

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу формування органо-мінеральних гранул на гвинтовій поверхні і розробка сушарки-гранулятора»

Виконав: студент 2 курсу, групи ОСВмз-21
спеціальності 133 Галузе
машинобудування
за освітньо-професійною
програмою «Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»

Оліфірук Ю.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Цизь І.Є.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП

Тарасюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Дацюк Л.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет	<i>аграрних технологій та екології</i>
Кафедра	<i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Освітній ступінь	<i>магістр</i>
Спеціальність	<i>133 Галузеве машинобудування</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ:

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

доцент, к.т.н. _____ В.В. Сацюк
«10» січня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Оліфірук Юлії Анатоліївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу формування органо-мінеральних
гранул на гвинтовій поверхні і розробка сушарки-
гранулятора

керівник роботи Цизь Ігор Євгенович, доцент, к.т.н.

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

затверджені наказом Луцького НТУ від «10» січня 2023 р. № 11/01-02

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

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

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основна частина.
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. Конструктивні особливості вузлів аналогів	1 лист
3. Теоретичні положення	1 листи
4. Схема функціональна	1 лист
5. Креслення розроблюваного вузла	1 лист
6. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
7. Результати експериментальних досліджень	1 лист
8. Методика багатофакторного експерименту	1 лист
9. Результати експерименту з використанням математичного методу планування	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 магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10.	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11.	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Оліфірук Ю.А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Цизь І.Є.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПШ

_____ (підпис)

Тарасюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Оліфірчук Ю.А. Дослідження процесу формування органо-мінеральних гранул на гвинтовій поверхні і розробка сушарки-гранулятора. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023.

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 теоретичних і експериментальних досліджень та розроблена функціональна схема нової машини для гранулювання та сушіння органо-мінеральних добрив на основі сапропелю та конструкцію сушильної камери.

Ключові слова:

Органо-мінеральні добрива, гранулятор, сушарка, дослідження, вібратор, гвинтова поверхня, рівняння регресії.

ABSTRACT

Olifirchuk Yu.A. Study of the process of formation of organo-mineral granules on a helical surface and development of a dryer-granulator. Manuscript. Master's qualification work of EP "Machinery and equipment for agricultural production" specialty 133 Industrial machinery engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023.

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 paper presents the results of theoretical and experimental research and developed a functional diagram of a new machine for granulation and drying of organically mineral fertilizers based on sapropel and the design of a drying chamber. Keywords: organically mineral fertilizers, granulator, dryer, research, vibrator, helical surface, regression equation.

ЗМІСТ

Завдання	
АНОТАЦІЯ	3
ABSTRACT.....	4
ЗМІСТ.....	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Загальна характеристика органо-мінеральних добрив та компонентів, що входять до їх складу	10
1.2. Огляд конструкцій грануляторів.....	14
1.3. Аналіз досліджень фізико-механічних властивостей органічних і мінеральних компонентів ОМД	21
1.4. Актуальність проблеми, мета та завдання дослідження.....	23
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГРАНУЛЯТОРА-СУШАРКИ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ГРАНУЛ.....	25
2.1. Обґрунтування конструкції пристрою для гранулювання органо-мінеральних добрив.....	25
2.2. Обґрунтування конструктивних параметрів робочої поверхні гранулююче-сушильної камери.....	27
2.3. Обґрунтування коливної системи гранулююче-сушильної камери.....	32
2.3.1. Обґрунтування продуктивності гранулююче-сушильної камери.....	32
2.3.2. Розрахунок амортизаторів.....	35
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	39
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	39
3.2. Прилади, обладнання та апаратура.....	39
3.3. Методика визначення вологості органо-мінеральної суміші.....	41
3.4. Методика приготування органо-мінеральних сумішей на основі сапропелю	43

3.5. Методика дослідження кута тертя гранул органо-мінеральних добрив.....	44
3.6. Методика перевірки часу перебування гранул у сушильній камері.....	45
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	50
4.1. Результати дослідження кута тертя гранул органо-мінеральних добрив.....	50
4.2. Результати дослідження часу перебування гранул ОМД у сушильній камері.....	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59
ДОДАТКИ.....	61

ВСТУП

Актуальність дослідження. Одне з найважливіших завдань, яке стоїть перед сільським господарством – зупинка деградації та відтворення родючості ґрунтів. За роки незалежності України ґрунти були виснажені, адже в ґрунт вносились в мізерній кількості органічні добрива. Кількість гумусу у ґрунті значно зменшилась, а це як відомо веде до загальної деградації ґрунтів. Щоб відновити родючість ґрунту, а також підвищити врожайність рослин, у ґрунт слід вносити органічні і збалансовану кількість мінеральні добрива. Органічні добрива вносяться для відновлення гумусу у ґрунті, а мінеральні компенсують винесені з врожаєм компоненти.

Зазвичай, основним органічним добривом, яке вносилося, був гній, але через те, що кількість поголів'я великої рогатої худоби значно зменшилось то одним із напрямків вирішення цієї проблеми є внесення у ґрунт сапропелю. До ще кращих варіантів є внесення органо-мінеральних сумішей на основі сапропелю і особливо у гранульованій формі. На даний час вже виготовляються експериментальні партії 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 макро- та мікроелементів, що відповідає конкретним ґрунтовим умовам. Такий пристрій повинен забезпечувати мінімальні питомі затрати енергії на процес гранулювання та сушіння сформованих гранул, а також максимальний вихід зазначеної вище фракції добрив.

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

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає у розробці конструкції та обґрунтуванні параметрів сушильно-формульної камери гранулятора-сушарки для формування гранул органо-мінеральних добрив із одночасним їх сушінням.

Задачі дослідження: теоретично обґрунтувати конструктивні параметри робочої поверхні сушильно-формульної камери; провести експериментальні дослідження впливу температури поверхні, та складу гранул ОМД на кут їх тертя; встановити закономірність впливу параметрів дебалансного вібратора на час перебування гранул у сушильно-формульній камері.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес гранулювання органо-мінеральної суміші.

Предмет дослідження. Залежність часу перебування гранули органо-мінеральних добрив у сушильній камері від параметрів дебалансного вібратора.

Методи та способи вирішення поставлених завдань. У роботі використовувались методи теоретичних та експериментальних досліджень. Так теоретичне обґрунтування параметрів гвинтової поверхні сушильної камери здійснювалось на основі методів аналізу та синтезу, теоретичної механіки та теорії транспортування вантажів. Реалізація експериментальних досліджень базувалась на використанні вимірювального обладнання у вигляді електронних ваг ТВЛ-0,5, цифрового термометра та спеціально виготовленої експериментальної установки сушильної камери.

Науково-технічна новизна одержаних результатів:

- обґрунтована конструкція пристрою для гранулювання органо-мінеральних добрив у вигляді гвинтової поверхні та розроблено функціональну схему гранулятора-сушарки;
- проведено експериментальні дослідження часу перебування гранул ОМД у сушильній камері;
- проведено експериментальні дослідження кута тертя гранул органо-мінеральних добрив.

Практичне значення одержаних результатів. Комплекс теоретичних та експериментальних досліджень дозволив розробити універсальну конструкцію

гранулятора-сушарки органо-мінеральних добрив яка забезпечує максимальний вихід фракції добрив із визначеними технічними вимогами характеристиками.

Апробація роботи. Основні положення наукових досліджень, що містяться в роботі, доповідались й обговорювались на III студентській науково-технічній конференції факультету АТЕ „Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні” (Луцьк, 2023 р.)

Публікації. Основні дослідження магістерської роботи опубліковано у тезах конференції.

Положення що виносяться на захист. Конструкція сушарки-гранулятора органо-мінеральних сумішей та теоретично і експериментально обґрунтовані конструкційні та технологічні його параметри сушильної камери.

Структура і обсяг магістерської роботи. Необхідність розв’язання поставлених задач зумовила наступну структурно-логічну будову роботи: вступ, чотири розділів, висновки, список джерел посилання з 14 назв та 1 додатка. Основна частина магістерської роботи розміщена на 60 сторінках.

РОДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Загальна характеристика органо-мінеральних добрив та компонентів, що входять до їх складу

Під терміном органо-мінеральні добрива (ОМД) прийнято розуміти комплексні добрива які містять органічну речовина, мінеральні макрокомпоненти (фосфор, азот і калій), а також за необхідності мікродобавки.

У той же час загальна назва ОМД об'єднує велику кількість різновидів добрив, які відрізняються як за агрегатним станом, ефективністю від їх застосування, екологічною безпекою, так і складовими, що включені до їх складу.

ОМД володіють широким рядом характеристик, які створюють можливість досягнення нового рівня у веденні сільськогосподарського виробництва. До основних таких характеристик належить висока ефективність від використання, хороші фізико-механічні властивості, [9].

Відомо, що поповнення гумінового комплексу ґрунту забезпечують органічні добрива. У якості органічних добрив використовують: фекалії тварин та суміші на їх основі, торф, сапрпель, буре вугілля, відходи харчової промисловості, русню тощо. Але використання наведених матеріалів у чистому вигляді є малоефективним. Особливо через високу собівартість логістики. Значне покращення даного показника досягається за рахунок активації гумінових речовин компонентів через дію на них мінеральних складових і формування ОМД. Виготовлення гранульованих ОМД забезпечує ще більше зростання економічної ефективності від застосування таких добрив [9].

Зменшення зони контакту мінеральних компонентів у ОМД з машинами, що застосовуються для їх внесення, знижує загальну корозію у 2,4-2,5 рази, а на

леговану сталь ОМД практично не чинить корозійної дії [9].

Під час виготовлення гранульованих ОМД утворюється складна структура, у якій можна виділити такі зони: 1 – органічна серцевина; 2 – наповнювач (мінеральні добрива); 3 – міжфазний шар.

Така структура забезпечує повільне вимивання мінеральної частини з органічної серцевини, що гарантує поступове надходження поживних речовин до рослини під час вегетації основної культури, а також і в післядії [9].

Технологічний процес виготовлення ОМД створює передумови для отримання добрив із запрограмованим співвідношенням NPK, що забезпечує режими живлення рослин які відповідають їх виду та ґрунту на яких вони вирощуються.

ОМД розділяються на дві великі групи: органо-мінеральні суміші і компости та гранульовані ОМД. До кожної з цих груп належать підгрупи, що відрізняються за видом і агрегатним станом компонентів, які входять до їх складу.

Залежності від типу органічних компонентів відомі добрива на основі торфу, сапропелю, гною, гноївки, бурого вугілля, відходів лісової та харчової промисловості, тощо.

Мінеральну частини ОМД формують макроелементи: азоті, фосфорні, калійні добрива, які можуть перебувати в складі різноманітних сполук та перебувати в різному агрегатному стані. Мінеральна складова може включати або один чи два компоненти або весь комплекс NPK.

ОМД у гранульованій формі розрізняють за способом отримання гранул: пересуванням, екструзією, формування [9].

В останні десятиріччя ОМД залишаються вічно перспективними добривами без реального їх впровадження у виробництво. Розроблені технологічні схеми і різноманітне обладнання для приготування органо-мінеральних сумішей [3, 9], а також для виготовлення гранульованих ОМД.

У той же час в багатьох країнах ЄС широко застосовуються органо-мінеральні добрива: Франція – гумобі, гумат рекс; Чехія – вітагум; Австрія –

фольгомон; Німеччина – гумінал, індустрігумус; Італія – умекс, умекс-сід.

Випробування ОМД в умовах аграрних підприємств та науково-дослідних установ Волинської області свідчать про високу їх ефективність [9]. Результати польових досліджень внесення у нормі 2 т/га врозкид ОМД на основі сапропелю вказують на те, що забезпечує отримання радіологічно-чистої продукції.

Органічним компонентом ОМД, який набув найбільшого поширення є торф. Родовища торф за своєю природою і властивостями є дуже різноманітні. Тому торф розрізняють за умовами утворення (тип торфу) – верховий, низинний і перехідний; характером рослинності, що входять до його складу (вид торфу) – моховий, трав'яний, деревинний. Враховують ступінь розкладу (мінералізації) – слабо- 5-25%, середньо - 25-40%, сильно розкладений - 40%.

Можливість використання торфу для виробництва ОМД визначається поглинаюння аміаку, яка коливається в залежності від виду торфу від 0,7 до 1.15 %. Придатність торфу до використання як компонентом ОМД визначає ступінь його розкладу.

Через скорочення запасів торфу, проблеми пов'язані з рекультивацією закритих родовищ, його використання максимально скорочено. Альтернативою органічної речовини для ОМД є сапропелі. Загальному в Україні виявлені запаси сапропелів на рівні 140 млн. т. при 60% вологості [8].

Добуванню сапропелів створює можливість не тільки для отримання якісного органічного добриво, а і відновлення озер, які стають болотами, і таким чином покращення екологічної обстановки області.

Властивості і склад сапропелів дуже різноманітні. через розклад рослинних і тваринних решток, які є його складовою, при різних умовах.

У природному стані, сапропелі можуть мати колір: коричневий, темно сірий, чорний, червонуватий, сіро-жовтий, голубенький, зеленуватий, рожевий,. Кольорова гама відповідає за вміст органічних і неорганічних речовин: зеленуватий - хлорофілу, рожевий - каротину, чорний котрий швидко

насичується на повітрі – заліза, сієрнький- домішок вапняків). Після попадання на денну поверхню колір сапрпелью часто змінюється через окислення. Видобутий продукт повільно сохне, віддавши вологу - поглинає погано і набуває твердості. Після розривання залишків рослинних волокон у процесі проморожування сапрпель швидше віддає воду і висихає [1].

Володіючи значною липкістю сапрпель не проходить через пори ґрунтів. Покращенню водно-фізичних властивостей ґрунтів, структури, надання рихлості, збільшенню повітропроникності сприяє висока вологоутримуюча і низька фільтраційна здатність сапрпелью.

Головним мінеральних компонентів ОМД є азот оскільки він є основою живлення сільськогосподарських культур. На нього припадає 16 - 18% ваги білка рослин.

Всі форми азотних добрив об'єднують у три групи, що відрізняються видом сполук азоту в добриві: аміачні, нітратні і амідні [10]. Аміачні добрива: аміак безводний, аміачна вода, аміачна селітра, сульфат амонію, хлористий амоній. До нітратних належать: натрієва селітра, кальцієва селітра. Амідні добрива - сечовина.

І саме сечовина ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), є цікавим компонентом ОМД оскільки містить що містить 46% азоту у формі амиду. При цьому висока концентрація азоту поєднана із легкою розчинністю у воді. Тому сечовина хороша складова для створення складних і змішаних добрив.

Другим макроелементом є фосфор, який за важливістю для рослин, програє лише азоту. Він є складником білків, входить до складу ферментів, що регулюють біохімічні процеси рослинних і тваринних організмів, завдяки ньому проходить дихання рослин і синтез вуглеводнів [10]. Вміст фосфору у тканинах рослин незначний, а в насінні його вміст досягає 1%. Під час появи паростка насінина витрачає весь запас фосфору і недостача його різко знижує розвиток кореневої системи. Нестача фосфору впливає і на зовнішньому вигляді рослин через скручування листків, утворення плям різних кольорів.

Загалом фосфорні добрива ділять на 3 групи: 1 – водорозчинні (простий і

подвійний суперфосфат); 2 – розчинні у слабких кислотах (преципитат, обезфторені фосфати, фосфатшлаки); 3 – частково розчинні в слабких кислотах (фосфоритна і кісткова мука).

Особливо добре використовується на всіх типах ґрунтів суперфосфат подвійний, який не містить сульфату кальцію. Залежно від сировини вміст фосфору у ньому коливається від 38 до 54% [10].

Калій, як і попередні три макроелементи, є дуже важливим для рослин і сприяє активності синтезуючих систем рослин. Нестача калію веде до посилення в'янення рослин, гальмує синтез білка тощо. Калій сприяє схожості зерна, холодостійкість рослин і стійкість їх до вилягання [10].

Найбільшу поширенням видом калійних добрив є хлористий калій [10]. Але високий вміст хлору у даному добриві створює проблеми у його застосування під картоплю, льон, гречку, бобові, цитрусові, виноград.

Ткий вид калійних добрив, як калімагнезій ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$) є безпечним, для зазначених рослин. Він містить окрім сульфату калію (K_2O – 19%) ще й сульфат магнію. Вміст у даному добриві магнію забезпечує особливу цінність цього добрива. Адже магній це один із найголовніших мікроелементів, що є необхідним для з життєдіяльності рослин.

Даний вказує, що ОМД доцільно виготовляти на основі сапропелю. Такі добрива забезпечать зростання родючості ґрунтів, покращення екологічної обстановки області шляхом очищення озер. Суттєве зниження собівартості таких добрив можна досягти шляхом при використанні у їх складі агроруд місцевих родовищ, а також відходів інших виробництв.

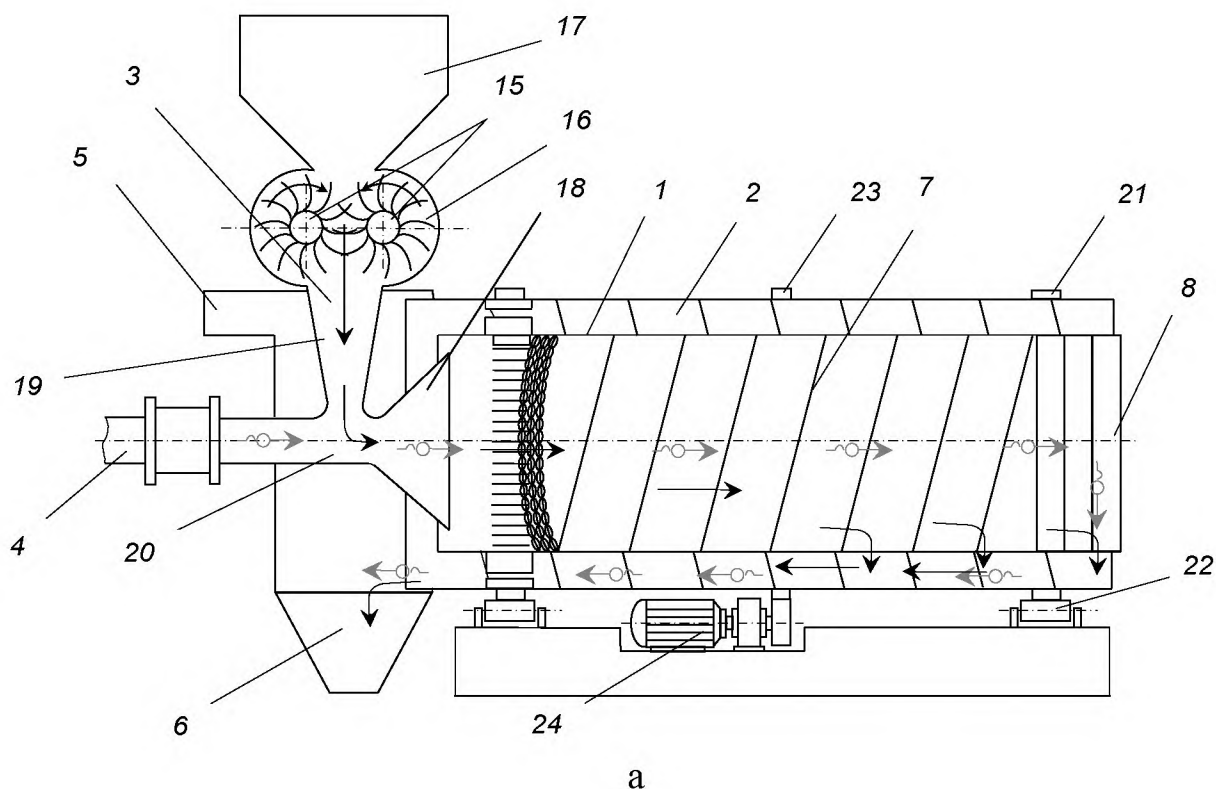
1.2. Аналіз конструкцій грануляторів

Під гранулюванням розуміють процес перетворення матеріалу у гранули. З латинської *granulum* - зернятко.

За рахунок реалізації гранулювання формується структура, яка характеризується міцністю, злежуваністю і певними закономірностями

розчинності у воді. Вказана структура формується, як на стадії утворення гранул в грануляторі так і у процесі сушіння та сепарації.

Для реалізації на практиці методу обкочування (формування) для отримання гранул ОМД розроблена конструкція барабанної сушарки-грануляторах (рис. 1.1), яка містить крутний барабан 1, зворотній транспортер 2, пристрій для розбрискування пульпи 3, патрубки подавання 4 та віддавання теплоносія 5, розвантажувальний пристрій 6. Крутний барабан 1 містить розташовані у ньому пластини 7 та млин 8, стиржні 9 із цепкам 10 [5]. На зовнішній стороні крутного барабану встановлені лопатки. На зворотному транспортері 2 закріплені лопатки 14. Пристрій для розбрискування пульпи містить два бітри 15 із лопатками 16, бункер 17 та ежектор 18 з 20 каналами. Зворотній транспортер 2 на обладнаний доріжками 21, які рухаються по роликах 22. Для надання крутного руху барабану 1 передбачений зубчатий вінець 23 та механізм приводу 24.



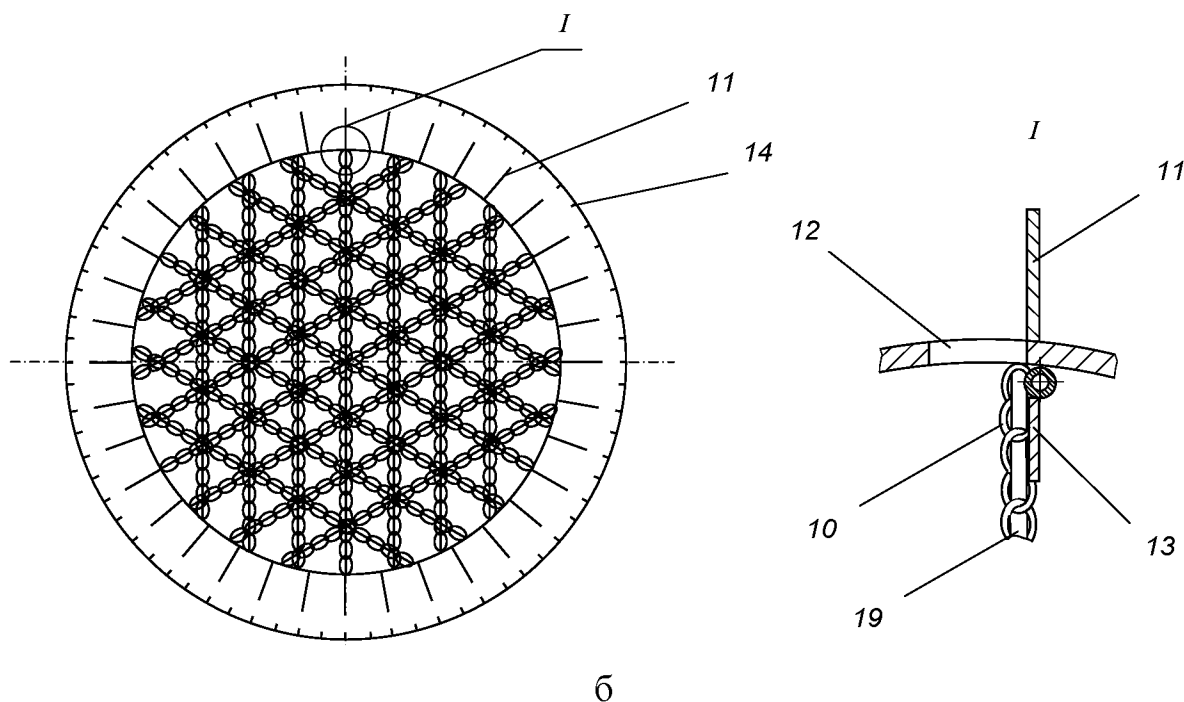


Рисунок 1.1 Барабанна сушарка-гранулятор ОМД: а – функціональна схема; б – поперечне січення барабана

Працює машина наступним чином. Суміш завантажується у бункер 17 пристрою для розпилення пульпи 3, подрібнюється лопатками 16 бітерів 15 та надходить у вертикальний канал 19 ежектора 18. Під дією сили тяжіння та потоком сушильного агенту, відбувається захоплення початкового матеріалу та його розбрискування у вхідну частину обертового барабану 1. Розбрисканий матеріал налітає на штору утворену внутрішнім ретуром та стрижнями 9 із цепками 10. Завдяки цьому певна частина матеріалу потрапляє на ретур, збільшує розміри кристалів і падає на нижню частину крутного барабану 1, а інша налипає на стержні 9 із цепками 10. У цей момент має місце кондуктивне підведення тепла до суміші і її часткове просушування.

Завдяки руху крутного барабану 1 та стержнів у формі параболи 9 відбувається швидкий рух ковзних цепків як у напрямку перпендикулярному осі кручення барабану 1 так і у напрямку вздовж осі. Це забезпечує постійне віддирання від поверхні стержнів 9 та ковзних цепків 10 матеріалу і його падіння на поверхню крутного барабану 1. Під час переміщення матеріалу пластинами 7 у крутному барабані 1 проходить сушіння зародків гранул та

надання кулястої форми. Коли матеріал досягає перфорованої зони крутного барабану 1 відбувається його провалювання у зворотній циліндр 2.

Гранули розміри яких перевищують максимально допустимі, потрапляють у млин 8, де кульками роздушуються до заданих розмірів та просіювання у зворотній транспортер 2. Коли гранули переміщуються зворотнім транспортером 2 відбувається подальше їх сушіння. У зоні вивантаження зворотного транспортера 2 дрібна фракція матеріалу захоплюється лопатками 14 і підіймається вгору. Після підняття на визначену висоту матеріал засипається на лопатки 11 крутного барабана 1 якими далі рухається вгору. За рахунок сили тяжіння повертається заслінки 13 та відкривається щілина 12 через яку дрібненька фракція матеріалу потрапляє у внутрішню частину крутного барабану 1 і створює шторку. Встановлення стержнів 9 із ковзними цепками 10 у три ряди, котрі зміщені на кут 120° забезпечує щільність шторки. Закривання щілин 12 заслінками 13 здійснюється під дією сили тяжіння. Із зворотного транспортера 2 гранули надходять у вивантажувальний механізм 6. Сушильний агент трубою підведення 4 надходить у горизонтальний канал 20 ежектора 18 а далі у внутрішню частину крутного барабану 1, кульковий млин 8 у зворотній транспортер 2 і виходить через трубу виведення теплоносія 5. Регулювання часу перебування матеріалу у барабанній сушарці-грануляторі здійснюють зміною частоти приводу 24.

Основою мискового гранулятора є обертова миска, кут нахилу якої регулюється. На рис. 1.2 зображено схему такого гранулятора, який складається з обертової миски 1, кожуха 2, форсунки для подачі розчину 3, оглядового отвору 4, труби для подачі суміші 5, валу 6, механізму зміни положення осі 7, рами 8. До переваг цього гранулятора належать надійність, проста, візуалізація, легке регулювання, низькі затрати енергії. Недоліки: мала продуктивність, неоднорідність гранулометричного складу та низька міцність отриманих гранул, а також потреба додаткової сушарки для сушіння гранул.

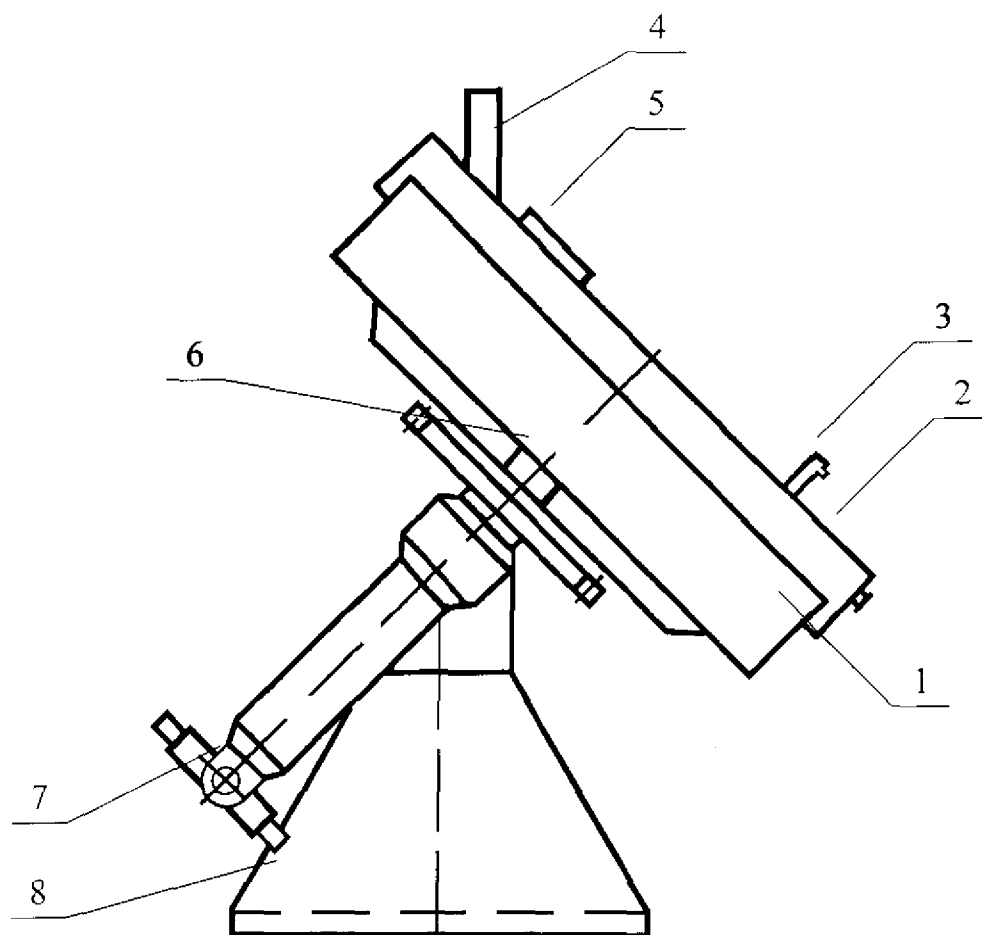


Рисунок 1.2 Мисковий гранулятор

Найпростіша схема для реалізації методу пресування показано на рис.1.3. В основі пристрою є пресуючі вальці 1, початкове стискання гранульованого матеріалу робить підпресовуючий шнеком 2 .

Також відомі спроби використання для гранулювання сухих органо-мінеральних сумішей прес-гранулятор типу ОГМ-0.8 (рис. 1.3), який призначений для пресування гранул комбікорму і трав'яної муки. У гранулятора обертається кільцева матриця 1 і передає рух роликам 3, що пресують. За рахунок відносного руху матриці і роликів, матеріал, котрий надходить у зону взаємодії зазнає найбільшого стиску, пропихається через канали матриці. Недоліком технологічного процесу роботи такого гранулятора як є необхідність попереднього висушування сапропелю до вологості 20-30 % та висока енергоємність процесу пресування. Але у результаті отримуються гранули чітко встановленого діаметру.

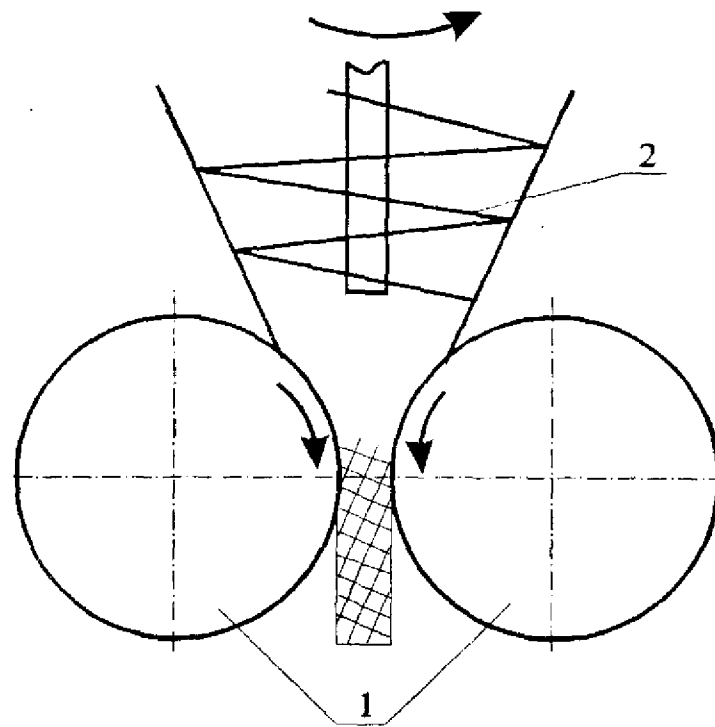


Рисунок 1.3 Вальцевий прес: 1 - вальці, 2 - гвинтовий підтискач

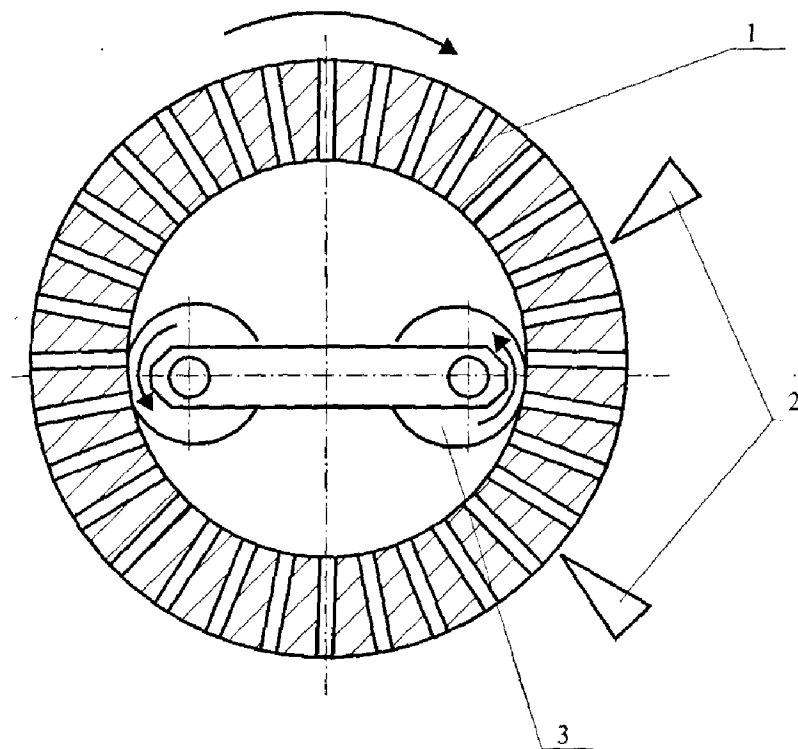


Рисунок 1.5 Прес-гранулятор з кільцевою матрицею

Для реалізації у виробничих умовах методу екструдуння використовують шнековий преси, зразок якого наведено на рисунку 1.6. Тиск у циліндрі камери пресування створює гвинтова навивка 2, яка закріплена на валу

1. Гвинт продавлює пластичну масу крізь дірочки решітки 4. Для відрізання зці ковбасок окремих гранул встановлені дискові ножі 3. Решітка перфорована 4 кріпиться гайкою 5. До недоліків цього преса належить злипання у загальну грудку сформованих ковбасок після їх виходу крізь отвори решітки та необхідність подальшого сушіння та розділення на гранули отриманої пластичної маси.

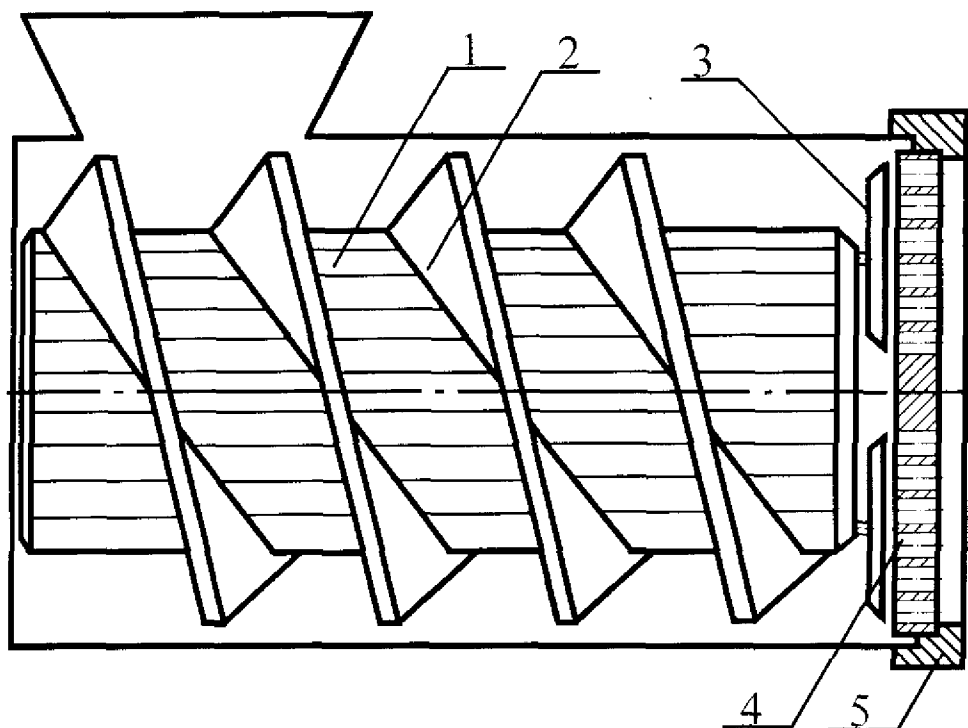


Рисунок 1.6 Шнековий гранулятор: 1 - вал, 2 - шнек, 3 - ніж, 4- перфорована решітка, 5 – гайка

Певною мірою усунути такі недоліки дозволяє прес зображений на рис. 1.8. Бажаний результат забезпечується встановленням двох пресуючи з меншим діаметром гвинтів. Завдяки цьому зменшується і діаметр решітки, а також і товщина шару ковбасок, що проходять через решітку. Але ускладнюється конструкція машини та все лишається необхідність у сушіння гранул.

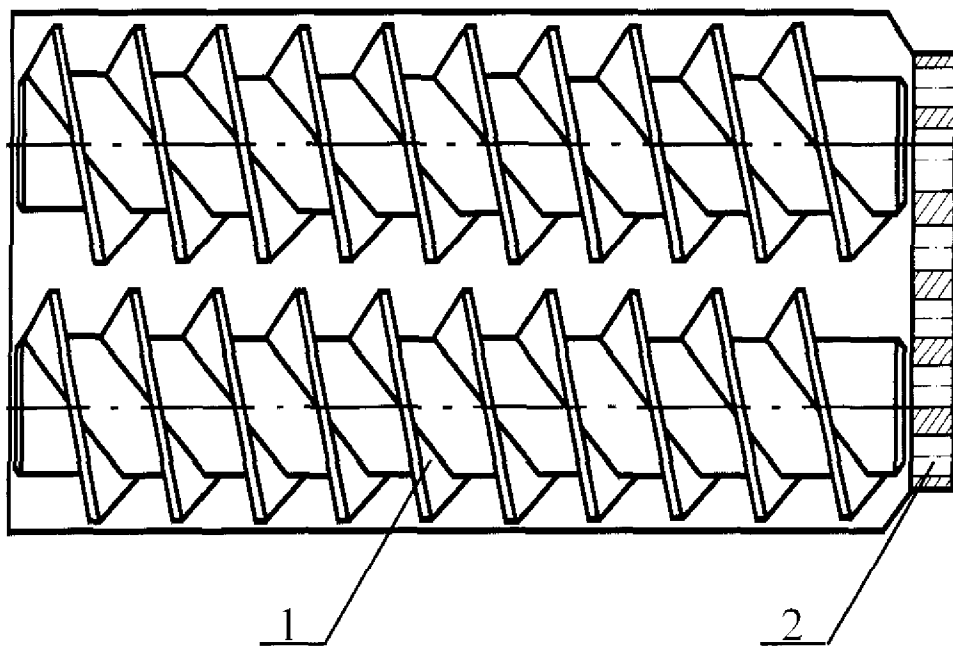


Рисунок 1.7 Прес–гранулятор: 1- пресувальний вал, 2- перфорована решітка

Підсумовуючи слід зазначити, що не зважаючи на величезну кількість розроблених схем і схемок грануляторів, які використовуються у різноманітних галузях промисловості, вони не в змозі забезпечити виконання необхідних вимог до гранулювання органо-мінеральних сумішей на основі сапропелю.

У процесі розробки нових схем слід прагнути отримати машину, що здатна працювати із сапропелем з вологістю яку він має під час добування та забезпечувати максимальний вихід гранул встановлених розмірів кінцевої вологості.

1.3. Аналіз досліджень фізико-механічних властивостей органічних і мінеральних компонентів ОМД

Для забезпечення необхідної якості формування гранул із органо-мінеральної суміші необхідне врахування фізико-механічних властивостей складових при проектуванні гранулятора. До таких властивостей належать: коефіцієнт тертя, граничний отвір утворення склепіння, зусилля зсуву,

гранулометричний склад, вологість, липкість, кути природнього відкосу, коефіцієнт ущільнення, насипну щільність тощо

У довідковій літературі наведені значення фізико-механічних властивостей мінеральних добрив [2, 7]. Проте інколи можна помітити розбіжності у наведених значеннях у різних виданнях. Очевидно це спричинене редакторськими помилками або недобросовісним відношенням під час складання відповідних таблиць даних.

На даний актуальним є питання влучення до складу ОМД місцевих низькоконцентрованих агроруд. Тому є необхідним є знати характеристики і цих матеріалів. В умовах Волинської області такими являються фосфорити місцевих родовищ.

Основна частина відомих досліджень властивостей торфу та сапропелю присв'ячена визначенню фізико-механічних їх властивостей у природньому стані. Ці дані використовувались для проектування меліоративних систем, , робочих органів механізмів для їх добування, рушіїв КТЗ. У процесі добування та приготування сапропелю проходить зміна фізико-механічних властивостей матеріалів. Тому використання наявних результатів обмежене для моделювання грануляторів та процесів які у них відбуваються.

Також під час досліджень окремих характеристик використовували досліджуваний матеріал у різноманітних агрегатних станах, при нестандартизованих навантаженнях. Дослідження проводили на конструктивно різному обладнанні. У результаті, значення отримані одними дослідниками, значно відрізняються від інших. Прикладом цьому є визначення кута внутрішнього тертя і початкового зусилля зсуву сапропелю.

Але існує ряд результатів і висновків які доцільно використати при визначенні напрямків експериментальних досліджень.

Так проведені дослідження стискуваності торфу стверджують, що стискуваність частинок торфу є нижчою від даного показника для води. Таким чином ущільнення торфу проходить лише за рахунок витіснення з порожнин повітря і води. Через подібність природи органічних частинок торфу і

сапропелю таке твердження можна використовувати і при дослідженні сапрпоелю.

Цікавий результат отримано вченими під час дослідження зміни коефіцієнта ущільнення торфу від його вологості. Які вказують, що коефіцієнт ущільнення є постійною характеристикою для торфу якщо його вологість знаходиться у межах $W=30-65\%$.

На основі здійсненого аналізу можна зробити наступні висновки:

- фізико-механічні властивості мінеральних добрив одного і того ж типу але різних виробників можуть різнитися;
- дослідження властивостей органічних складових ОМД слід проводити для кожного окремого родовища;
- дослідження фізико-механічні властивості торфу і сапропелю слід проводити після їх добування для процесу гранулювання;
- дослідження необхідно реалізовувати на стандартизованому обладнанні або на розробленому самостійно лише за умови, що воно обладнане якісними вимірювальними приладами.

1.4. Актуальність проблеми, мета і задачі дослідження

Одне з найважливіших завдань, яке стоїть перед сільським господарством – зупинка деградації та відтворення родючості ґрунтів. За роки незалежності України ґрунти були виснажені, адже в ґрунт вносились в мізерній кількості органічні добрива. Кількість гумусу у ґрунті значно зменшилась, а це як відомо веде до загальної деградації ґрунтів. Щоб відновити родючість ґрунту, а також підвищити врожайність рослин, у ґрунт слід вносити органічні і збалансовану кількість мінеральні добрива. Органічні добрива вносяться для відновлення гумусу у ґрунті, а мінеральні компенсують винесені з врожаєм компоненти. Зазвичай, основним органічним добривом, яке вносилось, був гній, але через те, що кількість поголів'я великої рогатої худоби значно зменшилось то одним із напрямків вирішення цієї проблеми є внесення у ґрунт сапропелю. До ще

кращих варіантів є внесення органо-мінеральних сумішей на основі сапропелю і особливо у гранульованій формі. На даний час вже виготовляються експериментальні партії 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 макро- та мікроелементів, що відповідає конкретним ґрунтовим умовам. Такий пристрій повинен забезпечувати мінімальні питомі затрати енергії на процес гранулювання та сушіння сформованих гранул, а також максимальний вихід зазначеної вище фракції добрив.

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

Мета роботи: розробка конструкції та обґрунтування параметрів сушильно-формуальної камери гранулятора-сушарки для формування гранул органо-мінеральних добрив із одночасним їх сушінням.

Задачі дослідження: теоретично обґрунтувати режими сушіння гранул ОМД у сушильно-формуальної камері, конструктивні параметри робочої поверхні сушильно-формуальної камери; провести експериментальні дослідження впливу температури поверхні, та складу гранул ОМД на кут їх тертя; встановити закономірність впливу параметрів дебалансного вібратора на час перебування гранул у сушильно-формуальної камері.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес гранулювання органо-мінеральної суміші.

Предмет дослідження. Залежність часу перебування гранули органо-мінеральних добрив у сушильній камері від параметрів дебалансного вібратора.

РОДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГРАНУЛЯТОРА-СУШАРКИ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ГРАНУЛ

2.1. Обґрунтування конструкції пристрою для гранулювання органо-мінеральних добрив

Відповідно до вихідних вимог необхідно розробити машину для гранулювання органо-мінеральних сумішей до складу яких входить у якості органічної частини сапропель природної вологості та мінеральні добрива, що містять макроелементи живлення сільськогосподарських рослин (NPK). Отримані гранули повинні мати кулясту форму із діаметром у межах 2...6 мм та міцність на меншу 0,5 МПа.

Для забезпечення виконання цих вимог розроблена конструкція сушарки-гранулятора зображена на рис. 2.1. Працює машина наступним так. Підготовлена органо-мінеральна суміш завантажується у бункер 1 а далі шнеком 2 подається до гранулюючого транспортера 4. У зоні взаємодії шнека із гранулюючим транспортером кожух у його нижній частині відсутній, але під полотном транспортера встановлена пластина 3. Полотно транспортера 4 являє собою в'язану сітку з вічками прямокутного профілю. Завдяки подачі матеріалу шнеком у зазорі між ним та пластиною формується спресований шар матеріалу, який заповнює вічка транспортера. Завдяки обертанню привідного 10 та натяжного 5 барабанів транспортер здійснює рух, а на його поверхні формується шар органо-мінеральної суміші товщиною рівною зазору між кожухом шнека та пластиною 3.

У процесі переміщення суміші разом із транспортером вона обдувається сушильним агентом, що надходить із камери досушування та формування гранул. При цьому відбувається інтенсивне видалення вологи із суміші та її усадка. Окремі часточки формуються на межі контакту матеріалу із

транспортером. Рухаючись зворотною віткою транспортера 4 частина шматочків матеріалу випадає із комірчин та потрапляє на гвинтову поверхню 6. Шматки, які під дією сили ваги не випали з комірчин випихаються вальцем 9 і також надходять гвинтову поверхню 9.

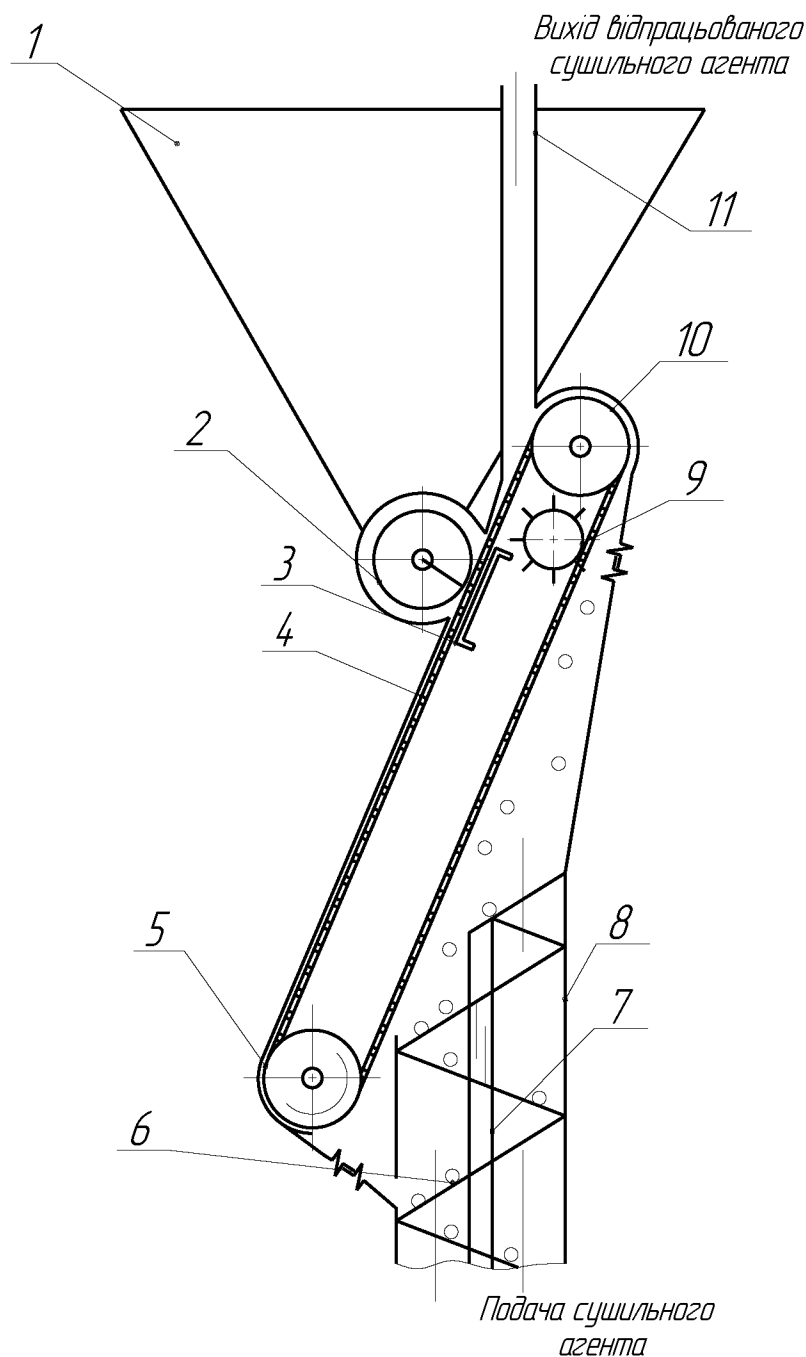


Рисунок 2.1 Сушарка-гранулятор: 1-бункер органо-мінеральної суміші; 2- шнек; 3- пластина; 4- транспортер; 5-натяжний барабан; 6-гвинтова поверхня; 7-вал; 8-корпус; 9-валець; 10-привідний барабан; 11-труба відведення відпрацьованого сушильного агента

На гвинтовій поверхні 6 шматки органо-мінеральної суміші здійснюють рух вздовж цієї поверхні. Таким чином відбувається вирівнювання поверхні, ущільнення та агломерація гранул органо-мінеральних добрив. Через взаємодію гранул із сушильним агентом продовжується процес їх сушіння. Гвинтова поверхня 6 має змінний кут нахилу витків. На початку цей кут більший, а у кінці менший оскільки коефіцієнт тертя (кочення) гранул у початковий момент процесу вище ніж під час виходу гранул із гранулятора. Така конструкція дозволяє забезпечити постійну швидкість переміщення гранул поверхнею 6. Для недопущення прилипання гранул до гвинтової поверхні 6, вона разом із валом 7 здійснює коливні рухи.

Виконані у гвинтовій поверхні отвори сприяють проходженню сушильного агенту вздовж корпусу 8 і зменшують часу перебування маленьких гранул у камері сушіння через їх проходження з рівня на рівень. Це добре бо гранули меншого розміру вимагають меншого часу на сушіння.

Для визначення необхідних конструктивних параметрів та режимів роботи гранулююче-сушильної камери необхідно теоретично обґрунтувати розміри корпусу та дослідити процес руху шматочків та формування із них гранул гвинтовою поверхнею.

2.3. Обґрунтування конструктивних параметрів робочої поверхні гранулююче-сушильної камери

Для подальшого розрахунку конструктивних параметрів робочої поверхні гранулююче-сушильної камери за вихідні параметри приймемо наступні характеристики

- продуктивність $Q = 1.0$ т/год;
- час перебування насіння в сушильній камері, не менше $\tau = 40$ хв.

Продуктивність гранулятора-сушарки у кг/с можна визначити за формулою

$$Q = S \cdot V \cdot \gamma, \quad (2.1)$$

де S - площа поперечного січення матеріалу, що рухається гвинтовою поверхнею камери, м^2 ;

$\gamma = 700 \text{ кг/м}^3$ – об’ємна маса гранул із органо-мінеральної суміші.

V - швидкість переміщення матеріалу по робочій поверхні, м/с .

Із (2.1) запишемо

$$V = \frac{Q}{S \cdot \gamma} = \frac{Q}{h \cdot (D - d) \cdot \gamma}, \quad (2.2)$$

де $h = d_{sp}$ – висота шару матеріалу на робочій поверхні шнеку, яка рівна діаметру гранул, м ;

D – зовнішній діаметр шнека, м ;

d – діаметр валу, на якому розміщений шнек, м .

Довжина робочої поверхні шнека гранулююче-сушильної камери можна визначити за формулою

$$l = V \cdot \tau, \quad (2.3)$$

Підставивши (2.3) у (2.2), отримаємо:

$$l = \frac{Q \cdot \tau}{d_{sp} \cdot (D - d) \cdot \gamma} \quad (2.4)$$

Розглянемо один виток робочої поверхні шнека:

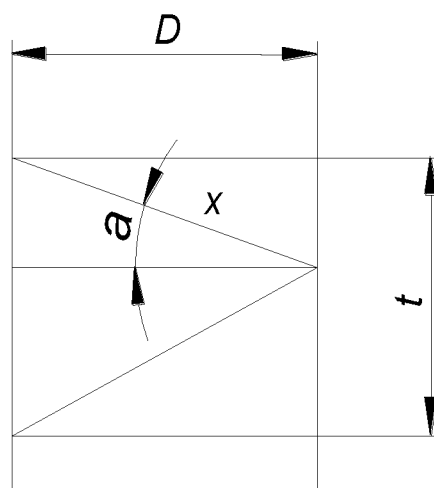


Рисунок 2.1 Переріз витка робочої поверхні шнека

Із рис. 2.1 косинус кут нахилу витка робочої поверхні α становить

$$\cos \alpha = \frac{D}{x}, \quad (2.5)$$

Звідки

$$x = \frac{D}{\cos \alpha}, \quad (2.6)$$

З іншої сторони:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t}{2 \cdot D} \quad (2.7)$$

де t - крок гвинтової поверхні гранулююче-сушильної камери.

Тому

$$t = 2 \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.8)$$

Довжину робочої поверхні шнека гранулююче-сушильної камери можна також визначити за формулою

$$l = 2 \cdot x \cdot n. \quad (2.9)$$

де n - кількість витків робочої поверхні шнека;

$2 \cdot x$ - довжина одного витка шнекової поверхні гранулююче-сушильної камери.

Враховуючи (2.6) отримаємо

$$l = 2 \cdot x \cdot n = \frac{2 \cdot D \cdot n}{\cos \alpha}. \quad (2.10)$$

Звідки

$$n = \frac{l \cdot \cos \alpha}{2 \cdot D}. \quad (2.11)$$

З іншої сторони кількість витків шнека становить

$$n = \frac{H_{ш}}{t}. \quad (2.12)$$

де $H_{ш}$ - висота гранулююче-сушильної камери, м.

Прирівнявши (2.11) і (2.12) отримаємо

$$\frac{H_{ш}}{t} = \frac{l \cdot \cos \alpha}{2 \cdot D}. \quad (2.13)$$

Звідки із врахуванням (2.8)

$$H_o = l \cdot \sin \alpha. \quad (2.14)$$

Підставляючи (2.4) у (2.12) отримаємо

$$H_{\text{м}} = \frac{Q \cdot \tau \cdot \sin \alpha}{d_{\text{сп}} \cdot (D - d) \cdot \gamma}. \quad (2.15)$$

Графічна залежність зміни висоти колони H_o від таких параметрів як діаметр шнека D і діаметру гранул на робочій поверхні шнека $d_{\text{сп}}$, представлена на рис. 2.2.

Аналізуючи графік, можна зробити висновок, що при збільшення діаметру гранул $d_{\text{сп}}$ більше від 6 мм веде до інтенсивного зменшення висоти гранулююче-сушильної камери, але це не допустимо із точки забезпечення виконання агротехнічних вимог до даної характеристики. Тому з графіка можна зробити висновок, що сушильна камера висотою $H_o = 6...7$ м забезпечить необхідний час сушіння гранули за прийнятої продуктивності сушарки-гранулятора у випадку коли конструктивно-технологічні параметри будуть знаходитись у межах:

- діаметр гранули $d_{\text{сп}} = 6$ мм;
- діаметр шнека $D = 1.9$ м;
- кут нахилу гвинтової лінії $\alpha = 5^\circ$;
- час сушіння $\tau = 2400$ с
- діаметр валу, на якому розміщений шнек $d = 0.1$ м.

$$H_{\text{м}} = \frac{1000 \cdot 2400 \cdot \sin 5^\circ}{0,006 \cdot (1,9 - 0,1) \cdot 3600 \cdot 750} = 6,69 \text{ м.}$$

Тому у подальшому пропонуємо використовувати гранулююче-сушильну камеру із висотою $H_{\text{м}} = 6,7$ м.

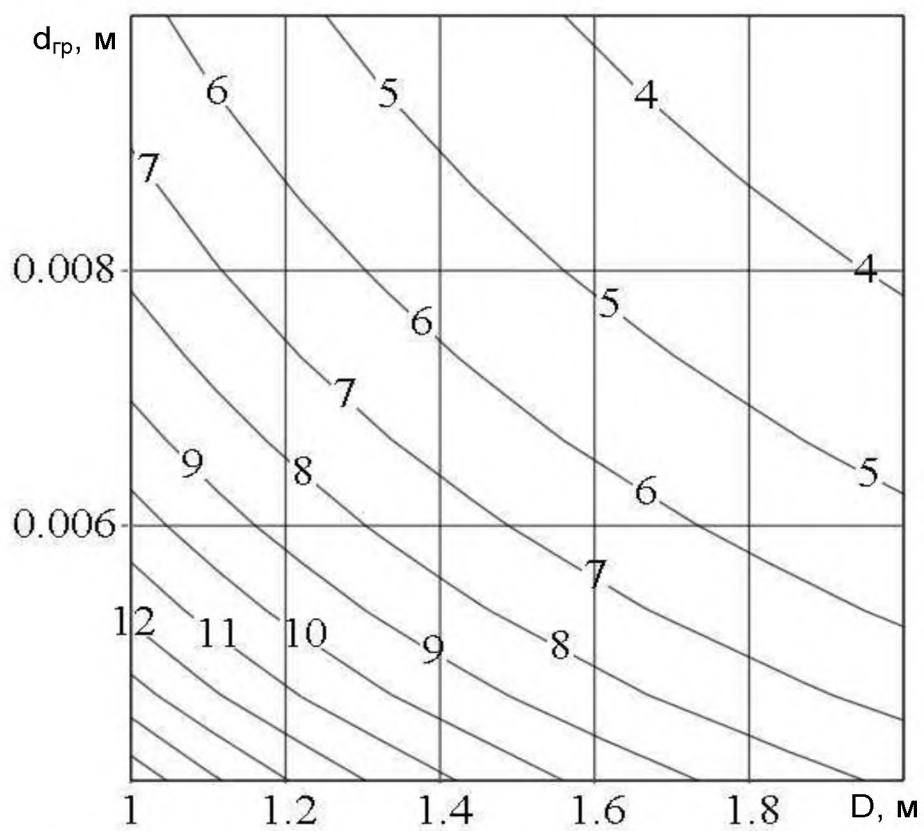
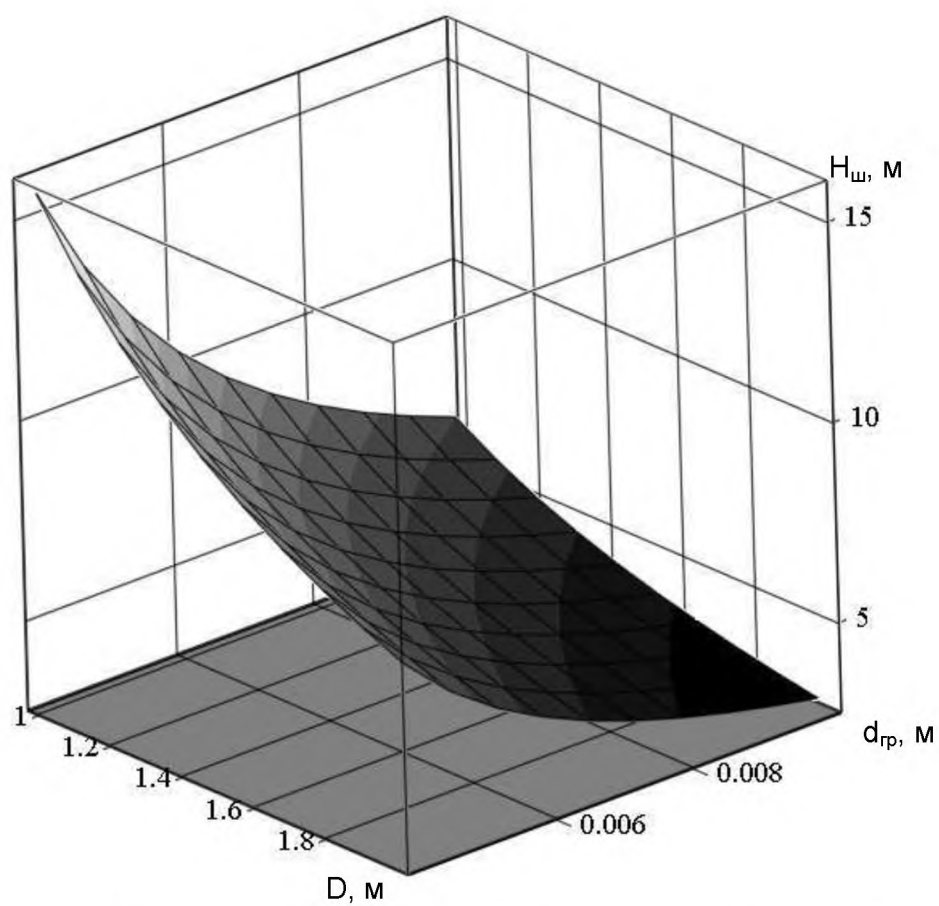


Рисунок 2.2 Графічна залежність висоти сушильної камери від діаметра шнека D і діаметра гранул $d_{гр}$

2.3 Обґрунтування коливної системи гранулююче-сушильної камери

2.3.1. Розрахунок продуктивності гранулююче-сушильної камери.

У запропонованій конструкції гранулятора-сушарки на гвинтовій поверхні відбувається формування гранул кулястої форми із попередньо сформованих на транспортері шматочків. Для забезпечення сталого руху матеріалу по шнеку під час формування гранул валу шнека надаємо гармонічних коливань, які створюються дебалансним приводом. Робоча поверхня шнеку, яка нахилена від кутом β до горизонту, здійснює вертикальні коливання (рис. 2.3).

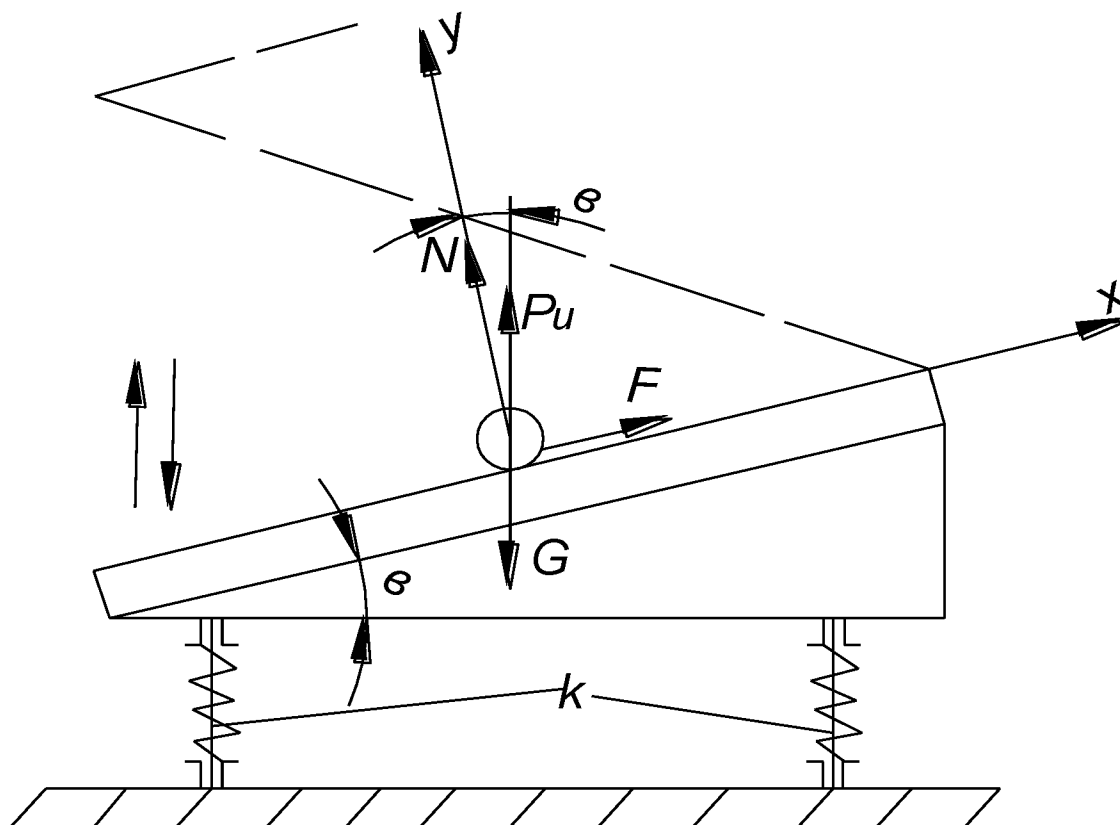


Рисунок 2.3 Схема сил, що діють на гранулу при переміщенні її по робочій поверхні шнека сушильної камери

На кожну гранулу масою m буде діяти сила тяжіння G , нормальна реакція N і сила тертя $F=fN$, де f – коефіцієнт тертя. Також, до діючих на масу сил

необхідно додати силу інерції $P_u=ma=Ga/g$. Система координат зв'язана з площиною, що здійснює коливання [12].

У розглядуваній схемі коливань діючі сили лежать у площині руху матеріалу і тому гранули ОМД переміщається по віброуючій поверхні без відриву від неї.

Амплітуда коливань, яка створюється приводом [12]:

$$A_l = \frac{g \cdot \cos \beta \cdot 10^2}{\Pi \cdot \sin(\alpha - \beta) \cdot \omega^2}, \quad (2.16)$$

де Π – характеристика режиму роботи вібратора, $\Pi=0,8$;

β – кут нахилу робочої поверхні шнека, $\beta=5^\circ$;

α – кут нахилу пружинних елементів до вертикалі, $\alpha=0^\circ$;

ω – кутова швидкість обертання валу ексцентрика:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (2.17)$$

де n – частота обертання валу двигуна джерела вібрацій, вибираємо двигун із $n=750$ об/хв;

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,5 \text{ c}^{-1}.$$

$$A_l = \frac{9,8 \cdot \cos 5^\circ \cdot 10^2}{0,8 \cdot \sin(0 - 5)^\circ \cdot 78,5^2} = 0,0075 \text{ м.}$$

Величина ексцентриситету:

$$e = \frac{A_l}{\cos \alpha} = \frac{0,0075}{\cos 0^\circ} = 0,0075 \text{ см} \quad (2.18)$$

Потрібна годинна продуктивність сушильної камери:

$$Q = \kappa_3 \cdot Q_0, \quad (2.19)$$

де κ_3 – коефіцієнт запасу продуктивності гранулююче-сушильної камери в порівнянні з продуктивністю машини, $\kappa_3=1,1-1,3$;

Q_0 – дійсна продуктивність машини, $Q=1000$ кг/год.

$$Q = 1,1 \cdot 1000 = 1100 \text{ кг/год.}$$

Дійсна продуктивність робочої камери у штуках транспортованого вантажу:

$$Q_e = \frac{1000 \cdot v_u \cdot \kappa_u \cdot \kappa_0}{l \cdot \kappa_{II}}, \quad (2.20)$$

де v_u - швидкість переміщення матеріалу по робочій поверхні:

$$v_u = 9,3 \frac{-lg \sin \alpha}{\Pi^2 (1-f)^{1,2}}, \quad (2.21)$$

де f – коефіцієнт тертя матеріалу по робочій поверхні, $f=0,3$.

$$v_u = 9,3 \frac{-lg \sin 0^\circ}{0,8^2 (1-0,3)^{1,2}} = 11,1 \text{ м/хв};$$

тут l – розмір гранули у напрямку руху, $см$;

κ_u – коефіцієнт, що враховує величину інтервалів між матеріалом в кожному з потоків:

$$\kappa_u = \frac{l}{l + \Delta l}, \quad (2.22)$$

де Δl – відстань між частинками, $мм$.

Оскільки гранули повинні рухатися по робочій поверхні без проміжків то $\Delta l = 0$. Отже, $\kappa_u = 1$.

κ_0 – коефіцієнт, що враховує вид орієнтації:

$$\kappa_0 = 1 - P(x), \quad (2.23)$$

де $P(x)$ – ймовірність появи неправильно орієнтованих гранул.

Для визначення коефіцієнта κ_0 потрібно врахувати, що має місце активна орієнтація матеріалу гвинтовою поверхнею при вході в камеру. Швидкість руху матеріалу зменшується через взаємне зіткнення гранул. Приймаючи відносну втрату швидкості рівною $0,2$, отримаємо:

$$\kappa_0 = 1 - 0,2 = 0,8.$$

κ_{II} – коефіцієнт, що враховує положення насінин, $\kappa_{II} = 1$.

Для переходу до продуктивності у $кг/год$ використаємо наступну залежність

$$Q = Q_e \cdot V_{sp} \cdot \gamma, \quad (2.24)$$

де V_{zp} - об'єм однієї гранули ОМД.

Оскільки

$$V_{zp} = \frac{\pi \cdot d_{zp}^3}{4}. \quad (2.25)$$

То після підстановки (2.25) та (2.20) у (2.24) отримаємо

$$Q = \frac{1000 \cdot v_u \cdot \kappa_u \cdot \kappa_0 \cdot \pi \cdot d_{zp}^3 \cdot \gamma}{l \cdot \kappa_{II} \cdot 4}. \quad (2.26)$$

Із (2.26) після підстановки значень отримаємо

$$Q_s = \frac{1000 \cdot 11,1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 3,14 \cdot 0,006^2}{0,6 \cdot 1 \cdot 4} \cdot 750 = 1255 \text{ кг/год.}$$

що задовольняє умову (2.19).

Отже для забезпечення необхідної продуктивності гранулююче-сушильної камери, як вібраційної транспортуючої системи необхідно використовувати у якості джерела коливань двигун із частотою обертання валу $n = 750$ об/хв., і режимі коливань $\Pi = 0,8$. При цьому коливання будуть здійснюватися із амплітудою $A_l = 0,0075$ м.

2.3.2. Розрахунок амортизаторів.

Оскільки має місце коливання низької частоти, приймаємо в якості амортизаторів 4 пружини, рівномірно розташованих по обох сторонах основи.

Жорсткість пружинних амортизаторів [11]:

$$\kappa_{2n} = \frac{m}{\left(\frac{\omega}{\omega_{02}}\right)^2} \cdot \omega^2, \quad (2.27)$$

де m – маса робочої частини машини, що здійснює коливання, $m = 1800$ кг.

Задавшись відношенням $\left(\frac{\omega}{\omega_{02}}\right) = 6$, отримаємо:

$$\kappa_{2n} = \frac{1800}{6^2} \cdot 78,5^2 = 308112,5 \text{ Н/м.}$$

Жорсткість однієї амортизаційної пружини:

$$k_{2n1} = \frac{k_{2n}}{n_A}, \quad (2.28)$$

де n_A – кількість амортизаційних пружин, $n_A=4$;

$$k_{2n1} = \frac{308112,5}{4} = 77028,12 \text{ Н/м.}$$

На пружинні амортизатори діють статичні $P_{ст}$ і динамічні $P_{дин}$ навантаження.

Розрахункове навантаження на одну пружину:

$$P_A = P_{ст} + 1,5 P_{дин}; \quad (2.29)$$

$$P_{ст} = \frac{G}{n_A}, \quad (2.30)$$

де G – вага робочої частини машини (вага гранулююче-сушильної камери), що здійснює коливання.

$$P_{дин} = A_2 \cdot k_{2n1}, \quad (2.31)$$

де A_2 – амплітуда коливання основи, $A_2 = A_1 = 0,00745 \text{ м}$.

$$P_{дин} = 0,0075 \cdot 77028,12 = 577,7 \text{ Н};$$

$$P_{ст} = \frac{1800 \cdot 9,81}{4} = 4414,5 \text{ Н};$$

$$P_A = 4414,5 + 1,5 \cdot 577,7 = 5281,05 \text{ Н.}$$

Діаметр дроту пружини визначимо за формулою

$$d_\delta = 1,6 \sqrt{\frac{K_{сн} \cdot c \cdot P_A}{[\tau]}}, \quad (2.32)$$

де $c = \frac{D_{срн}}{d_\delta}$ - індекс пружини;

$D_{срн}$ - середній діаметр пружини;

$K_{сн}$ - коефіцієнт, що залежить від індексу пружини c ;

$[\tau] = 40 \cdot 10^7 - 50 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ – допустиме напруження зсуву матеріалу пружини.

Задавшись $c=7$, знаходимо $K_{сн}=1,22$.

$$d_{\delta} = 1,6 \sqrt{\frac{1,22 \cdot 7 \cdot 5281,05}{45 \cdot 10^7}} = 0,016 \text{ м.}$$

За ГОСТ 9389-60 вибираємо сталений вуглецевий пружинний дріт діаметром $d_{\delta} = 20$ мм.

Середній діаметр пружини:

$$D_{cp_n} = 7 \cdot 0,02 = 0,14 \text{ м.}$$

Число робочих витків:

$$i_e = \frac{G_y \cdot d_{\delta}}{8c^3 \cdot k_{2n1}}, \quad (2.33)$$

де $G_y = 8 \cdot 10^{10}$ Н/м² – модуль пружності при зсуві.

$$i_e = \frac{8 \cdot 10^{10} \cdot 0,02}{8 \cdot 7^3 \cdot 77028,12} = 7,6.$$

Число неробочих витків при $i_e > 7$ складає $i_{xe} = 2,5$ [64].

Висота ненавантаженої пружини:

$$H_n = i_e h_n + (i_{xe} - 0,5) \cdot d_n, \quad (2.46)$$

де $h_n = (0,25 - 0,5) D_{cp_n}$ - крок пружини.

Оскільки $h_n = (0,25 - 0,5) D_{cp_n} = 0,25 \cdot 0,14 \dots 0,5 \cdot 0,14 = 0,035 \dots 0,07$ м то прийmemo $h_n = 0,07$ м. Тоді

$$H_n = 7,6 \cdot 0,07 + (2,5 - 0,5) \cdot 0,02 = 0,57 \text{ м.}$$

Допустиме статичне навантаження:

$$[p_{cm}] = \frac{\pi \cdot d_n^3 \cdot [\tau]}{8 \cdot K_{cn} \cdot D_{cp_n}}; \quad (2.47)$$

$$[p_{cm}] = \frac{3,14 \cdot 0,02^3 \cdot 40 \cdot 10^7}{8 \cdot 1,22 \cdot 0,14} = 7353,6 \text{ Н.}$$

При цьому повинна дотримуватися рівність:

$$n_A \cdot [p_{cm}] > G; \quad (2.48)$$

$$4 \cdot 7353,6 = 29414,4 > 1800 \cdot 9,81 = 17658.$$

Отже умова (2.48) виконується

Статична усадка пружини:

$$\delta_{cm} = \frac{G}{k_{2n}}; \quad (2.49)$$

$$\delta_{cm} = \frac{1800 \cdot 9,81}{308112,5} = 0,057 \text{ м.}$$

Таким чином для здійснення коливань із заданою амплітудою $A_1 = 0,0075 \text{ м}$ необхідно встановлювати гранулююче-сушильну камеру на 4 пружинах виготовлених із дроту діаметром $d_\delta = 20 \text{ мм}$. При цьому середній діаметр пружини повинен становити $D_{cp_n} = 0,14 \text{ м}$, а довжина пружини у розвантаженому стані $H_n = 0,57 \text{ м}$.

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 їх впливу на процес перебування гранул ОМД у гранулюче-сушильній камері. Для цього була складена програма експериментальних досліджень, якою передбачено визначити вплив складу органо-мінеральної суміші, часу попереднього сушіння та температури нагріву поверхні на кут тертя часток матеріалу.

Також було проведено дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів сушильної камери на час перебування гранули в ній. Досліджуваними факторами при цьому були радіус обертання та маса дисбалансу та вологість гранул.

3.2. Прилади, обладнання та апаратура

Для проведення дослідів було використано експериментальну установку для дослідження кута тертя гранул органо-мінеральних добрив (рис. 3.1). Установка складається із сталеві похилої поверхні 2, із нагрівачем, шкали кута нахилу 1 поверхні 2, направляючої штиря 4 та трансформатора напруги 3 ЛАТР. Завдяки таруванню трансформатора було отримано залежність між напругою трансформатора та температурою нагріву поверхні 2. Живлення трансформатора та поверхні з підігрівом здійснювалось від мережі 220 В.

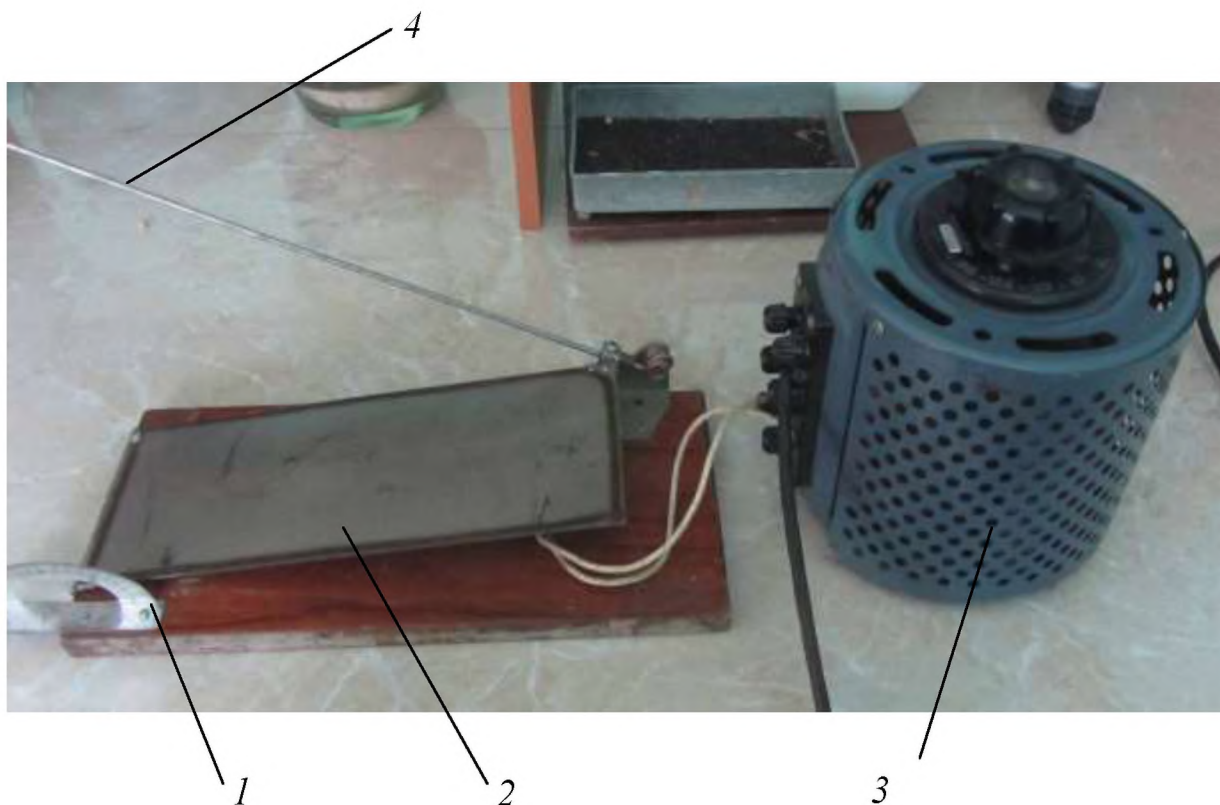


Рисунок 3.1 Експериментальна установка для дослідження кута тертя: 1 – шкала кута нахилу; 2 – сталевая поверхня; 3 – трансформатора ЛАТР; 4 – направляючий штир

Для встановлення вологості сапропелю, як основи органо-мінеральної суміші використовувалось таке лабораторне обладнання: сушильна електрошафа СНОЛ – 3,5.3,5.3,5/3 ИЗ з діапазоном автоматичного регулювання температури в робочому просторі від $+50$ до $+350$ $^{\circ}\text{C} \pm 2$ $^{\circ}\text{C}$; іссикатор; бюкси; різні за об'ємом ємкості; лабораторні ваги ТВЛ 0,5.

Для приготування органо-мінеральних сумішей використовували лабораторну ступку та вагу ТВЛ 0,5 для зважування наважки сапропелю та мінеральних компонентів (рис. 3.2).

Для дослідження часу перебування гранул ОМД у сушильній камері була виготовлена експериментальна установка досліджуваної сушильної камери (рис.3.3). Основою установки є зварна рама 1 на яку через чотири пружини 2 встановлюється сушильна камера 3. У внутрішній частині циліндричного корпусу 4 змонтована перфорована гвинтова поверхні 5. До

нижньої частини корпусу приварена площадка 6 для встановлення електродвигуна 7 із ексцентриком 8.



Рисунок 3.2. Обладнання, яке використовувалось у дослідженнях: сушильна електрошафа СНОЛ – 3,5.3,5.3,5/3 ИЗ; лабораторні ваги ТВЛ 0,5; бюкси

3.3. Методика визначення вологості органо-мінеральної суміші

Визначення вологості органо-мінеральної суміші проводили з використанням обладнання описаного у п. 3.2 (рис. 3.2)

Для визначення вологості готували наважки органо-мінеральної суміші вагою 10-12 г в бюкси, просушені і таровані, важили з точністю до 0,01г.

Після цього поміщали їх у нагріту сушильну шафу. Сушильну шафу нагрівали до 100 ± 5 °С; підтримували цю температуру протягом усього періоду дослідження. Після 2 годин сушіння бюкси виймали із шафи, і охолоджували до кімнатної температури. Охолоджені бюкси зважували і знову повертали у сушильну шафу. Наступні зважування проводили через 60 хв. Якщо різниця в масі не перевищувала 1 % від початкової маси проби, дослід припиняли. При зростанні маси наважки для приймали її мінімальне значення.



Рисунок 3.3. Експериментальна установка грануюче-сушильної камери:
1 – рама; 2-пружини; 3 – грануюче-сушильна камера; 4 – корпус; 5 –
гвинтова поверхня; 6 – рама двигуна; 7 – електродвигун; 8 – ексцентрик

Equation Section 3

Відсотковий вміст вологи розраховували так:

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

де W – вологість матеріалу, %;

m – маса наважки до сушіння, г;

m_1 – маса наважки після сушіння, г.

3.4. Методика приготування органо-мінеральних сумішей на основі сапропелю

Заздалегідь готували органо-мінеральні суміші. Для цього брали наважку у 180 гр. сапропелю та 20 гр. подрібненого подвійного суперфосфату (або 20 гр. карбаміду чи 20 гр. калімагнезії) та проводили їх інтенсивне перемішування у лабораторній ступці (рис.3.5). Таким чином отримувалась органо-мінеральна суміш із вмістом за абсолютною масою 90% органічної складової (сапропель) та 10 % мінеральної (суперфосфат, калімагнезія, карбамід).

Для отримання органо-мінеральна суміш із вмістом 80% органічної складової (сапропель) та 20 % мінеральної (суперфосфат, калімагнезія, карбамід) брали відповідно 160 гр. сапропелю та 40 гр. мінеральної складової (суперфосфат, калімагнезія, карбамід).

Для отримання органо-мінеральна суміш із вмістом 70% органічної складової (сапропель) та 30 % мінеральної (суперфосфат, калімагнезія, карбамід) брали відповідно 140 гр. сапропелю та 60 гр. мінеральної складової (суперфосфат, калімагнезія, карбамід).



Рисунок 3.4 Процес приготування органо-мінеральної суміші

Після цього визначали вологість отриманої суміші за методикою описаною у п.3.3, а суміш зберігали у закритому контейнері.



Рисунок 3.5 Підготовлена органо-мінеральна суміш сапропель+карбамід

3.5 Методика дослідження кута тертя гранул органо-мінеральних добрив

Дослідження проводились на установці описаній у п.3.2. (рис. 3.1).

У якості досліджуваного матеріалу використовувались сформовані вручну кубики із органо-мінеральної суміші приготовленої за методикою описаною у п. 3.4. При цьому сторона куба становила 0,01 м.

З метою моделювання процесу перебування гранул органо-мінеральних добрив на гранулюючому транспортері вони попередньо розміщались у сушильній шафі СНОЛ – 3,5.3,5.3,5/3 нагрітій до температури 80 °С та витримувались протягом 2, 4 та 6 хв.

Після цього гранули вкладались на попередньо нагріту поверхню та здійснювалось поступове підймання останньої аж до ковзання гранули. Значення кута нахилу при якому спостерігалось ковзання часточки фіксувалось за шкалою відліку. Температура нагріву поверхні становила відповідно 40, 60 та 80 °С.

3.6 Методика перевірки часу перебування гранули у сушильній камері

За результатами попередніх досліджень було встановлено, що на час перебування гранули у сушильній камері визначальний вплив мають параметри дебалансного вібратора, а саме маса дисбалансу та радіус розташування його центра відносно осі обертання, та вологість гранул, які надходять до сушильної камери. Вологість визначає час перебування гранул тому, що вона визначає кут тертя гранули по гвинтовій поверхні сушильної камери. Для кількісної оцінки впливу зазначених факторів та отримання математичної моделі цього процесу у вигляді рівняння регресії, було проведено дослідження із застосуванням математичного методу планування експерименту.

При проведенні даних досліджень використовувалась установка описана у п. 3.1. При цьому встановлювались параметри вібраційної системи, визначені планом експерименту, шляхом закріплення вантажу відповідної маси на визначеній віддалі від осі обертання. Потім вмикали в електричну мережу двигун дебалансного вібратора та після набуття усталеного режиму коливань сушильної камери на початок гвинтової лінії камери вкладали гранулу ОМД визначеної вологості. Одночасно запускали відлік секундоміра. Секундомір вимикали у момент випадання гранули із нижньої частини сушильної камери. [Equation Section 3](#)

Враховуючи трудомісткість дослідів було вирішено зменшити кількість дослідів шляхом використання плану Бокса-Бенкіна реалізації експерименту другого порядку (Додаток А табл. А.1).

Планування і реалізація експериментальної роботи включало такі етапи:

- кодування факторів;
- складання матриці експерименту;
- рандомізація дослідів;
- проведення експериментів згідно плану;
- перевірка відтворюваності дослідів;
- оцінка значущості коефіцієнтів регресії;

- перевірка адекватності моделі.



Рис. 3.6 Вивантажувальне вікно сушильної камери

При складанні таблиці рівнів варіювання факторів (Додаток А табл. А.2) враховували результати досліджень і інформацію із літературних джерел. Кодування факторів робили з метою переведення їх у безрозмірні величини. Зв'язок між кодованими і натуральними факторів описується формулами:

$$x_1 = \frac{W - W_0}{\varepsilon_2} \quad x_2 = \frac{r - r_0}{\varepsilon_1} \quad ; ; \quad x_3 = \frac{m - m_0}{\varepsilon_3}, \quad (3.1)$$

де r_0 , W_0 , m_0 - значення на основному рівні, відповідно радіус розташування центра мас вантажу, вологість гранул ОМД, вага вантажу;

ε_1 , ε_2 , ε_3 - інтервал варіювання фактору.

У випадку трифакторного рівняння регресії має вид:

$$\bar{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 \quad (3.2)$$

Коефіцієнти регресії визначають за такими формулами [11, 14]:

(3.3)

$$b_j = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n x_{ji} y_i, \quad (3.4)$$

$$b_{jr} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n x_{ji} x_{ri} y_i, \quad (3.5)$$

$$b_{jj} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 y_i - \frac{1}{16} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 y_i + \frac{1}{2n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0_u}, \quad (3.6)$$

де u – номер дослідів в центрі плану;

n_0 – кількість дослідів в центрі плану;

r, j – номери фактору дослідів, причому у формулі (5.6) $r \neq j$;

p – кількість факторів;

i – номер дослідів;

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

Однорідність ряду дисперсій експериментальних значень перевіряли за критерієм Кохрена [13]. Для цього визначали розрахункову величину критерію:

$$G^{\text{розр.}} = \frac{S_{y_i \max}^2}{\sum_{i=1}^n S_{y_i}^2}, \quad (3.7)$$

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

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

$$S_{y_i}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{g=1}^m (y_{ig} - \bar{y}_i)^2, \quad (3.8)$$

де m – число повторностей в досліді;

g – номер повторності;

y_{ig} – результат g -ї повторності i -го дослідю;

\bar{y}_i – середнє значення усіх повторностей i -го дослідю.

Ряд дисперсій є однорідним, якщо:

$$G^{розр.} < G^{табл.}(0.05; n; f), \quad (3.9)$$

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 експериментальних значень визначали за результатами дослідів в центрі плану:

$$S_y^2 = \sum_{u=1}^{n_0} (y_{0_u} - \bar{y}_0)^2 / f_1, \quad (3.10)$$

де \bar{y}_0 – середнє значення функції відгуку отримане в центрі плану;

..- число ступенів вільності.

Дисперсії для коефіцієнтів регресії та їх коваріації визначали так:

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

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

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

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

$$cov_{b_0 b_{ij}} = -0.16667 S_y^2; \quad (3.15)$$

$$cov_{b_j b_{jr}} = 0.02083 S_y^2. \quad (3.16)$$

Для встановлення довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії використовували критерій Ст'юдента $t(0.05; f)$ за 5%-го рівня значущості та $f = n_0 - 1$ – числа ступенів вільності в центрі плану:

$$\Delta b_0 = t(0.05; f) S_{b_0}; \quad (3.17)$$

$$\Delta b_j = t(0.05; f) S_{b_j}; \quad (3.18)$$

$$\Delta b_{jr} = t(0.05; f) S_{b_{jr}}; \quad (3.19)$$

$$\Delta b_{ij} = t(0.05; f) S_{b_{ij}}. \quad (3.20)$$

У випадку коли коефіцієнт регресії був меншим довірчого інтервалу, то його вважали не значним. Проте, видаляли лише ті коефіцієнти, які не корелювали з іншими.

Адекватність отриманої моделі перевіряли за допомогою критерію Фішера, який розраховували формулою:

$$F^{розр.} = S_{неад.}^2 / S_y^2. \quad (3.21)$$

Де дисперсію неадекватності $S_{неад.}^2$:

$$S_{неад.}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - y_i)^2}{i_2}, \quad (3.22)$$

де y_i, \bar{y}_i - значення функції визначене відповідно експериментально та за рівнянням регресії;

$i_2 = n - k'$ - число ступенів вільності дисперсії неадекватності.

Рівняння вважали адекватним у тому випадку, коли розраховане значення F-критерію не перевищувало табличне:

$$F^{розр.} \leq F^{табл.}(0.05; f_2 f_1), \quad (3.23)$$

де $F^{табл.}(0.05; f_2 f_1)$ – табличне значення критерію Фішера за 5%-го рівня значущості і ступенів вільності дисперсії неадекватності f_2 та дисперсії відтворюваності f_1 .

Розроблене методика визначення часу перебування гранули у сушильній камері заснована на використанні плану реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку, дозволяє отримати математичну модель процесу вигляді рівняння регресії. Функцією відгуку отриманого рівняння є час перебування гранули у сушильній камері.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Результати дослідження кута тертя гранул органо-мінеральних добрив

Дослідження кута тертя гранул органо-мінеральних добрив проводили на установці описані у п. 3.1 (рис. 3.1) у відповідності до методики описаної у п. 3.6. Результати досліджень наведені у табл. 4.1-4.3

Таблиця 4.1. - Результати дослідження кута тертя гранул органо-мінеральних добрив, які складаються із 70 % сапропелю та 30% хлористого калію

Температура похилої поверхні, °С	Тривалість попереднього сушіння гранул, хв.	Значення кута тертя за повторюваностями, °			Середнє значення кута тертя, °
		1	2	3	
40	2	79	89	85	84,3
	4	57	63	53	57,7
	6	49	36	38	41
60	2	49	51	47	49
	4	44	38	39	40,3
	6	39	44	38	40,3
80	2	79	73	81	77,7
	4	73	81	71	75,0
	6	49	38	40	42,3

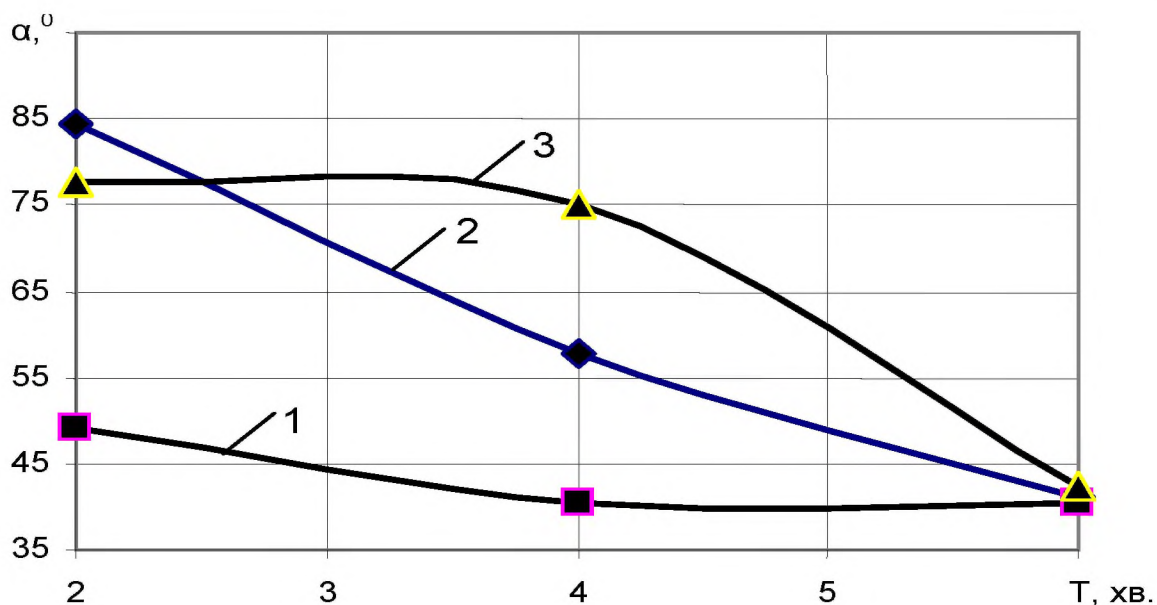


Рисунок 4.1 Графік зміни кута тертя гранул органічно-мінеральних добрив, які складаються із 70 % сапропелю та 30% хлористого калію за температури нагріву поверхні: 1 – 40 °C; 2 – 40 °C; 2 – 80 °C

Таблиця 4.2. - Результати дослідження кута тертя гранул органічно-мінеральних добрив, які складаються із 70 % сапропелю та 30% сечовини

Температура похилої поверхні, °C	Тривалість попереднього сушіння гранул, хв.	Значення кута тертя за повторюваностями, °			Середнє значення кута тертя, °
		1	2	3	
40	2	54	51	63	56
	4	34	40	41	38,3
	6	39	46	39	41,3
60	2	48	44	42	44,7
	4	46	41	56	47,7
	6	36	35	34	35
80	2	43	49	48	46,7
	4	44	36	46	42,0
	6	38	37	35	36,7

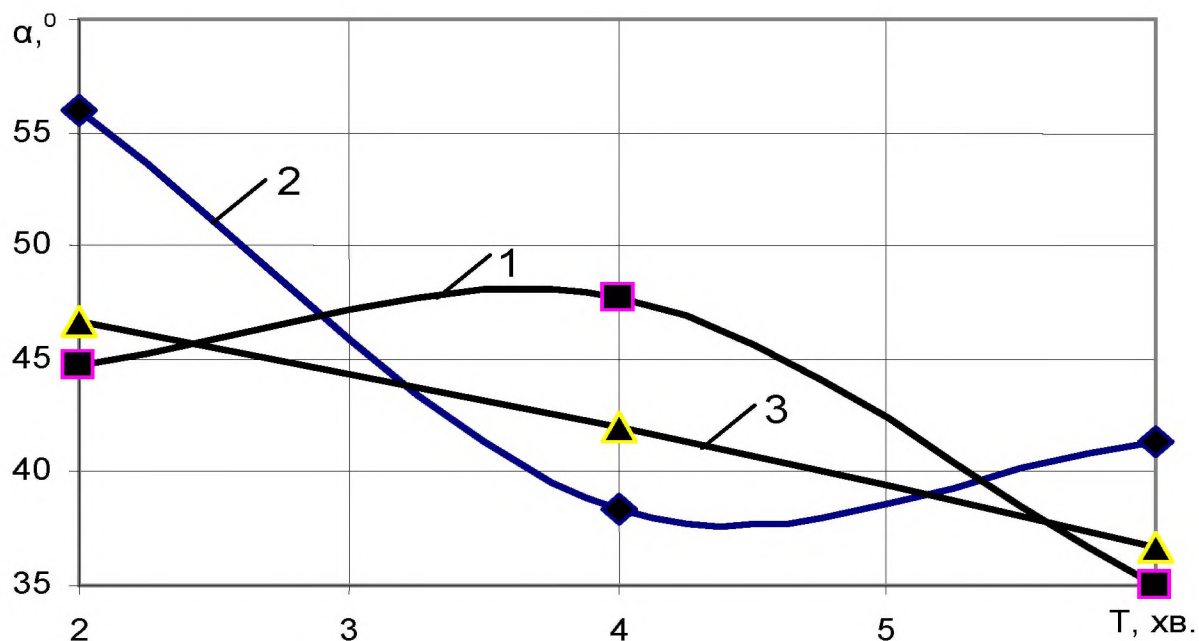


Рисунок 4.2 Графік зміни кута тертя гранул органічно-мінеральних добрив, які складаються із 70 % сапропелю та 30% сечовини за температури нагріву поверхні: 1 – 40 °C; 2 – 40 °C; 2 - 80 °C

Таблиця 4.3 - Результати дослідження кута тертя гранул органічно-мінеральних добрив, які складаються із 70 % сапропелю та 30% суперфосфату

Температура похилої поверхні, °C	Тривалість попереднього сушіння гранул, хв.	Значення кута тертя за повторюваностями, °			Середнє значення кута тертя, °
		1	2	3	
40	2	58	63	77	66,0
	4	59	44	53	52,0
	6	41	39	46	42,0
60	2	55	50	54	53,0
	4	54	43	50	49,0
	6	45	37	49	43,7
80	2	67	54	71	64,0
	4	51	46	62	53,0
	6	41	48	48	45,7

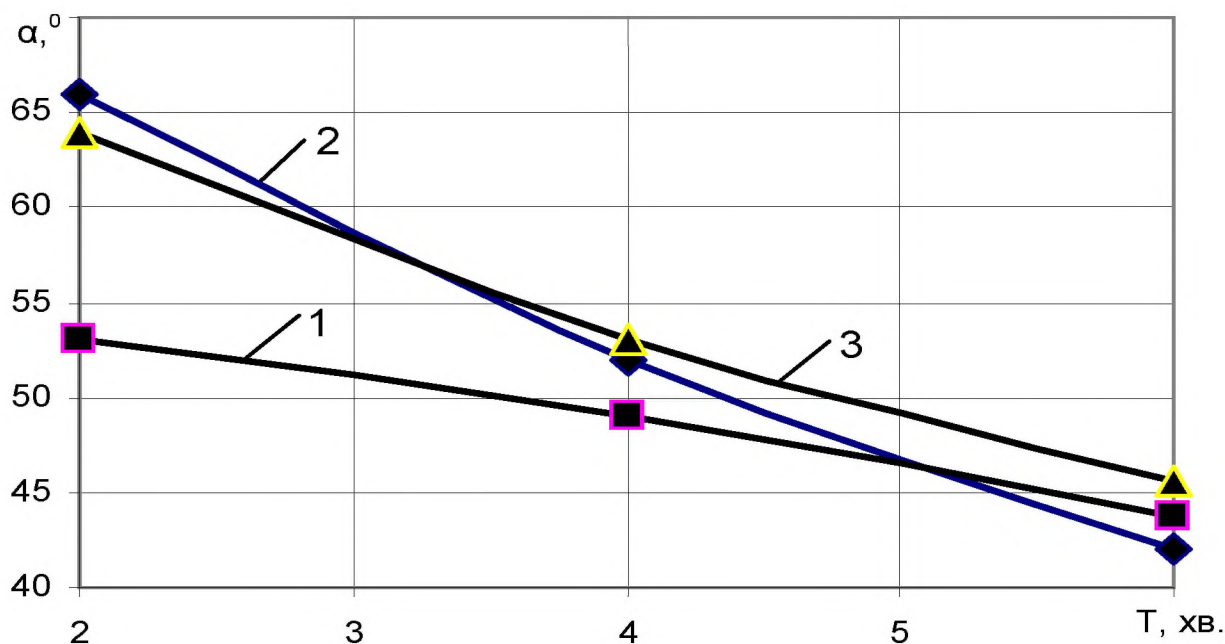


Рисунок 4.3 Графік зміни кута тертя гранул органно-мінеральних добрив, які складаються із 70 % сапропелю та 30% суперфосфату за температури нагріву поверхні: 1 – 40 °С; 2 – 40 °С; 2 - 80 °С

Аналізуючи отримані у результаті експериментальних досліджень значення кута тертя гранул ОМД та побудовані за середніми значеннями графіки можна зробити висновок, що загалом зі збільшенням часу попереднього сушіння грану кут тертя зменшується. Зменшується даний показник і із зменшенням температури нагріву досліджуваної поверхні. Відхилення від загальної закономірності кривих для гранул на основі сапропелю та сечовини пояснюється тим, що за нагріву гранул понад 60 °С відбувається перехід у рідкий стан карбаміду, що надає додаткової липкості гранулам а отже і збільшує кут тертя. Таким чином найменше значення кута тертя складає 35° для гранул із сапропелю та сечовини. Тому початковий кут нахилу гвинтової поверхні сушильної камери повинен бути меншим даного граничного значення. Оскільки у іншому випадку процес руху гранул гвинтовою поверхнею гранулююче-сушильної камери буде не контрольованим.

4.2 Результати дослідження часу перебування гранул ОМД у сушильній камері

Для отримання математичної моделі процесу перебування гранули ОМД у сушильній камері було проведено трифакторний експеримент згідно методики, що описана у п. 3.6. Метою експерименту було визначення часу перебування гранули ОМД у сушильній камері при варіюванні таких факторів як: радіус розташування центра мас вантажу, вологість гранул ОМД, вага вантажу дебаланса.

Обробка даних отриманих у результаті реалізації трифакторного експерименту, проведеного за планом Бокса-Бенкіна другого порядку, здійснювалась на ПЕОМ у середовищі Mathcad. При цьому однорідність ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена (3.9). Оскільки, $G^{\text{розр.}} = 0,204 < G^{\text{табл.}}(0.05; 15; 2) = 0.335$ [14] то процес відтворюється.

Під час розрахунку довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії використали критерій Ст'юдента, табличне значення якого при 5-% рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів $f_1=2$ складає $t=4.3$ [65].

Перевірку значущості коефіцієнтів регресії проводили за встановленими їх довірчими інтервалами. Тому рівняння регресії має вигляд:

$$\begin{aligned} \bar{y} = & 194,444 + 20,292x_1 - 52,792x_2 - 28,25x_3 - 4,75x_1x_2 + \\ & + 7,653x_1^2 - 9,347x_2^2 + 7,736x_3^2. \end{aligned} \quad (4.1)$$

Перевірку адекватності отриманого рівняння регресії (4.1) провели за критерієм Фішера. Розрахункове значення даного критерію при дисперсії неадекватності $S_{\text{неад.}}^2 = 6,308$ і дисперсії відтворюваності дослідів $S_y^2 = 0,481$ становило: $F^{\text{розр.}} = 2,185$. Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5-% значущості, згідно [11], 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 досліджу.

Оскільки, $F^{\text{розрах.}} = 13,102 < F^{\text{табл.}}(0.05; f_2; f_1) = 19,30$, то рівняння регресії адекватне.

Остаточно рівняння регресії із факторами у натуральному вигляді набуло вигляду:

$$t = 1094,612 - 30,776 \cdot W + 4,1596 \cdot r - 2,9597 \cdot m - 0,095 \cdot W \cdot r + 0,30612 \cdot W^2 - 0,09347 \cdot r^2 + 0,01934 \cdot m^2, \quad (4.2)$$

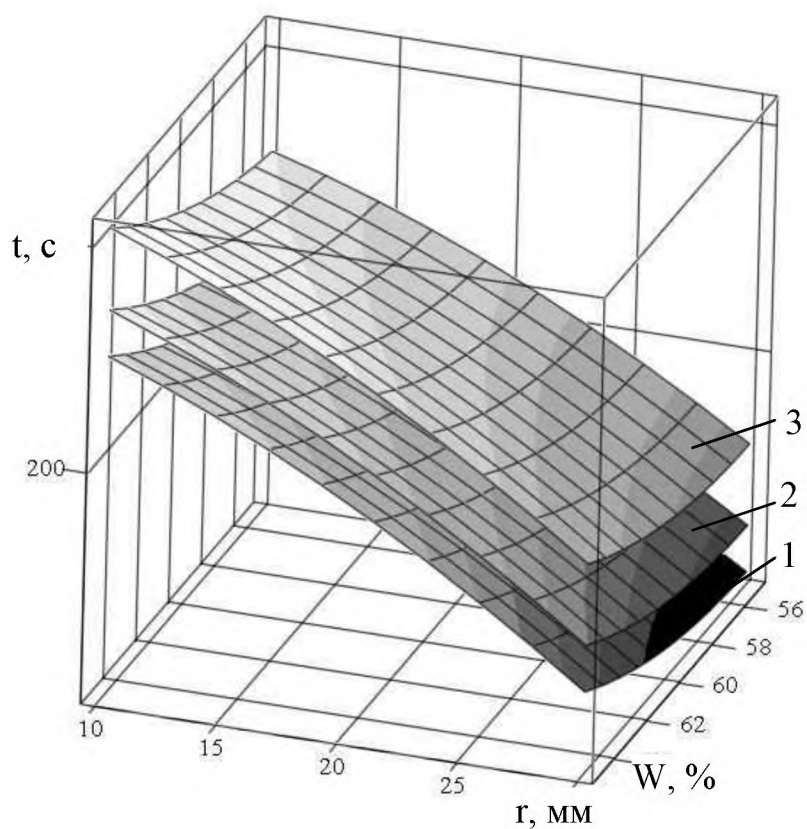
де W - вологість гранул ОМД, %;

r - радіус розташування центра мас вантажу, мм;

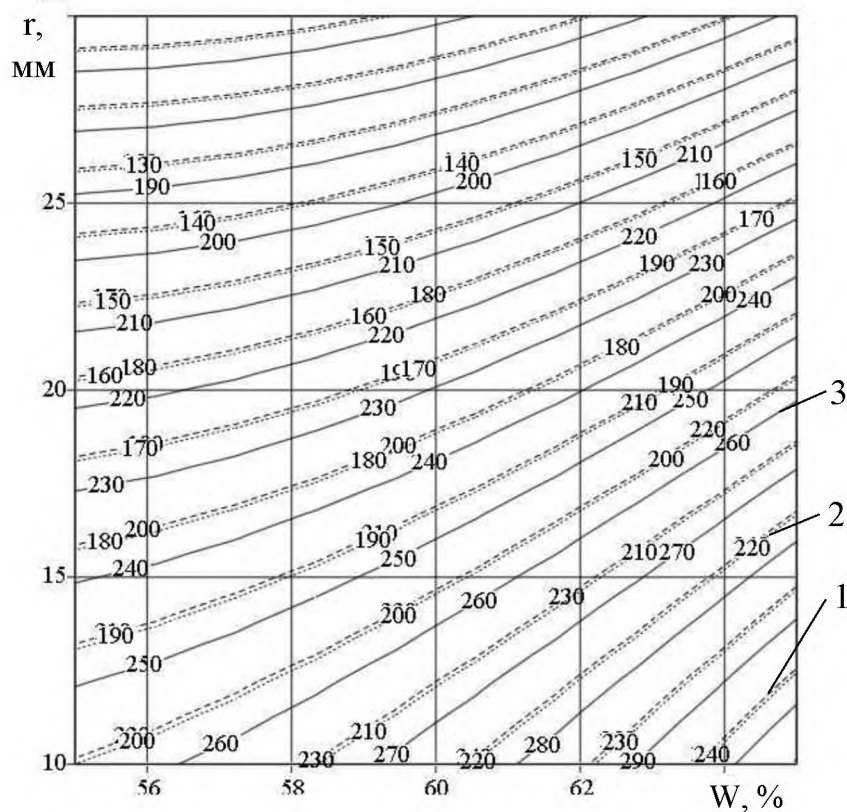
m - вага вантажу, г.

За отриманим рівнянням регресії (4.2) побудовано поверхні відгуку (рис. 4.3, а) та графіки ліній рівня (рис. 4.3, б) для відслідковування динаміки зміни часу перебування гранул у сушильній камері.

Аналіз отриманих результатів показує, що всі досліджувані фактори мають суттєвий вплив на час перебування гранули у сушильній камері та співвідношенням між вологістю і радіусом розташування центра маса вантажу, оскільки, всі решта ефекти парних взаємодій виявились статистично незначущими. Також можна зробити висновок, що спостерігається активне збільшення часу перебування гранул у сушильній камері за зростання їх вологості понад 60-62 % та зменшенні радіусу розташування центрів мас дебалансного вібратора у межах 10-15 мм. Також активно впливає на збільшення часу перебування гранули в сушильній камері зміна маси вантажу дебалансного вібратора у межах 30-40 г.



а



б

Рисунок 4.3 Залежність зміни часу перебування гранули ОМД t у сушильній камері від вологості гранул W та радіусу розташування центра мас вантажу r за маси вантажу: 1 – $m=60$ г; 2 – $m=40$ г; 3 – $m=20$ г

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

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.

Обґрунтування параметрів робочої поверхні сушильної камери виявили, що при збільшенні діаметру гранул d_{gp} більше від 6 мм веде до інтенсивного зменшення висоти сушильної камери, але це не допустимо із точки забезпечення виконання агротехнічних вимог до даної характеристики. Тому сушильна камера вистою $H_o = 6...7$ м забезпечить необхідний час сушіння гранули за прийнятої продуктивності сушарки-гранулятора у випадку коли конструктивно-технологічні параметри будуть знаходитись у межах:

- діаметр гранули $d_{gp} = 6$ мм;
- діаметр шнека $D = 1.9$ м;
- кут нахилу гвинтової лінії $\alpha = 5^\circ$;
- час сушіння $\tau = 2400$ с
- діаметр валу, на якому розміщений шнек $d = 0.1$ м.

Для забезпечення необхідної продуктивності сушильної камери, як вібраційної транспортуючої системи необхідно використовувати у якості джерела коливань двигун із частотою обертання вала $n = 750$ об/хв., а режим коливань $\Pi = 0,8$. При цьому коливання будуть здійснюватися із амплітудою

$A_1 = 0,0075$ м на 4 пружинах виготовлених із дроту діаметром $d_{\text{д}} = 20$ мм. Середній діаметр пружини повинен становити $D_{\text{сп}} = 0,14$ м, а довжина пружини у не навантаженому стані $H_n = 0,57$ м.

У результаті експериментальних досліджень кута тертя гранул ОМД встановлено, що зі збільшенням часу попереднього сушіння грану кут тертя зменшується. Зменшується даний показник і із зменшенням температури нагріву досліджуваної поверхні. Відхилення від загальної закономірності кривих для гранул на основі сапропелю та сечовини пояснюється тим, що за нагріву гранул понад 60°C відбувається перехід у рідкий стан карбаміду, що надає додаткової липкості гранулам а отже і збільшує кут тертя. Таким чином найменше значення кута тертя складає 35° для гранул із сапропелю та сечовини. Тому початковий кут нахилу гвинтової поверхні сушильної камери повинен бути меншим даного граничного значення.

Спостерігається активне збільшення часу перебування гранул у сушильній камері за зростання їх вологості понад $60-62\%$ та зменшенні радіусу розташування центрів мас де балансного вібратора у межах $10-15$ мм. Також активно впливає на збільшення часу перебування гранули в сушильній камері зміна маси вантажу де балансного вібратора у межах $30-40$ г.

Результати роботи рекомендується використовувати при проектуванні пристроїв для гранулювання та сушіння органо-мінеральних сумішей на основі сапропелю. Отримані добрива є перспективним добривом для систем точного (картографічного) землеробства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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. Климик В. С, Кропивницький В. В. Основи технології виробництва органо-мінеральних добрив. / Вісник Білоцерківського державного аграрного університету. Випуск 4, частина 2. Біла Церква, 1998. -312 с.
4. Копилевич В., Якушко С., Городний М., Адаменко С. Одержання органомінеральних добрив.// Натураліст. 1996, №2. С. 9.
5. 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.
6. Радик Д. Л. Розробка і дослідження енергозберігаючих гвинтових живильників. Дис... канд. техн. наук. 05.20.04. Тернопіль, 1996. -175 с.
7. 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.
8. Шевчук М. Й., Дідух В. Ф., Цизь І. Є. Виробництво і використання органо-мінеральних добрив. / Вісник аграрної науки, 2000, № 2. С. 9-12.
9. Шевчук М. Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання. –Луцьк: Надстир’я, 1996. -383 с.
10. Report Rothamsted experimental station for 1963. Harpenden 1964. -318 р.

11. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. –К.: НМК ВО, 1992. –320 с.

12. Назаренко І.І. Методологія наукових досліджень: Навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. – К: КНУБА, 2014.– 124 с.

13. Назаренко І.І., Кузьмінець М.П., Босий О.Г., Малік Т.В., Сафронов В.К. Основи наукових досліджень в проектуванні: навч. посібник: Видавництво «МП Леся», Київ: 2020. –109с

14. . Аністратенко В.О., Федоров В.Г. Математичне планування експерименту в АПК. — К.: Вища школа, 1993. — 375 с.

15. Оліфірук Ю. Обґрунтування висоти сушильної камери гранулятора-сушарки // Тези ІІІ студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, Луцький НТУ. С. 19-21

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1. - Матриця планування трифакторного експерименту

№ дослідю	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 гранул ОМД $W, \%$	Радіус розташування центра мас вантажу $r,$ мм	Маса вантажу $m,$ г
	x_1	x_2	x_3
Верхній (+1)	65	30	60
Основний (0)	60	20	40
Нижній (-1)	55	10	20
Інтервал варіювання, ϵ	5	10	20

Таблиця А.3. - Планування експерименту і черговість проведення дослідів

Черговість проведення дослідів	<i>Фактори</i>		
	Вологість гранул ОМД W, %	Радіус розташування центра мас вантажу r, мм	Маса вантажу m, г
6	65	30	40
1	55	30	40
12	65	10	40
3	55	10	40
4	65	20	60
7	55	20	60
2	65	20	20
10	55	20	20
15	60	30	60
8	60	10	60
4	60	30	20
13	60	10	20
9	60	20	40
5	60	20	40
14	60	20	40

