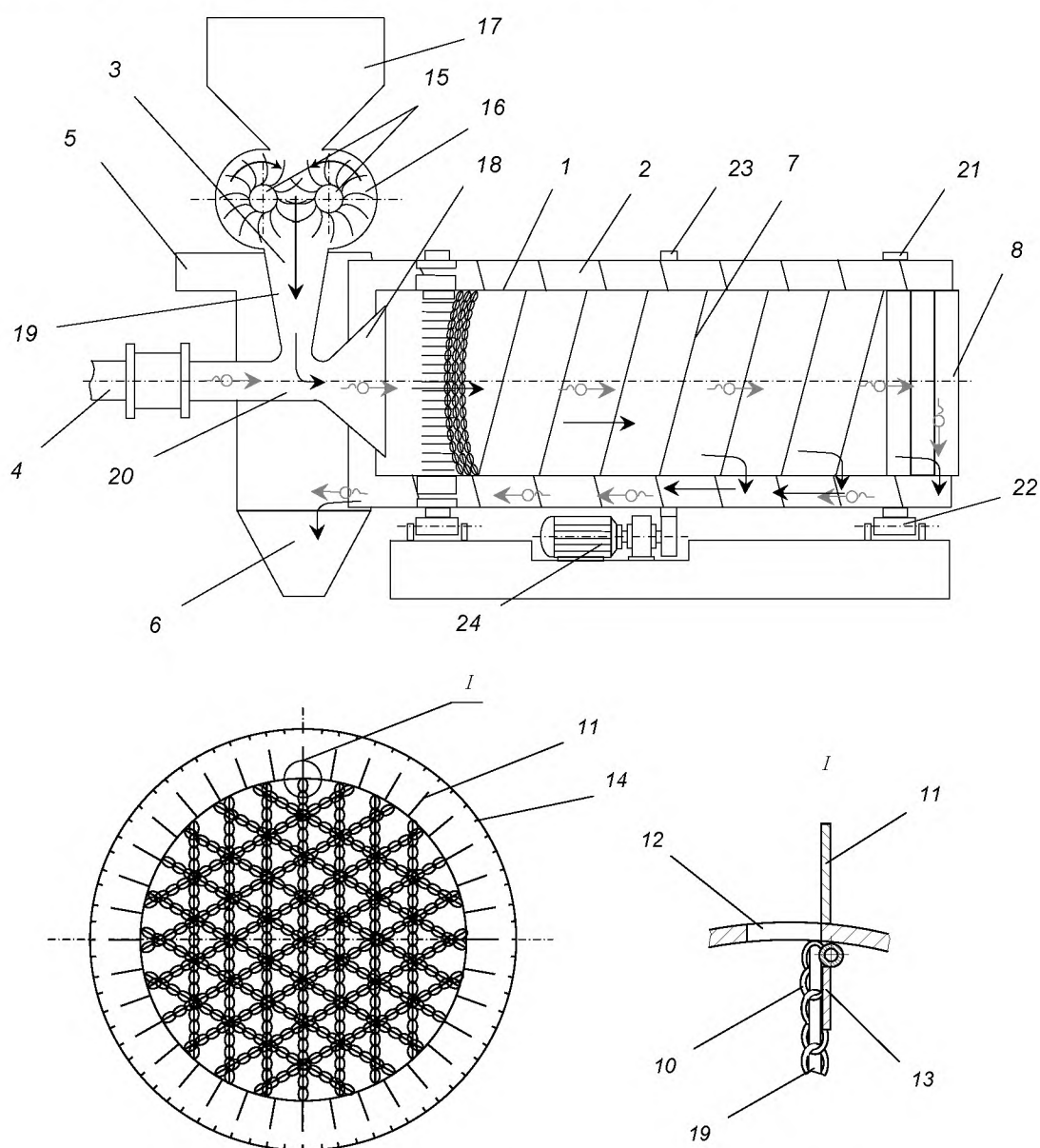


Рисунок 1.2 - Барабанна сушарка-гранулятор ОМД

Зазначена барабанна сушарка-гранулятор працює так. Органо-мінеральна суміш подається у бункер 17 пристрою для диспергування суміші 3. Далі суміш захоплюється лопатками 16 обертових валів 15, що обертаються у зустрічних напрямках, та опускається у вертикальний канал 19 ежектора 18. Захоплення матеріалу та його подавання у розпиленому стані до вхідної частини внутрішнього барабану відбувається під дією сили ваги та розрідження, яке створюється потоком сушильного агенту у зоні з'єднання вертикального 19 та горизонтального 20 каналів ежектора 18. Диспергована орґано-мінеральна суміш напильється на завісу утворену прутками 9 з ковзними ланцюгами 10 та внутрішнім ретуром дрібної фракції гранул. Завдяки цьому частина матеріалу потрапляє на гранули ретуру тазбільшує їх розміри і потрапляє у внутрішню частину барабану 1, а інша налипає на поверхню прутків 9 із ковзними ланцюгами 10. Завдяки цьому відбувається кондуктивна передача тепла до орґано-мінеаральної суміші від прутків та ланцюгів її початкове просушування.

Через обертовий внутрішнього барабану 1 та параболічній формі прутків 9 має місце інтенсивне ковзання ланцюгів перпендикулярно та у напрямку осі цього барабану 1. Таке явище забезпечує постійне відбивання від поверхні прутків 9 та ковзних ланцюгів 10 підсушених часточок орґано-мінеральної суміші та їх падіння на поверхню внутрішнього барабану 1. Через переміщення частинок пластинами 7, що розташовані за гвинтовою лінією у внутрішньому барабані 1 має місце подальше їх сушіння, а також частинки набувають кулястої форми через обкочування. Коли частинки досягають зони перфорації внутрішнього барабану 1 то вони просіювання у зовнішній барабан 2.

Гранули матеріалу які мають розміри, що не дозволяють їх пройти крізь отвори перфорації, потрапляють у кульковий млин 8, де має місце процес їх подрібнення до розмірів, що забезпечують їх просіювання у зовнішній барабан 2. Під час переміщення гвинтовою навивкою зовнішнього барабану 2 здійснюється подальше сушіння гранул ОМД. У зоні вивантаження зовнішнього барабану 2 дрібна фракція гранул ОМД захоплюється лопатками

14 і підіймається вгору. Після підймання на визначену висоту матеріал зсипається з лопаток 14 та надходить на лопаток 11 внутрішнього барабана 1 та продовжує завдяки ним свій рух вгору. Заслінки 13 під дією сили тяжіння провертаються навколо осі та відкривають щілини 12. Завдяки цьому пилевидна фракція гранул ОМД надходить у середину внутрішнього барабана 1 і створює своєрідну завісу для диспергованої суміші. Трирядне розташування прутків 9 із ковзними ланцюгами. При цьому ряди зміщені один відносно одного на кут 120° , що забезпечує бажану густоту завіси. Закривання заслінками 13 отворів 12 здійснюється завдяки їх силі ваги під час опускання до низу. Із зовнішнього барабана 2 гранули ОМД потрапляють до вивантажувального пристрою 6. Свіжий сушильний агент каналом підведення 4 надходить до горизонтального каналу 20 ежектора 18 та через середину внутрішнього барабана 1, кульковий млин 8 у зовнішній барабан 2 і видаляється через канал відведення відпрацьованого теплоносія 5. Для керування часом перебування гранул ОМД у барабанах змінюють частоту обертання валу приводу 24.

Наведений огляд вказує на різноманітність розроблених конструкцій грануляторів для гранулювання органо-мінеральних сумішей. Вони здатні забезпечити надійний процес гранулювання таких сумішей на основі сапропелю але вимагають певного удосконалення або значних енергетичних затрат наприклад на сушіння гранул

Під розробки нових конструкцій слід прагнути створити машину, що працювала б із гранульованими мінеральними добривами, а процес зневоднення органічної частини гранул здійснювався б наприклад за рахунок хімічної реакції.

1.3. Постановка проблеми, мета та завдання дослідження

Постановка проблеми. Одне з найважливіших завдань, яке стоїть перед сільським господарством нашої країни є збереження та підвищення родючості

ґрунтів. За роки незалежності України земля була виснажена, адже в ґрунт вносились в мізерній кількості мінеральні добрива, а органічні взагалі не вносились. Кількість гумусу у ґрунті значно зменшилась, а це як відомо веде до зменшення врожаю. Щоб відновити родючість ґрунту, а також підвищити врожайність рослин, у ґрунт слід вносити органічні і мінеральні добрива. Органічні добрива вносяться для відновлення гумусу у ґрунті, а мінеральні сприяють підвищенню врожайності рослин. Донедавна, основним органічним добривом, яке вносилося у ґрунт, був гній. Але із-за того, що кількість поголів'я великої рогатої худоби значно зменшилось то одним одним із напрямків вирішення цього питання можна вважати внесення у ґрунт сапропелю. Оскільки виникла потреба у пошуку альтернативних видів органічних добрив. Також перспективним є внесення у ґрунт добрив виготовлених на основі сапропелю і мінеральних добрив, тобто органо-мінеральних добрив, як один із найкращих варіантів. На даний час вже виготовляються ОМД з різним відсотковим вмістом мінеральних добрив під певні види рослин. Але тут є недолік – відсотковий вміст NPK у них фіксований під певну культуру, певну родючість ґрунту, певний тип ґрунту, що є зовсім неприйнятним у даний час при високій автоматизації виробничих процесів. Крім того, родючість і структура ґрунту можуть змінюватись через декілька метрів, що особливо актуально у північній і західній Україні.

Для розв'язання поставлених завдань слід удосконалити існуючі або створити нові засоби для гранулювання органо-мінеральних добрив, які забезпечать отримання гранул із розмірами 2...6 мм з вмістом макроелементів, що відповідає конкретним ґрунтовим умовам. Такий пристрій повинен забезпечувати мінімальні затрати енергії на процес гранулювання та сушіння сформованих гранул та максимальний вихід зазначеної вище розмірної фракції добрив.

У зв'язку з цим актуальною проблемою є дослідження процесу гранулювання органо-мінеральних добрив та параметрів його реалізації.

Метою даного дослідження є розробка конструкції та обґрунтування параметрів гранулятора для формування гранул органо-мінеральних добрив методом обкочування. Об'єкт досліджень – технологічний процес формування гранул органо-мінеральних добрив на основі сапропелю. Предмет досліджень – залежність якісних показників гранул органо-мінеральних добрив від параметрів процесу їх капсулювання.

Для реалізації поставленої мети були сформульовані *завдання* досліджень:

4. Теоретично обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри гранулятора ОМД на основі сапропелю.

5. Провести експериментальні дослідження кута природного відкосу суміші мінеральних добрив та сапропелю.

6. Встановити закономірність впливу вологості сапропелю, частоти обертання барабана та часу перебування суміші в грануляторі на вміст товарної фракції в загальній масі готових ОМД на виході із камери капсулювання.

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КАПСУЛЮЮЧОГО БАРАБАНА

2.1. Обґрунтування конструкції пристрою для капсулювання органічно-мінеральних добрив

Відповідно до вихідних вимог необхідно розробити машину для капсулювання частинок мінеральних добрив органічним сапропелем. Дана машина повинна мати змогу працювати з не подрібненими мінеральними добривами і процес сушіння гранул здійснювався за рахунок хімічної реакції. Отримані гранули повинні мати кулясту форму із діаметром у межах 2...6 мм та міцність не меншу 0,5 МПа.

Для забезпечення виконання висунутих вимог пропонується конструкція гранулятора ОМД зображена на рис. 2.1. Робота машини у відповідності до наведеної схеми здійснюється наступним чином. В барабан 4, подається із бункера 1 сапропель 11 і змішується з мінеральним добривом 12, яке подається з бункера 2. В процесі змішування добриво обкочуються сапропелем, частинки які не набули необхідної фракції затримуються лопатками 5, піднімаються і падають на похилу площину 6 по якій скочуються на початок барабану. Також лопатки створюють ріжуче зусилля і перекидають матеріал, що перешкоджає утворенню грудок. А частинки необхідної фракції будуть ковзати далі по барабану, де на них з бункера 3 посипатиметься негашене вапно, в процесі перемішування воно буде вступати в реакцію з вологим сапропелем, під час якої буде виділятися тепло, за його рахунок і буде відбуватись процес сушіння. Для того щоб частинки добре перемішались з вапном в барабані є затримувач 10, який не даватиме швидко їм скочуватись. Сам барабан розміщений на опорних роликах 8 і приводиться в рух від мотор-редуктора МР через пасову передачу 7.

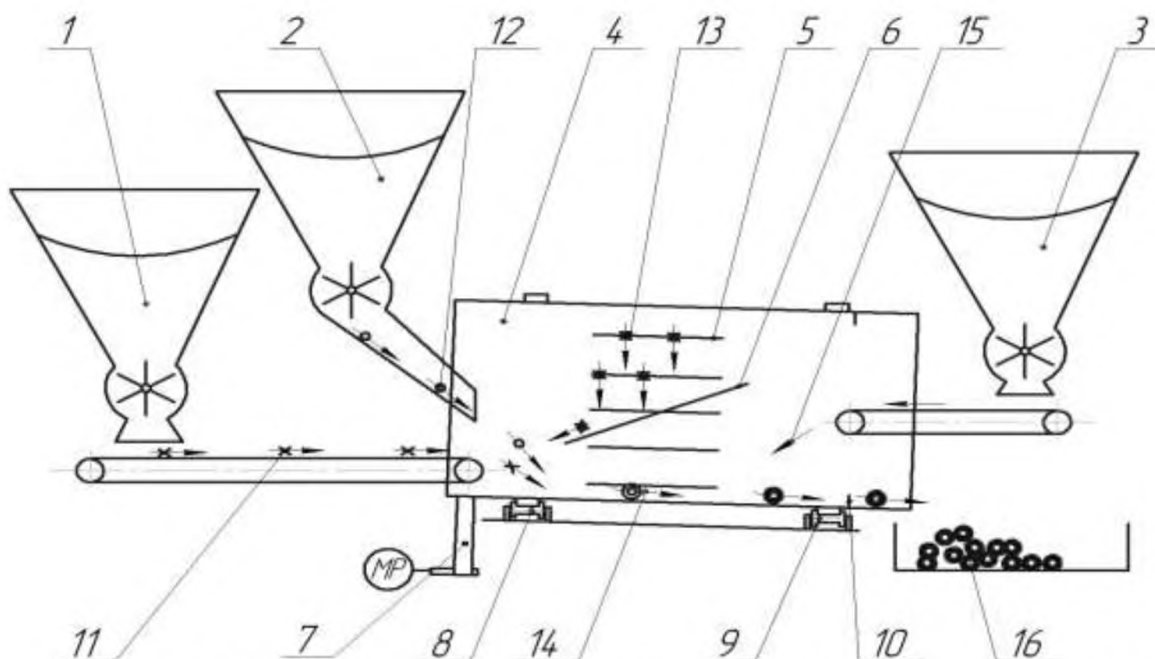


Рисунок 2.1 Функціональна схема машини для капсулювання гранул мінеральних добрив сапропелем: 1 – бункер з сапропелем; 2 – бункер з мінеральним добривом; 3 – бункер негашеним вапном; 4 – барабан; 5 – затримуючі лопатки; 6 – похила площина; 7 – пасова передача; 8, 9 – опорні ролики; 10 – підпірне кільце; 11 – сапропель; 12 – добриво; 13 – частинки недостатньої фракції; 14 – частинки необхідної фракції; 15 – негашене вапно; 16 – готове ОМД

Таким чином для визначення раціональних конструктивних параметрів та режимів роботи гранулятора ОМД необхідно теоретично обґрунтувати геометричні розміри барабана та дослідити процес руху гранул по поверхні барабана; дослідити режими капсулювання матеріалу в барабані гранулятора.

2.2. Дослідження руху частинок добрив при обкочуванні в поперечному січєнні камери капсулювання

Величина динамічних навантажень на гранулу даного розміру залежить від характеру її руху. Тіло, що знаходиться всередині обертового барабана, під дією сили тертя і відцентрової сили притискається до поверхні барабана і відхиляється від вертикалі на кут β_{θ} , величина якого залежить від швидкості

обертання барабана, його радіуса і коефіцієнта тертя тіла об поверхню барабана. Таким чином, поведінка тіла визначається співвідношенням трьох сил : ваги, відцентрової і тертя.

Після досягнення граничного значення кута β_0 порушується рівновага тіла відносно поверхні барабана, зсувна сила стає більше сили тертя і тіло починає переміщатися вниз. При цьому зникає дія на тіло відцентрової сили, в результаті чого зменшується сила тертя і ще більше порушується динамічна рівновага. Проте надалі, внаслідок руху по криволінійній траєкторії, відцентрова сила виникає знову.

Скочування тіла вниз є прискореним. Максимальна швидкість досягається в той момент, коли сили зрушення і тертя рівні. При подальшому русі вниз швидкість починає падати, і при певному значенні кута β тіло зупиняється.

Поведінка тіла після зупинки залежить від того, чи перетнуло воно вертикальну площину, що проходить через вісь барабана. Якщо тіло не перетнуло вертикальну площину, то воно і після зупинки залишається в тому ж положенні, так як відстань, на яку тіло переміститься до вертикалі під дією сили тяжіння, внаслідок рівності лінійних швидкостей, буде скомпенсовано зворотним рухом тіла в результаті обертання барабана. Залишаючись нерухомим щодо зовнішньої системи координат, тіло буде безперервно скочуватися по внутрішній поверхні барабана. Такий рух названо режимом обкочування.

Якщо тіло зупинилося після перетину вертикальної площини, то під дією сили тяжіння воно буде рухатися в ту ж сторону, що й поверхня обертового барабана. У цьому випадку рух буде відбуватися циклами: підйом - скочування (човниковий режим).

Для первинної оцінки режиму обкочування використовують формулу

$$\beta_x = \beta_{max} - 2 \cdot (\beta_{max} - \beta) \quad (2.1)$$

де β_{max} - максимальний кут підйому тіла ;

β - кут тертя.

В практичних умовах роботи одночасно в барабані знаходиться не одне тіло, а їх сукупність тобто деякий обсяг сипкого матеріалу, поведінка якого характеризується закономірностями, відмінними від закономірностей руху одиночного тіла. Характер руху матеріалу залежить від ступеня заповнення, швидкості обертання та стану внутрішньої поверхні барабана.

За малого ступеня заповнення у разі невеликого тертя по внутрішній поверхні барабану сипкий матеріал поводить себе подібно одному суцільному тілу, тобто рухається в човниковому режимі або частіше в режимі обкочування. В останньому випадку кут підйому центра ваги завантаження менше кута природного відкосу.

При відхиленні центра ваги завантаження на кут, більший кута природного відкосу, і достатньому коефіцієнті заповнення картина поведінки матеріалу змінюється. Як тільки нахил поверхні завантаження перевищить кут природного відкосу, надлишок матеріалу почне зсипатися до низу, прагнучи відновити первісний кут. При цьому центр ваги завантаження залишається на одному місці, а навколо нього обертається матеріал. Біля стінки він піднімається вгору, а по вільній поверхні зсипається вниз.

Проте, чим більший коефіцієнт тертя має частинка, тим швидше вона втрачає свою швидкість при зсипанні і тим швидше переходить на кругову ділянку шляху, тобто переходить на траєкторію обертання з меншим радіусом. Внаслідок цього поблизу лінії розділу зон підйому і скочування відбувається поступове накопичення найбільш дрібних фракцій.

Для процесу обкочування велике значення має товщина шару матеріалу, що зсипається. Експериментально досліджувалась залежність відношення кількості піднімаючого матеріалу $G_{\text{під}}$ до загальної кількості матеріалу в засипці $G_{\text{заг}}$ від параметрів обертання барабана. Встановлено, що коефіцієнт тертя буде рівний:

$$\psi = \frac{G_{\text{під}}}{G_{\text{заг}}} = f \cdot \left(\omega^2 \cdot \frac{R}{g} \right), \quad (2.2)$$

де ω - кутова швидкість ;

R - радіус барабана.

А також відомо, що ψ не залежить від коефіцієнта заповнення. Тому товщина шару, що зсипається не залежить від коефіцієнта заповнення.

Гранули, що скочуються з верхньої частини потоку, піддаються меншим динамічним навантаженням, ніж гранули, розташовані всередині потоку і дотикаються до шару, що піднімається. Тому на гранулометричний склад продукту впливає коефіцієнт заповнення, який потрібно підбирати відповідно до бажаного гранулометричного складу. Зазвичай в барабані коефіцієнт заповнення не перевищує 25 % і для кожного конкретного випадку знаходиться експериментально

Оскільки для процесу обкочування найбільш сприятливим є режим перекочування, становлять інтерес граничні значення параметрів переходу до човникового режиму. Човниковий режим взагалі неможливий до тих пір, поки верхній край завантаження не досягає кута підйому 90° . Тому неважко визначити граничну ступінь заповнення барабана, до досягнення якої матеріал буде рухатися в режимі перекочування. За цієї умови кут підйому залежно від кута зсипання β_{max} на основі рис. 2.2 може бути визначений за формулою:

$$\varphi = 180 - 2 \cdot \beta_{max} \quad (2.3)$$

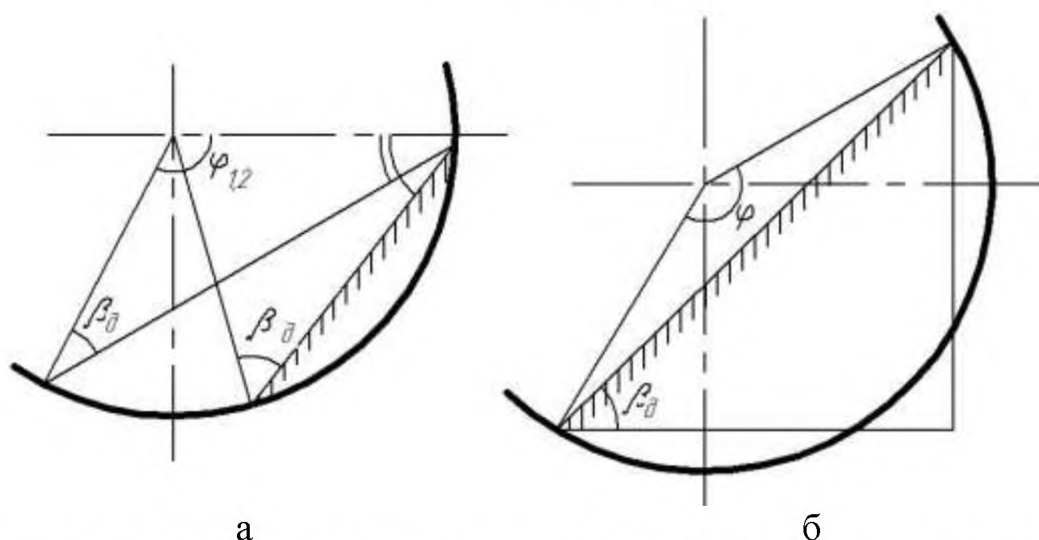


Рисунок 2.2 Схема розташування завантаження барабана при роботі в режимі перекоату: а - кут підйому гранул менше 90° ; б - кут підйому гранул більше 90°

Кут β_0 визначається, перш за все, кутом природного відкосу β і істотно залежить від швидкості обертання барабана. За інших рівних умов кут зсипання збільшується з підвищенням ступеня заповнення барабана. З урахуванням динамічних навантажень кут β_0 виходить на $10...20^\circ$ більше кута природного відкосу.

За незначному ступені заповнення, коли верхня частина завантаження піднімається на кут більше 90° , початок човникового режиму визначається рівністю кутів підйому верхнього краю завантаження і відриву матеріалу від поверхні барабана. За цих умов знайдена критична швидкість обертання барабана, що характеризує межу між режимом перекошування і човниковим режимом:

$$n_{кр} = 30 \cdot \sqrt{\frac{-\cos \beta_{max} + \frac{\varphi}{2}}{R}}, \quad (2.4)$$

При виборі швидкості обертання гранулятора потрібно прагнути до того, щоб створювалися не тільки умови режиму перекошування, а й умови, що запобігають руйнування сформованих гранул необхідного розміру. Процес обкошування необхідно вести за швидкостей скошування, що не перевищують швидкостей, при яких відбувається руйнування гранул. Енергія яка передається від однієї гранули іншій в момент їх зіткнення, не повинна перевищувати роботу руйнування гранул. Спрощена формула для визначення допустимої швидкості скошування гранул має вигляд

$$[v_{ск}] = (0.23...0.32) \cdot \sqrt{g\sigma / \gamma} \quad (2.5)$$

де σ - міцність сирової гранули на стиск, яка рівна 0,15 МПа;

γ - питома вага матеріалу.

Зважаючи на значення питомої ваги органо-мінеральної суміші, яка може коливатись у межах $\gamma = 650...850$ кг/м³ допустима швидкість скошування не повинна перевищувати

$$[v_{ск}] = 0,25 \cdot \sqrt{\frac{9,8 \cdot 0,15 \cdot 10^6}{800 \cdot 9,8}} = 3,4 \text{ м / с}$$

З іншої сторони швидкість скочування визначається параметрами роботи гранулятора і властивостями матеріалу, які пов'язані залежність :

$$v_{ск} = \frac{\rho_{нас} \cdot g}{\beta} \cdot \sin \beta_c \cdot \left[\frac{(R_c - R)^2}{2} - R_\sigma \cdot R_c - R \right] - \frac{\tau}{\beta} \cdot R_\sigma - R, \quad (2.6)$$

де $\rho_{нас}$ - насипна щільність матеріалу;

β - коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу;

β_c - кут підйому центра ваги засипки;

R - поточний радіус ;

R_σ - відстань від центру барабана до шару скачування;

$R_c = R_\sigma + h_{ск}$;

$h_{ск}$ - товщина шару, що скочується;

τ - граничне напруження зсуву.

Величини $h_{ск}$ і τ , що входять у наведену залежність не завжди відомі. Для наближених розрахунків можна отримати рівняння, з таких міркувань. Із умови нерозривності потоку кількість матеріалу, що скочується, дорівнює кількості матеріалу, що підіймається. При цьому, чим менше матеріалу скочується, тим більше його швидкість і менше час скочування. Беручи максимальний шлях скочування рівним хорді, проведеної між крайніми точками засипки, отримуємо:

$$\frac{\tau_{нид}}{\tau_{ск}} = \frac{v_{ск} S_{нид}}{S_{ск} v_{нид}} = \frac{G_{нид}}{G_{ск}} = \frac{\psi}{1 - \psi}$$

$$\frac{v_{ск}}{v_{нид}} = \frac{\psi}{1 - \psi} \cdot \frac{2 \cdot R \cdot \sin \frac{\varphi}{2}}{R} = \frac{2 \cdot \psi \cdot \sin \frac{\varphi}{2}}{(1 - \psi) \cdot \varphi}, \quad (2.7)$$

де S - шлях, пройдений гранулою при скочуванні;

$\psi = 0,55 \dots 0,6$ визначається на основі експериментальних досліджень.

Швидкість підймання матеріалу визначається параметрами руху барабана. Якщо проковзування матеріалу біля стінки відсутня, то середня швидкість підйому частинок, розташованих між стінкою барабана і лінією, що розмежовує шари піймання та скочування:

$$v_{\text{під}} = \frac{\omega \cdot R}{2}, \quad (2.8)$$

а середня швидкість скочування в поперечному перерізі барабана буде:

$$v_{\text{ск}} = \frac{R \cdot \omega \cdot \psi \cdot \sin \frac{\varphi}{2}}{(1 - \psi) \cdot \varphi}, \quad (2.9)$$

Оскільки скочування відбувається не по площині, а по вигнутій поверхні, формула дає дещо занижені результати. Приймаючись експериментальними значенням швидкості скочування із рівняння (2.9) визначаємо кутову швидкість барабана:

$$\omega = \frac{v_{\text{ск}} \cdot (1 - \psi) \cdot \varphi}{R \cdot \psi \cdot \sin \frac{\varphi}{2}}, \quad (2.10)$$

Оскільки скочування відбувається не по площині, а по вигнутій поверхні, формула дає дещо занижені результати. Підставляючи у (2.10) допустиме значенням швидкості скочування із рівняння (2.5) визначаємо кутову швидкість барабана.

Графічна залежність зміни частоти обертання барабана від таких параметрів, як радіус барабана R і кута обхвату φ представлена на рис. 2.3.

Аналізуючи графік, можна зробити висновок, що збільшення діаметра барабана веде до зменшення кутової швидкості, але отримати меншу частоту обертання барабана складніше. А від кута обхвату φ частота обертання майже не залежить. Тому з графіка можна зробити висновок, що найоптимальнішими параметрами будуть: діаметр барабана $D=1\text{м}$, кут $\varphi=70^\circ$.

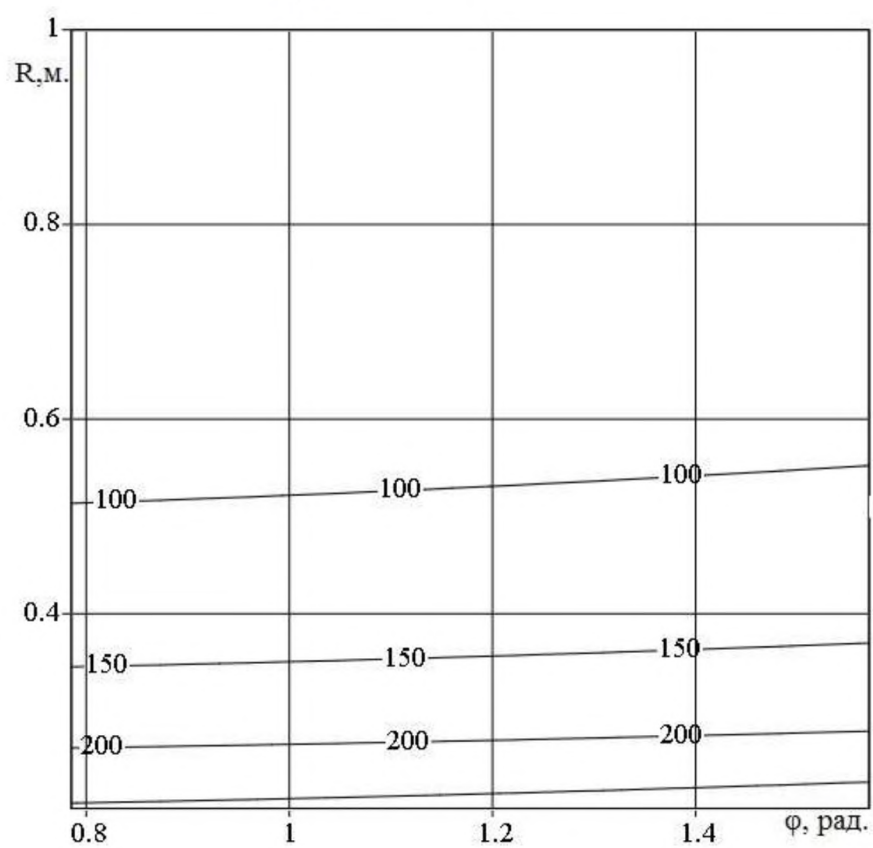
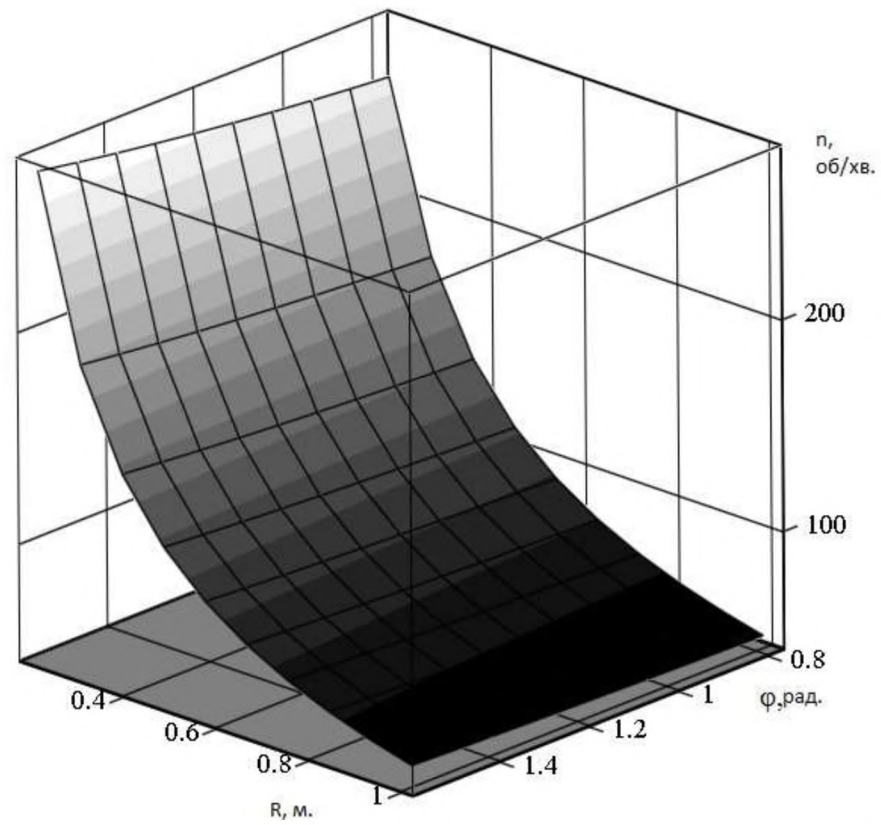


Рисунок 2.3 Графічна залежність частоти обертання барабана при змінних параметрах R та φ .

2.3. Дослідження руху частинок добрив при обкочування вздовж осі обертання

Переміщення матеріалу, що завантажується в барабанний гранулятор, вздовж його осі обумовлено різницею тисків на вході і виході з барабана. Перепад тисків створюється при зниженні рівня матеріалу, що виникає через його зсипання на розвантажувальному кінці.

Якщо ж барабан ще й встановлений під кутом α до горизонту, то частинки піднімаються перпендикулярно до осі барабана, а скочуються перпендикулярно до горизонталі, тобто під кутом α до осі. Завдяки цьому відбувається осьове переміщення матеріалу і вивантаження його з барабана.

Швидкість осьового руху визначається із таких міркувань. Довжина проєкції шляху підйому на поверхню засипки дорівнює $2R \sin(\varphi / 2)$. Довжина шляху вздовж осі барабана за час підйому $\tau_{\text{під}}$ і скочування $\tau_{\text{ск}}$ складе $S_l = 2R \sin(\varphi / 2) \operatorname{tg} \alpha$. Тому швидкість руху матеріалу вздовж осі гранулюючого барабана становитиме

$$v_{oc} = \frac{S_l}{\tau_{\text{під}} + \tau_{\text{ск}}} = \frac{S_l}{\left(\frac{\tau_{\text{ск}}}{\tau_{\text{під}}} + 1 \right) \tau_{\text{під}}}, \quad (2.11)$$

а час підйому

$$\tau_{\text{під}} = \frac{\varphi}{60\omega}, \quad (2.12)$$

З врахуванням рівнянь (2.7) та (2.12) із рівняння (2.11) одержимо рівняння осьової швидкості:

$$v_{oc} = \frac{120 \cdot R \cdot \psi \cdot \omega \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\varphi}, \quad (2.13)$$

При подачі в обертовий барабан матеріалу його рівень в завантажувальній частині збільшується. Похила поверхня утворюється не тільки в поперечному, а й в поздовжньому перетині барабана. Після досягнення кута природного відкосу матеріал зсипається, переміщуючись уздовж осі барабана.

Розглянемо стан гранул на розвантажувальному кінці, де матеріал розташований в поперечному перерізі під кутом β_δ до горизонту, а в поздовжньому перетині під кутом $\beta_\delta - \alpha$. Співвідношення швидкостей скочування в поздовжньому і поперечному напрямках пропорційний шляху скочування, тобто:

$$\frac{v_{ск.позд.}}{v_{ск.попер}} = \frac{R \cdot \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right)}{\sin(\beta_\delta - \alpha) \cdot 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\varphi}{2}}, \quad (2.14)$$

Швидкість переміщення матеріалу вздовж осі барабана буде рівною:

$$v_{ос} = v_{ск.позд.} \cdot \cos(\beta_\delta - \alpha), \quad (2.15)$$

Враховуючи рівняння (2.9) та (2.14), отримаємо:

$$v_{ос} = \frac{R \cdot \omega \cdot \psi \cdot \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right)}{2 \cdot \varphi \cdot (1 - \psi) \cdot \operatorname{tg}(\beta_\delta - \alpha)}, \quad (2.16)$$

Графічна залежність зміни швидкості переміщення матеріалу вздовж осі барабана від таких параметрів, як радіус барабана R і кута обхвату φ представлена на рис. 2.4.

Слід зазначити, що осьова швидкість залежить від кута природного відкосу, а отже від розміру часток. При русі полідисперсної суміші великі частки вивантажуються швидше, оскільки мають велику швидкість.

Кут φ в рівнянні характеризує заповнення на розвантажувальному кінці барабана. Експериментально доведено, що поверхня сикого матеріалу вздовж осі барабана має опуклу форму, тобто в міру віддалення від розвантажувального кінця товщина шару і коефіцієнт заповнення продовжують збільшуватися, але в меншій мірі.

Дона графічна залежність підтверджує доцільність використання раніше обраних параметрів R та φ .

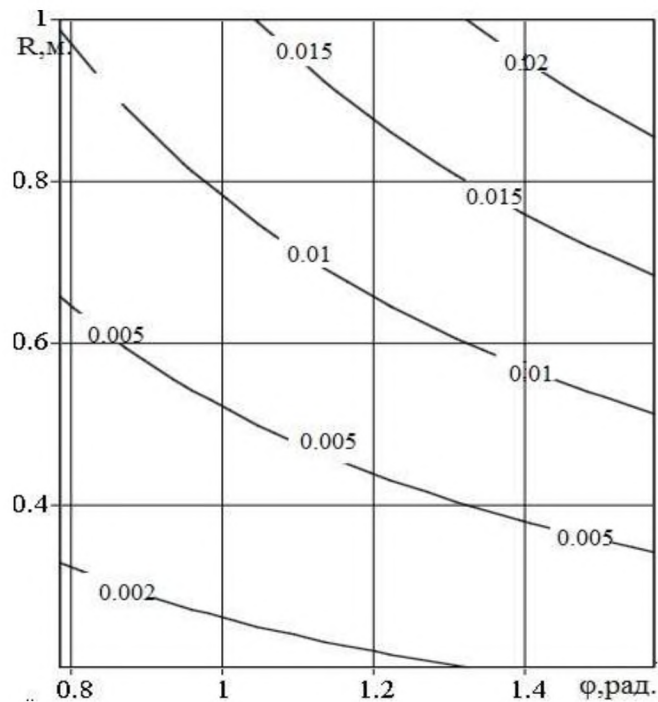
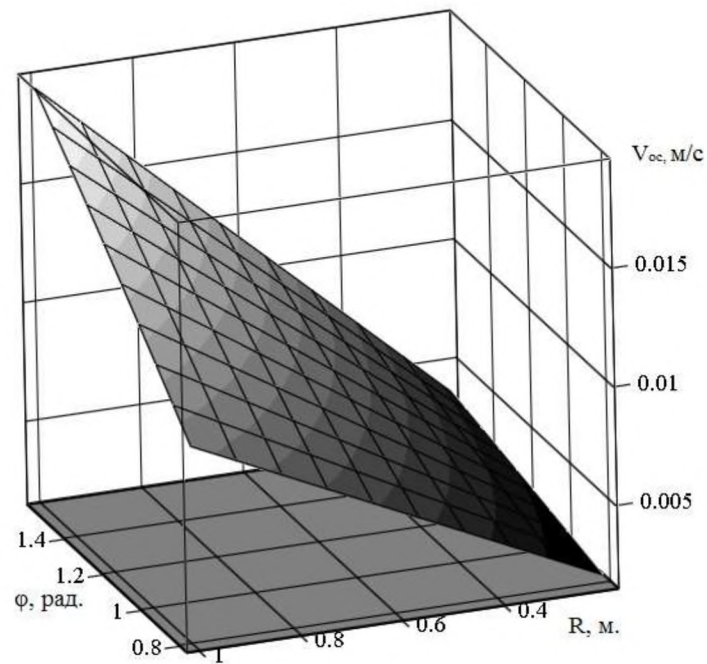


Рисунок 2.4 Графічна залежність зміни швидкості переміщення матеріалу вздовж осі барабана при відмінних параметрах R та φ

При роботі гранулятора, який має продуктивність менше розрахункової, коефіцієнт заповнення не завжди відповідає оптимальним умовам. Збільшення заповнення барабана матеріалом у такому випадку досягаємо встановленням підпирних кільця.

Оптимальна швидкість скочування є необхідною, але не достатньою умовою для отримання гранул необхідної якості. Оскільки первинні зв'язки між частинками у гранулі не є остаточним, а зіткнення частинок носять хаотичний характер, визначена швидкість скочування не забезпечує необхідного ущільнення та зміцнення гранул за один цикл скочування. Число зіткнень зростає із збільшенням числа циклів i , отже, траєкторій скочування. Таким чином, для одержання гранул заданої міцності, крім визначеної швидкості скочування, необхідно забезпечити повний шлях.

Довжину шляху можна розрахувати за формулою:

$$S = \frac{L}{v_{oc}} \cdot \frac{S_{mid} + S_{ск}}{\tau_{mid} + \tau_{ск}}, \quad (2.18)$$

де L - довжина гранулятора;

S_{mid} , $S_{ск}$ - шлях підйому і скочування гранул;

τ_{mid} , $\tau_{ск}$ - час підйому і скочування гранул.

Для розрахунку тільки часу скочування, тобто довжину тої ділянки на якій відбувається ущільнення і ріст частинок відома така формула

$$S_{ск} = 16,76 \frac{\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{\varphi} \cdot \frac{G_{max}}{G_1} \cdot R \cdot n, \quad (2.19)$$

де φ - центральний кут охоплення матеріалу засипки;

G_{max} - маса матеріалу, що відповідає повному заповненню барабана;

G_1 - продуктивність барабана;

R - радіус барабана;

n - частота обертання барабана.

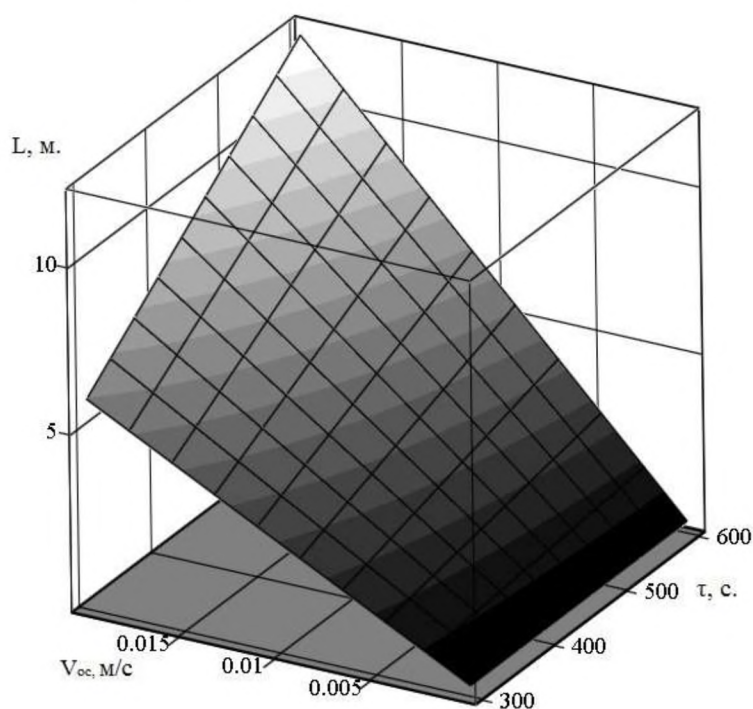
Незважаючи на чітко обґрунтований підхід дана методика розрахунку вимагає проведення експериментальних досліджень і громіздких обчислень. Оскільки при переході до грануляторів великих розмірів рекомендується зберігати розрахункову швидкість скочування і пропорційну їй швидкість підйому часток, тобто середню швидкість їх переміщення в шарі, довжина шляху буде пропорційна середньому часу перебування матеріалу $\tau_{сер}$ в грануляторі.

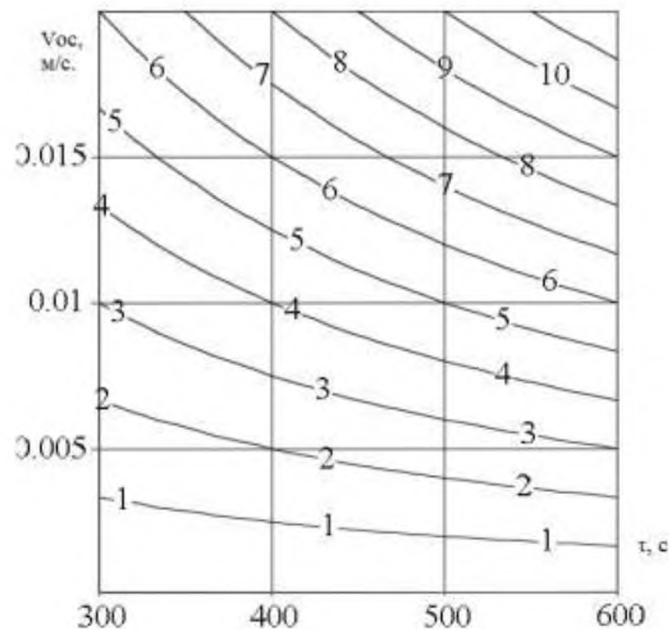
Експериментально встановити $\tau_{сер}$ значно простіше, ніж розрахунок шляху скочування. Тому для розрахунку гранулятора доцільно користуватися величиною $\tau_{сер}$, за якою легко розрахувати найважливіший конструктивний елемент гранулятора - довжину барабана

$$L = v_{ос} \cdot \tau_{сер} \quad (2.20)$$

Таким чином, для розрахунку основних розмірів гранулятора необхідно експериментально визначити кут природного відкосу даного матеріалу, а також швидкість скочування, коефіцієнт заповнення та час перебування, що забезпечують максимальний вихід гранул необхідної якості. Знаючи коефіцієнт ψ для даного кута природного відкосу і здавшись кутом нахилу барабана, за рівнянням (2.16) можна розрахувати осьову швидкість матеріалу і діаметр барабана, а потім по $v_{ос}, \tau_{сер}$ знайти довжину барабана.

Графічна залежність зміни довжини барабана L від таких параметрів, як осьова швидкість переміщення матеріалу в барабані $v_{ос}$ та час перебування гранул в барабані $\tau_{сер}$, яка визначалась шляхом розрахунку за вище вказаними формулами наведена на рис. 2.5.





Риснок 2.5 Графічна залежність зміни швидкості переміщення матеріалу вздовж осі барабана при змінних параметрах v_{oc} та τ_{cp}

З даної графічної залежності ми бачимо, що для виходу якісних гранул необхідна велика довжина барабана. Для зменшення цього параметру на барабан необхідно встановити пірне кільце, яке буде затримувати суміш та збільшуватиме необхідний час перебування гранул. Щоб визначити його діаметр скористаємось слідкуючою формулою:

$$D_k = D \cdot \cos \frac{\varphi}{2} + 0.15, \quad (2.21)$$

За прийнятих раніше конструктивних параметрів отримаємо

$$D_k = 1 \cdot \cos 35 + 0.15 = 0.97 \text{ м.}$$

Отже аналізуючи всі графічні залежності можна зробити висновок, що гранулятор ОМД буде найкраще працювати коли конструктивно-технологічні параметри будуть знаходитись в межах:

- діаметр барабана $D=1\text{м}$;
- кут обхвату $\varphi=70^\circ$;
- кут нахилу осі барабана до горизонту $\alpha=2^\circ$.

На основі (2.10) встановимо частоту обертання барабана

$$n = \frac{3,4 \cdot (1 - 0,6) \cdot 1,2 \cdot 30}{0,5 \cdot 0,6 \cdot \sin \frac{1,2}{2} \cdot \pi} = 92,2 / \text{хв.}$$

Тоді осьова швидкість матеріалу складе

$$v_{oc} = \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \cos \frac{1,2}{2}\right)}{2 \cdot 1,2 \cdot (1 - 0,6) \cdot \text{tg}(\pi / 4 - \pi / 90)} = 0,01 \text{ м / с}$$

За такої осьової швидкості та часу перебування 400 с отримаємо.

$$L = 0,01 \cdot 400 = 4 \text{ м}$$

Оскільки ми встановлюємо підпірне кільце яким регулюватимемо час перебування то довжину барабана зменшуємо на 50 % та отримаємо $L=2\text{м}$.

2.4. Висновок

Теоретичні дослідження руху матеріалу в поперечному січнні барабана показали, що збільшення діаметра барабана веде до зменшення кутової швидкості, але отримати меншу частоту обертання барабана складніше. Від кута обхвату φ частота обертання майже не залежить. Тому прийнято такі раціональні параметри: діаметр барабана $D=1\text{м}$, кут $\varphi=70^\circ$.

Дослідження руху матеріалу в поздовжньому січнні барабана показали, що довжина барабана повинна бути $L=4 \text{ м}$, але доцільніше було зменшити цей параметр за рахунок встановлення підпірного кільця, діаметр якого рівний $D_k=0,97\text{м}$, за рахунок цього кільця матеріал в барабані буде затримуватись на довший час. Остаточна довжина барабана $L=2\text{м}$.

Остаточні прийнято такі конструктивні параметри гранулятора ОМД

- діаметр барабана $D=1\text{м}$;
- діаметр підпірного кільця $D_k=0,97\text{м}$
- довжина барабана $L=2\text{м}$.
- кут обхвату $\varphi=70^\circ$;
- кут нахилу осі барабана до горизонту $\alpha=2^\circ$.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

При теоретичному обґрунтуванні параметрів та режимів роботи розроблюваної установки було виділено декілька з них, які потребують перевірки впливу на процес гранулювання ОМД. Стосовно цього була складена програма експериментальних досліджень, якою передбачено визначити:

- кута природного відкосу суміші сапропелю та добрива
- вплив вологості сапропелю на якість отриманих гранул на виході з гранулятора.

Також було проведено дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів гранулятора ОМД на вміст товарної фракції на виході з гранулятора. Для цього визначали гранулометричний склад отриманих гранул. Досліджуваними факторами при цьому були:

- частота обертання барабана;
- час перебування суміші в барабані;
- вологість сапропелю.

3.2. Прилади, обладнання та апаратура

Для визначення початкової вологості сапропелю, що був основою органо-мінеральної суміші використовувалось наступне лабораторне обладнання: сушильна електрошафа СНОЛ – 3,5.3,5.3,5/3 ИЗ з діапазоном автоматичного регулювання температури в робочому просторі від +50 до +350 °С ± 2 °С; іссикатор; бюкси; різні за об'ємом ємкості; лабораторні ваги ТВЛ 0,5.

Для визначення гранулометричного (механічного) складу ОМД використовувалось наступне лабораторне обладнання: набір сит з отворами

діаметром: 10; 6; 5; 4,5; 4; 3; 2; і 1 мм (рис.3.1.), що дає можливість розділити досліджуваний матеріал на фракції: >10 мм, 6...2 мм, <2 мм; іксикатор; бюкси; різні за об'ємом ємкості; лабораторні ваги ВЛКТ – 500 – М (рис 3.3).



Рисунок 3.1 Набір сит з отворами різного діаметра.

Визначення кутів природного відкосу проводили на приладі стандартної конструкції, який являє собою прямий паралелепіпед 1 (рис. 3.2.) з розмірами: довжина 370 мм, ширина 200 мм, висота 200 мм. У днищі верхнього відділення приладу передбачений отвір з розмірами 125×200 мм, що перекривається заслінкою 2.

Передня стінка приладу виготовлена із прозорого матеріалу. Для визначення кутів природного відкосу на прозору стінку була наклеєна міліметрова шкала, яка дозволяє визначити лінійні розміри катетів отриманих прямокутних трикутників.

Для дослідження процесу гранулювання була виготовлена експериментальна установка. Основою установки є зварна рама 1 на якій встановлюється мотор-редуктор 4 та барабан 2, який обертається на опорних роликах. Привід здійснюється за допомогою пасової передачі 3.



Рисунок 3.2 Ящик для визначення кутів природного відкосу: 1 – ящик; 2 – заслінка.



Рисунок 3.3 Обладнання для дослідження вологості: сушильна електрошафа СНОЛ – 3,5.3,5.3,5/3 ИЗ; лабораторні ваги ТВЛ 0,5; бюкси





Рисунок 3.4 Експериментальна установка камери капсулювання ОМД: 1 – рама; 2 – барабан; 3 – пасова передача; 4 – мотор-редуктор; 5 – електрощиток.

3.3. Методика визначення вологості сапропелю

Визначення вологості сапропелю проводили з використанням обладнання описаного у п. 3.2 (рис. 3.2)

Для визначення вологості брали наважки матеріалу масою 10-12 г в алюмінієві бюкси, попередньо просушені і таровані, закривали кришками та важили з точністю до 0,01г.

Після цього відкривали кришки бюксів і поміщали їх у нагріту сушильну шафу. Сушильну шафу нагрівали до 100 ± 5 °С; підтримували цю температуру на протязі усього періоду дослідження. Після 2 годин сушіння бюкси з матеріалом виймали з шафи, закривали кришками і охолоджували в ексикаторі до кімнатної температури. Охолоджені бюкси зважували і знову повертали у сушильну шафу. Наступні зважування проводили через 1 годину. Якщо різниця в масі не перевищувала 1 % від початкової маси проби, дослід припиняли. При збільшенні маси наважки для розрахунків приймали її мінімальне значення.

Вміст вологи розраховували по наступній залежності:

$$W = \frac{(m - m_1) \cdot 100}{m}, \quad (3.1)$$

де W – вологість матеріалу, %;

m – маса наважки до сушіння, г;

m_1 – маса наважки після сушіння, г.

Для проведення досліду гранулювання, нам було необхідно мати сапрпель вологістю 75, 80 та 85%. Для цього брали сапрпель з початковою вологістю 91,3% і залишали його відкритим для природного просушування на добу. Після чого визначали вологість за методикою поданою вище. Якщо значення вологості відповідали необхідному значенню $\pm 1\%$, тоді відбирали зразок та герметично закривали для подальшого використання. Щоб одержати ще меншу вологість сапрпель залишали ще на добу, до тих пір поки не було отримано зразки задовільної вологості.

3.4. Методика визначення гранулометричного складу гранул ОМД

Гранулометричний склад матеріалів характеризується відносним вмістом в них (по вазі) частинок різної величини. Для визначення гранулометричного (механічного) складу компонентів ОМД застосовували методом ситового аналізу. Досліди проводили за допомогою описаного раніше (п.3.2) ситового аналізатора (рис 3.1.). Сита збирали в колону так, щоб їх отвори зменшувались зверху вниз. Під нижнє сито встановлювали піддон, а верхнє накривали кришкою.

Для дослідження брали наважку матеріалу, що утворювала на верхньому ситі класифікатора шар товщиною не більше 10 мм. Далі, шляхом струшування класифікатора, добивались просипання всіх частинок розміром менше діаметра отворів у верхньому ситі. Для перевірки чистоти сортування брали сито із колони разом з відсортованою фракцією і здійснювали просіювання над аркушем паперу. Якщо спостерігались частинки матеріалу на поверхні аркуша, то рахували, що відсіювання даної фракції відбулось недостатньо. Сито, яке

перевірялось, повертали до аналізатора, а частинки матеріалу, що просіялись при перевірці на аркуш паперу, висипали до сита наступної фракції. Перевірку робили в основному для дрібних фракцій. Після припинення струшування, фракції, що залишились після просіювання на ситах і в піддоні зважували на технічних вагах з точністю до 0,01 г. Результати досліду вважали достовірними, коли сумарна маса всіх фракцій була рівна загальній масі початкової наважки, в іншому випадку результати дослідів анулювали.

Відсотковий вміст фракцій визначали за формулою:

$$C = \frac{m_{\phi} \times 100}{m_{\Sigma}}, \quad (3.2)$$

де C – відсотковий вміст фракції у матеріалі, %;

m_{ϕ} – маса фракцій, г;

m_{Σ} – сумарна маса початкової наважки, г.

3.5. Методика визначення кутів природного відкосу

Кути природного відкосу визначались за допомогою приладу, описаного в пункті 3.2. (рис.3.2.).

Прилад встановлювали горизонтально і заповнювали на 90 % його верхнє відділення мінеральними або органічними компонентами ОМД. Після цього висували заслінку і матеріал просипався у нижнє відділення ящика. Після закінчення просипання випробовуваного матеріалу, в нижньому відділенні на склі передньої стінки приладу спостерігали кут природного відкосу утворений насипанням $\alpha_{\text{н}}$, а у верхньому відповідно - обваленням $\alpha_{\text{обв}}$. Числові значення шуканих кутів у градусах визначали як \arctg відношення відповідних катетів отриманих прямокутних трикутників. Лінійні розміри катетів визначали з точністю до 1 мм за допомогою нанесеної на передню стінку приладу міліметрової шкали.

Досліди проводились при різних значеннях початкової вологості органічних компонентів ОМД з чотирикратною повторністю.

3.6. Методика дослідження процесу капсулювання ОМД

Дослідження проводились на установці описаній у п.3.2. (рис.3.4.)

Для проведення досліду використовували суміш сапропелю та гранул суперфосфату у співвідношенні 70% - сапропелю та 30% - суперфосфату. Сапропель використовували вологістю 75, 80 та 85%. Також змінним був параметр частоти обертання барабана і змінювався він за допомогою встановлення різного діаметру шківів на вихідному валу редуктора.

Процес гранулював здійснювався в наступному порядку: наважки сапропелю та суперфосфату у відповідній пропорції засипали в барабан, що обертається. В барабані суміш перемішувалась і гранули суперфосфату обкочувались сапропелем. Для визначення часу перебування суміші в барабані від моменту початку перемішування до моменту отримання гранул необхідної фракції, використовували секундомір.

Повторюваність досліду проводилось при змінній частоті обертання, різній вологості сапропелю та при різному часі перебування суміші в грануляторі. При цьому встановлювались параметри частоти обертання, шляхом зміни шківа на вихідному валу редуктора. Потім засипали суміш для гранулювання в барабан та вмикали в електричну мережу двигун. Одночасно запускали відлік секундоміра. Секундомір вимикали у момент коли гранули були сформовані.

Для зменшення трудомісткості було використано план реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку (Додаток А табл.А.1).

Зв'язок між закодованими і натуральними величинами факторів встановлювався так:

$$x_1 = \frac{W - W_0}{\varepsilon_2} \quad x_2 = \frac{t - t_0}{\varepsilon_1} \quad ; ; \quad x_3 = \frac{n - n_0}{\varepsilon_3}, \quad (3.3)$$

де t_0 , W_0 , n_0 - значення факторів на основному рівні, відповідно час перебування суміші вгрануляторі, вологість сапропелю, частота обертання барабана;

ε_1 , ε_2 , ε_3 - інтервал варіювання факторів.

Для трифакторного дослідження повне квадратне рівняння має вид:

$$\bar{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \quad (3.4)$$

Коефіцієнти рівняння регресії розраховували за формулами

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}, \quad (3.5)$$

$$b_j = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n x_{ji} y_i, \quad (3.6)$$

$$b_{jr} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n x_{ji} x_{ri} y_i, \quad (3.7)$$

$$b_{jj} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 y_i - \frac{1}{16} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 y_i + \frac{1}{2n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}, \quad (3.8)$$

де u – номер дослідження в центрі плану;

n_0 – кількість дослідів в центрі плану;

r, j – номери фактору дослідження;

p – кількість факторів;

i – номер дослідження;

n – кількість дослідів;

y_i – значення функції відгуку в i -му досліді;

x_{ji} , x_{ri} – кодовані значення j -го чи r -го фактору в i -му досліді;

y_{0u} – значення функції відгуку в u -му досліді в центрі плану.

Однорідність ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена. Розрахункова величина даного критерію:

$$G^{розр.} = \frac{S_{y_i \max}^2}{\sum_{i=1}^n S_{y_i}^2}, \quad (3.9)$$

де $S_{y_i \max}^2$ - найбільша із дисперсій.

$\sum_{i=1}^n S_{y_i}^2$ - дисперсія результатів в і-му досліді.

$$S_{y_i}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{g=1}^m (y_{ig} - \bar{y}_i)^2, \quad (3.10)$$

де m – число повторностей в досліді;

g – номер повторності;

y_{ig} – результат g -ї повторності і-го досліді;

\bar{y}_i – середнє арифметичне значення усіх повторностей і-го досліді.

Ряд дисперсій рахували однорідним коли

$$G^{розр.} < G^{табл.}(0.05; n; f), \quad (3.11)$$

де $G^{табл.}(0.05; n; f)$ – табличне значення критерію Кохрена за 5%-го рівня значущості, n -ї кількості дослідів та $f=m-1$ – числа ступенів вільності.

Дисперсію відтворюваності експерименту визначали за формулою:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_{0_u} - \bar{y}_0)^2}{f_1}, \quad (3.11)$$

де \bar{y}_0 – середнє арифметичне значення функції відгуку отримане за результатами n_0 дослідів в центрі плану;

$f_1 = n_0 - 1$ - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності.

Дисперсії коефіцієнтів регресії визначали за формулами:

$$S_{b_0}^2 = \frac{1}{n_0} S_y^2; \quad (3.11)$$

$$S_{b_j}^2 = 0.125 S_y^2; \quad (3.12)$$

$$S_{b_{jr}}^2 = 0.25 S_y^2; \quad (3.13)$$

$$S_{b_{jj}}^2 = 0.27083 S_y^2; \quad (3.14)$$

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії за значення критерію Ст'юдента $t(0.05;f)$ за 5%-го рівня значущості та $f = n_0 - 1$ – числа ступенів вільності в центрі плану:

$$\Delta b_0 = t(0.05;f)S_{b_0}; \quad (3.15)$$

$$\Delta b_j = t(0.05;f)S_{b_j}; \quad (3.16)$$

$$\Delta b_{j_r} = t(0.05;f)S_{b_{j_r}}; \quad (3.17)$$

$$\Delta b_{jj} = t(0.05;f)S_{b_{jj}}. \quad (3.18)$$

Коли коефіцієнт регресії менший від довірчого інтервалу, то його відкидали.

Адекватність моделі перевіряли за F-критерієм (критерій Фішера). Розрахункове значення:

$$F^{розр.} = \frac{S_{неад.}^2}{S_y^2}. \quad (3.19)$$

Дисперсія неадекватності $S_{неад.}^2$ становить:

$$S_{неад.}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - y_i)^2}{i_2}, \quad (3.20)$$

де y_i, \bar{y}_i - значення функції відгуку i -го дослідження, визначене експериментально та за рівнянням регресії;

$i_2 = n - k'$ - число ступенів вільності дисперсії неадекватності з врахуванням числа k' залишених коефіцієнтів регресії (у тому числі і b_0).

Рівняння вважали адекватним коли розраховане значення F-критерію не перевищувало табличне:

$$F^{розр.} \leq F^{табл.}(0.05; f_2, f_1), \quad (3.21)$$

де $F^{табл.}(0.05; f_2, f_1)$ – табличне значення критерію Фішера за 5%-го рівня значущості.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Результати визначення кута природного відкосу суміші компонентів ОМД

Підчас роботи барабанного гранулятора суміш розташовується під кутом природного відкосу. Для визначення параметрів барабана за формулами наведеним у розділі 2 було проведено дослідження кута природного відкосу за методикою наведеною у п. 3.4. Досліджувалась органо-мінеральна суміш на основі органічного сапропелю при змінній його вологості. Склад суміші був таким: 70 % органічний сапропель і 30 % подвійний суперфосфат. Вологість зразків сапропелю визначалась за методикою описаною у п. 3.3



Рисунок 4.1 Процес дослідження кута природного відкосу суміші сапропелю (70%) та суперфосфату (30%).

На рис. 4.2 наведено графічну залежність зміни кутів природного відкосу утворених насипанням та обваленням для суміші добрива та сапропелю у залежності від вологості останнього. Аналізуючи графічну залежність зміни кута природного відкосу утвореного насипанням та обваленням, можна зробити висновок, при збільшенні вологості відбувається зростання даного показника.

Причому найбільш інтенсивний приріст у межах зростання вологості сапропелю від 80 до 85 %

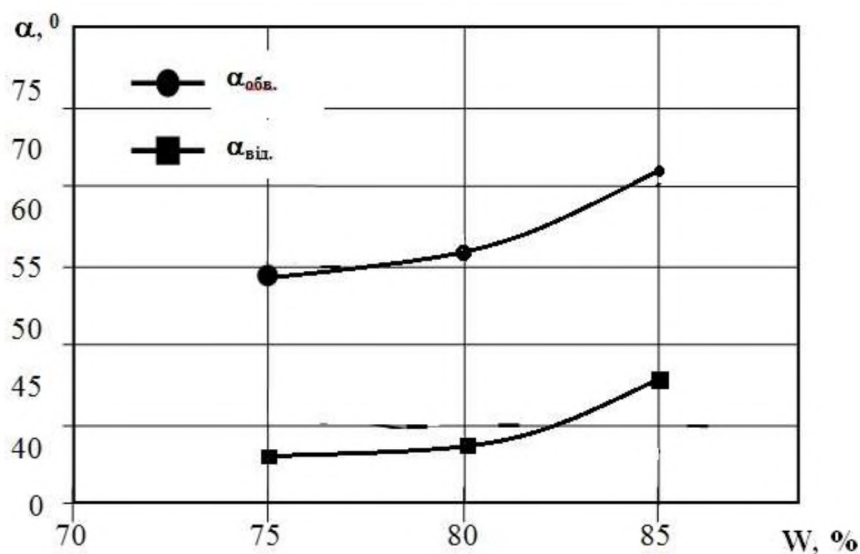


Рисунок 4.2 Залежність зміни кутів природного відкосу утворених насипанням α і обваленням $\alpha_{обв.}$ сапропелю від його вологості W

4.2. Результати дослідження впливу факторів на вміст товарної фракції в загальній масі готових ОМД на виході із камери капсулювання

Для отримання математичної моделі процесу капсулювання було проведено трифакторний експеримент згідно методики, що описана у п. 3.5. Метою експерименту було визначення відсоткового вмісту товарної фракції гранул при варіюванні таких факторів як: вологість сапропелю, частота обертання барабана та час гранулювання.

Обробка даних трифакторного експерименту, проведеного за симетричним некомпозиційним планом Бокса-Бенкіна другого порядку, здійснювалась на ПЕОМ розробленою програмою у середовищі Mathcad. При цьому однорідність ряду дисперсій експериментальних даних перевіряли за критерієм Кохрена. Оскільки, $G^{розр.} = 0,126 < G^{табл.} (0.05; 15; 2) = 0.335$ то процес відтворюється.



Рисунок 4.3 Отримані гранули ОМД.

При визначення довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії використовували критерій Ст'юдента, табличне значення якого при 5-% рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів $f_1=2$ становило $t=4.3$. Перевірку значущості коефіцієнтів регресії проводили за встановленими їх довірчими інтервалами. У результаті, рівняння регресії набуло вигляду:

$$\bar{y} = 85.33 - 1.75x_1 - 1.63x_2 + 5.2x_3 - 3.83x_1^2 - 2.25x_2^2 - 2.4x_3^2 + 0.58x_1x_2 - 0.083x_1x_3 + 0.17x_2x_3 \quad (4.1)$$

Адекватність отриманого рівняння регресії (4.1) проводили за критерієм Фішера. Розрахункове значення даного критерію при дисперсії неадекватності $S_{\text{неад.}}^2 = 4,441$ і дисперсії відтворюваності дослідів $S_y^2 = 0,333$ склало: $F^{\text{розр.}} = 13,323$. Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5-% значущості склало:

$$F^{\text{табл.}}(0.05; f_2; f_1) = 19,30,$$

де $f_2 = 6$ - число ступенів вільності дисперсії неадекватності;

$f_1 = 2$ - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Оскільки, $F^{\text{розр.}} = 13,323 < F^{\text{табл.}}(0.05; f_2; f_1) = 19,30$, то і рівняння регресії адекватно описує досліджуваний процес

Остаточне рівняння регресії із факторами у натуральному вигляді запишеться:

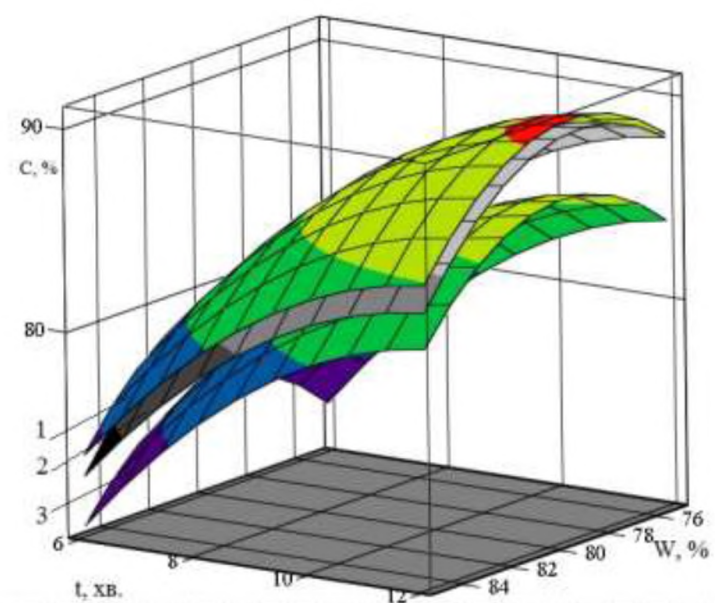
$$c = -894.324 + 23.864 \cdot W + 0.104 \cdot n + 6.806 \cdot t - 0.0055 \cdot W \cdot t - 0.26 \cdot t^2 - 0.0056 \cdot n^2 + 0.0058 \cdot W \cdot n + 0.0028 \cdot n \cdot t - 0.153 \cdot W^2, \quad (4.2)$$

де W - вологість сапропелю, %;

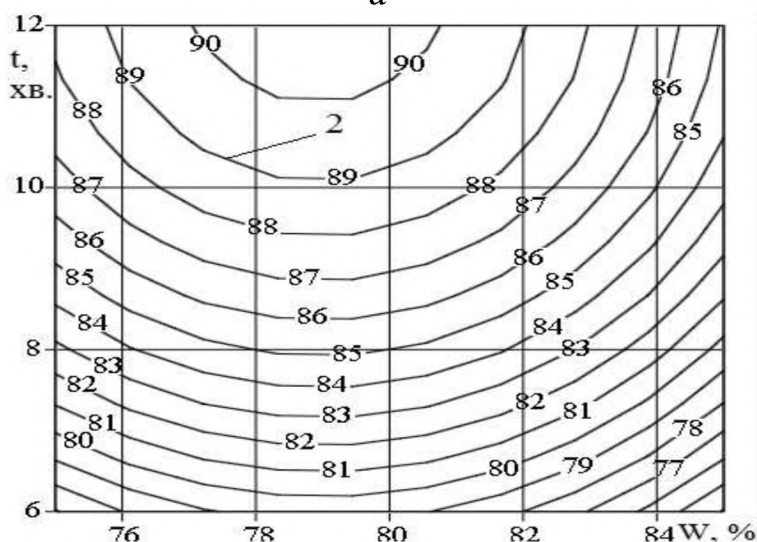
n - частота обертання барабана, об/хв.;

t - час гранулювання, хв.

За отриманим рівнянням регресії (4.2) були побудовані поверхні відгуку (рис.4.4, а) та графіки ліній рівня (рис.4.4, б) для відслідковування динаміки зміни виходу товарної фракції із загальної маси готових ОМД на виході із гранулятора y %.



а



б

Рисунок 4.4 – Графічні залежності вмісту товарної фракції y у готових ОМД на виході із гранулятора у %. 1 – $n=40$ об/хв, 2 – $n=60$ об/хв, 3 – $n=80$ об/хв

Аналіз отриманих результатів показує, що всі досліджувані фактори мають суттєвий вплив на вміст товарної фракції в загальній масі готових ОМД на виході із гранулятора. Проте вміст гранул із діаметром від 2 до 6 мм (товарна фракція) досяг 90 % за вологості сапропелю у межах 77-81 %, часу перебування гранул у грануляторі 11 – 12 хв та частоті обертання барабана 40-60 об/хв.

Також встановлено, що зростання частоти обертання барабана збільшує вміст товарної фракції на 2-3 %. Тому збільшення частоти обертання до 60 об/хв є недоцільним через необхідність збільшення довжини барабану для забезпечення необхідного часу перебування гранул у ньому.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз відомих досліджень виявив значні перспективи використання у сільськогосподарському виробництві сапропелів. Також було встановлено, що підвищення ефективності від використання органічної речовини сапропелю можна досягти шляхом використання органо-мінеральних добрив на його основі. Особливо це стосується ОМД у гранульованій формі.

Вивчення конструкцій грануляторів, які використовуються у різноманітних галузях промисловості показало, що вони не здатні забезпечити надійний процес гранулювання органо-мінеральних сумішей на основі сапропелю. При розробці нових конструкцій слід прагнути створити машину, що здатна працювати із сапропелем природної вологості та забезпечувати максимальний вихід товарної фракції кінцевої вологості.

2. Теоретичні дослідження руху частинок в поперечному січенні гранулюючого барабана показали, що збільшення діаметра барабана веде до зменшення кутової швидкості, але отримати меншу частоту обертання барабана складніше. А від кута обхвату φ частота обертання майже не залежить. Тому було прийнято такі раціональні параметри: діаметр барабана $D=1\text{м}$, кут $\varphi=70^\circ$.

3. Дослідження руху матеріалу в поздовжньому січенні барабана показали, що довжина барабана повинна складати $L=4\text{ м}$., але доцільно зменшити цей параметр за рахунок встановлення підпiрного кільця. Діаметр якого рівний $D_k=0,97\text{м}$.. За рахунок підпiрного кільця матеріал в барабані буде перебувати необхідний час за довжини барабана $L=2\text{м}$.

Тому гранулятор ОМД буде забезпечувати якісний процес гранулювання за таких конструктивно-технологічних параметрів камери капсулювання:

- діаметр барабана $D=1\text{м}$;
- діаметр підпiрного кільця $D_k=0,97\text{м}$
- довжина барабана $L=2\text{м}$.
- кут обхвату $\varphi=70^\circ$;
- кут нахилу осі барабана до горизонту $\alpha=2^\circ$.

4. У результаті експериментальних досліджень процесу капсулювання було встановлено, що найбільший вплив на процес гранулювання чинять вологість сапропелю, частота обертання барабана та час гранулювання. При підвищеній вологості сапропелю спостерігалось утворення гранул великого розміру, а кількість товарної фракції складала менше 50%, а при понижених значеннях вологості на утворення гранул необхідної фракції затрачався час більший допустимого.

5. Візуальне спостереження за процесами, які відбувались при зміні частоти обертання барабана показали, що оптимальне значення цього параметру складає 60 об/хв. При збільшенні відбувалось часткове руйнування гранул, а при зменшенні перемішування суміші відбувалась повільно і відповідно утворення гранул відбувалось із перевищенням допустимих затрат часу. Час який затрачався на утворення гранул залежав від вологості сапропелю та частоти обертання барабана.

6. Аналіз результатів отриманих у процесі дослідження роботи камери капсулювання з використанням математичного методу планування експерименту показав, що всі досліджувані фактори (вологість сапрпоелю, частота обертання барабана та час гранулювання) мають суттєвий вплив на вміст товарної фракції в загальній масі готових ОМД на виході із гранулятора. Проте вміст гранул із діаметром від 2 до 6 мм (товарна фракція) досяг 90 % за вологості сапропелю у межах 77-81 %, часу перебування гранул у грануляторі 11 – 12 хв та частоті обертання барабана 40-60 об/хв.

Також встановлено, що зростання частоти обертання барабана збільшує вміст товарної фракції на 2-3 %. Тому збільшення частоти обертання до 60 об/хв є недоцільним через необхідність збільшення довжини барабану для забезпечення необхідного часу перебування гранул у ньому.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бодак В. І. Розробка і дослідження механізмів для добування сапропелів. Дис... канд. техн. наук. 05.20.01 Луцьк, 1996. -209 ст.
2. Гуцаленко О. В. Методика розрахунку конструктивних параметрів та технологічних параметрів бункерів розкидачів мінеральних добрив. / Збірник наукових праць НАУ “Механізація сільськогосподарського виробництва.” Том V11 ” Сучасні проблеми механізації сільськогосподарського господарства.” – Київ: НАУ, 2000. С. 260 – 266.
3. Пат 7797 України, F26 В 11/04. Барабанна сушарка-гранулятор / Цизь І.Є., Дідух В.Ф., Величко В.Л., Грабовець В.В. - №20041109178; Заявл. 9.11.04; Опубл. 15.07.2005. Бюл. № 7.
4. Радик Д. Л. Розробка і дослідження енергозберігаючих гвинтових живильників. Дис... канд. техн. наук. 05.20.04. Тернопіль, 1996. -175 с.
5. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва. Дис... докт. техн. наук.05.20.05, 05.05.05. Тернопіль, 1997. -500 с.
6. Шевчук М. Й., Дідух В. Ф., Цизь І. Є. Виробництво і використання органо-мінеральних добрив. / Вісник аграрної науки, 2000, № 2. С. 9-12.
7. Шевчук М. Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання. –Луцьк: Надстир’я, 1996. -383 с.
8. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. –К.: НМК ВО, 1992. –320 с.
9. Б. В. Радчук, І. Є. Цизь .Обґрунтування конструкції гранулятора ОМД на основі сапропелю.// Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. – Вип. 28. – Луцьк: Ред. – вид. відділ Луцького НТУ, 2014.
10. Аністратенко В.О. Математичне планування експериментів в АПК: навч. посібник / В.О. Аністратенко, В.Г. Федоров. - К.: Вища шк., 1993. - 375 с.

11. Ґрунти України: Властивості генезис, менеджмент родючості: [навчальний посібник] / [В.І. Купчик, В.В. Іваніна, Г.І. Нестеров та ін.]. – К.: Кондор, 2007 – 213с.

12. Mechanical Engineering Handbook. Ed. Frank Kreith Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. 2466 p.

13. A. S. Mujumdar Principles, Classification, and Selection of Dryers. Handbook of Industrial Drying. 2006 by Taylor & Francis Group, LLC pp. 4-31

14. Дідух В.Ф., Тарасюк В.В. Технології та технічні засоби виробництва органо – мінеральних добрив. Монографія.- Луцьк: Ред.-вид. Луцького НТУ, 2015. -152 с.

15. Jotautiene E., Mioldazys R., Gaudutis A., Aboltins A. Granulation of poultry manure and biochar for production of organic fertilizers. Proceedings of 20st International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”, May 26.-28, 2021, Jelgava, Latvia, pp. 431-436.

16. Borowski G. An overview of particle agglomeration techniques to waste utilization. Journal of Ecological Engineering 2021, 22(9), 263–271 <https://doi.org/10.12911/22998993/141884>.

17. Khomych S., Tsiz I., Tarasyuk V., Khlopetscyi R. Development of a method and study of the process of granular fertilizer production based on sapropel // 23nd International Scientific Conference Engineering for Rural Development. Jelgava, 22.-25.05.2024. Pp. 363-368.

18. Гнатюк М. Спосіб отримання гранульованих оmd на основі сапропелю // Тези IV студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, Луцький НТУ. С. 51-55.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1. - Матриця планування трифакторного експерименту

№ досліду	Черговість проведення дослідів	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	x_1^2	x_2^2	x_3^2
1	6	+1	+1	0	+1	0	0	+1	+1	0
2	1	-1	+1	0	-1	0	0	+1	+1	0
3	12	+1	-1	0	-1	0	0	+1	+1	0
4	3	-1	-1	0	+1	0	0	+1	+1	0
5	4	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1
6	7	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1
7	2	+1	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1
8	10	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1
9	15	0	+1	+1	0	0	+1	0	+1	+1
10	8	0	-1	+1	0	0	-1	0	+1	+1
11	4	0	+1	-1	0	0	-1	0	+1	+1
12	13	0	-1	-1	0	0	+1	0	+1	+1
13	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця А.2. - Фактори і рівні варіювання

Рівні варіювання	Фактори		
	Вологість сапропелю W, %	Частота обертання барабана, об/хв.	Час гранулювання, хв
	x_1	x_2	x_3
Верхній (+1)	85	80	12
Основний (0)	80	60	9
Нижній (-1)	75	40	6
Інтервал варіювання, ϵ	5	20	3

Таблиця А.3. - Планування черговості проведення експерименту та середні значення вмісту товарної фракції

Черговість проведення дослідів	Фактори			
	Вологість сапропелю W, %	Частота обертання барабана, об/хв.	Час гранулювання, хв.	Вихід товарної фракції, %
6	75	60	12	88
1	85	80	9	76
12	80	40	6	75
3	85	40	9	82
4	75	40	9	85
7	85	60	6	73
2	75	80	9	76
10	80	40	12	87
15	80	60	9	86
8	75	60	6	77
11	80	80	6	75
13	80	60	9	86
9	80	80	12	87
5	75	40	9	82
14	80	60	9	86

Звіт подібності

метадані

Заголовок

Гнатюк_208_2024

Автор

Гнатюк М.В. Науковий керівник / Експерт

підрозділ

Lutsk National Technical University

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв	Ⓡ	14
Інтервали	A→	0
Мікропробіли		0
Білі знаки	Ⓡ	0
Парафрази (SmartMarks)	a	122

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

9804

Кількість слів

76389

Кількість символів

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Копір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	http://ni.biz.ua/2/2_10/2_103091_granulyatori-barabannogo-tipa.html	87	0.89 %
2	http://ni.biz.ua/2/2_10/2_103091_granulyatori-barabannogo-tipa.html	86	0.88 %
3	http://ni.biz.ua/2/2_10/2_103091_granulyatori-barabannogo-tipa.html	72	0.73 %
4	http://ni.biz.ua/2/2_10/2_103091_granulyatori-barabannogo-tipa.html	68	0.69 %
5	Назаркевич_28_2024 11/28/2024 Lutsk National Technical University (Lutsk National Technical University)	52	0.53 %

6	Назаркевич_28_2024 11/28/2024 Lutsk National Technical University (Lutsk National Technical University)	48	0.49 %
7	http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/3664_Dis.pdf	48	0.49 %
8	Назаркевич_28_2024 11/28/2024 Lutsk National Technical University (Lutsk National Technical University)	44	0.45 %
9	https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/article/download/184/157/	44	0.45 %
10	http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/3664_Dis.pdf	42	0.43 %

з домашньої бази даних (4.10 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	Назаркевич_28_2024 11/28/2024 Lutsk National Technical University (Lutsk National Technical University)	348 (17)	3.55 %
2	Дулько_208_2024 12/10/2024 Lutsk National Technical University (Lutsk National Technical University)	42 (2)	0.43 %
3	Дмитрук_208_2024 11/28/2024 Lutsk National Technical University (Lutsk National Technical University)	12 (1)	0.12 %

з програми обміну базами даних (0.41 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	Обґрунтування конструкції дозуючого пристрою машин для внесення органо-мінеральних добрив 5/8/2019 Lviv National Agrarian University (LNAU) ((МЕХ) Кафедра Машинобудування)	40 (3)	0.41 %

з Інтернету (15.14 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	http://ni.biz.ua/2/2_10/2_103091_granulyatori-barabannogo-tipa.html	806 (29)	8.22 %
2	https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/article/download/184/157/	322 (20)	3.28 %
3	http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/5435/11/dis_Homych.pdf	216 (18)	2.20 %
4	http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/3664_Dis.pdf	140 (7)	1.43 %

Список прийнятих фрагментів (немає прийнятих фрагментів)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗМІСТ	КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
------------------	-------	---------------------------------------