

**Міністерство освіти і науки України**  
**Луцький національний технічний університет**  
**Факультет аграрної інженерії та екології**  
**Кафедра аграрної інженерії імені професора Г.А.Хайліса**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

на тему:  
**«ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЦТВА  
ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ  
ГРАНУЛЯТОРА»**

спеціальності 208 Агроінженерія  
(шифр і назва спеціальності)  
освітня програма «Агроінженерія»  
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи АІ- 41  
ПАСІЧКО Роман Петрович

\_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент  
ЦИЗЬ Ігор Євгенович

\_\_\_\_\_

(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
Гарант освітньої програми:  
к.т.н., професор  
КІРЧУК Руслан Васильович

\_\_\_\_\_

(підпис)

Луцьк 2025

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<i>аграрних технологій та екології</i>
Кафедра	<i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i>
Ступінь вищої освіти	<i>бакалавр</i>
Галузь знань	<i>20 Аграрні науки та продовольство</i>
Спеціальність	<i>208 Агроінженерія</i>
Освітня програма	<i>Агроінженерія</i>

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри аграрної інженерії  
імені професора Г.А. Хайліса  
доц., к.т.н. ХОМИЧ Сергій  
Миколайович \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Пасічко Роману Петровичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Технічне забезпечення виробництва  
органомінеральних добрив з модернізацією  
гранулятора*

Керівник роботи: *Цизь Ігор Євгенович, доцент, к.т.н.*

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

затверджена наказом ЛНТУ від “17” січня 2025 р. № 33/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

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

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу бакалавра.
3. Анотація.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.

Додатки

## 5. Перелік графічного матеріалу:

	к-сть листів
1. Схема удосконаленої технології	- 1 лист
2. Функціональна (принципова) схема машини	- 1 лист
3. Організація робіт або операційно-технологічна карта	- 1 лист
4. Складальне креслення розроблюваного вузла	- 1 лист
5. Робочі креслення деталей	- 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 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_ р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення з матеріалами і літературою	08.04 – 11.04.2025 р.	
2	Формування вихідних даних, мети та завдання виконання кваліфікаційної роботи	12.04 – 18.04.2025 р.	
3	Розробка рекомендації з покращення (удосконалення) технології	19.04 – 25.04.2025 р.	
4	Розрахунки параметрів машини і вузла, які проектуються	26.04 – 01.05.2025 р.	
5	Розробка функціональної (кінематичної) і принципової схем машини	02.05 – 08.05.2025 р.	
6	Розробка конструкції вузла і його деталей	09.05 – 15.05.2025 р.	
7	Розробка питань охорони праці та довкілля	16.05 – 22.05.2025 р.	
8	Оформлення пояснюючої записки	23.05 – 29.05.2025 р.	
9	Нормоконтроль	30.05 – 03.06.2025 р.	
10	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	до 10.06.2025 р.	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_

(підпис)

Пасічко Роман Петрович

(прізвище та ініціали)

Керівник

кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Цизь Ігор Євгенович

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Пасічко Р.П. Технічне забезпечення виробництва органо-мінеральних добрив з модернізацією гранулятора. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

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

У роботі досліджено пропозицію вітчизняної техніки для виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю та підібрано комплект обладнання для цеху продуктивністю 5 т/год, а також запропоновано модернізований гранулятор-сушарку.

Ключові слова:

Сапропель, гранулятор, технічне забезпечення, органо-мінеральні добрива, транспортер, продуктивність, гранула.

					<i>КАІГСД.00.00.0000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Прес шнековий</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркци</i>	<i>Аркцив</i>
<i>Разробив</i>	<i>Пасічко</i>					<i>к</i>	<i>3</i>	<i>52</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цизь</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Юхимчук</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Хамич</i>							
						<i>ЛНТУ, каф. АІ ім. проф. Г.А. Хайліса гр. АІ-41</i>		

## ABSTRACT

Pasichko R.P. Technical support for the production of organo-mineral fertilizers with modernization of the granulator. Manuscript.

Bachelor's qualification work of OP "Agroengineering" specialty 208 Agroengineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The bachelor'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).

In the work, the offer of domestic equipment for the production of granulated organo-mineral fertilizers based on sapropel was investigated and a set of equipment was selected for the production plant with a productivity of 5 t/h, and a modernized granulator-dryer was also proposed.

Keywords:

Sapropel, granulator, technical support, organo-mineral fertilizers, conveyor, productivity, granule.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>4</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ЗМІСТ

Завдання.....	2
Анотація.....	3
Abstract.....	4
Зміст.....	5
Вступ.....	6
Розділ 1. Оглядова частина.....	9
1.1. Значення та проблеми використання сапропелю у аграрному виробництві.....	9
1.2. Аналіз ринкової пропозиції засобів механізації виробництва органо-мінеральних добрив.....	13
Розділ 2. Рекомендації з удосконалення технічного забезпечення виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив.....	18
2.1. Підбір обладнання та комплектування лінії з виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив.....	18
2.2. Обґрунтування технічного рішення з модернізації гранулятора-сушарки органо-мінеральних добрив.....	20
2.3. Розробка плану цеху з виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив.....	23
Розділ 3. Проектна частина.....	25
3.1. Розрахунок конструктивно-технологічних параметрів.....	25
3.2. Енергетичний розрахунок.....	27
3.3. Розрахунок параметрів приводу гранулюючого транспортера.....	30
Розділ 4. Охорона праці та довкілля.....	37
4.1. Аналіз конструкції гранулятора-сушарки з точки зору безпеки праці.....	37
4.2. Загальні вимоги до безпеки праці у цеху з виробництва органо-мінеральних добрив.....	39
4.3. Проектування заходів щодо запобіганню впливу шкідливих виробничих факторів .....	41
4.4. Заходи по охороні навколишнього середовища.....	45
Висновки.....	49
Перелік джерел посилання .....	51
Додатки.....	53

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	Арк. 5
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВСТУП

Широка гама озер на території Волинської області з різними природними параметрами забезпечує формування різних типів сапропелю, але саме органічний сапропель є найбільш ціним для використання з метою підвищення родючості ґрунтів. У той же час, проблема використання сапропелів прісноводних озер є комплексною оскільки отримана для сільськогосподарського виробництва сировина забезпечить очищення озер, що матиме широкі екологічні наслідки.

Механізм позитивного впливу сапропелю проявляється у покращенні механічної структури ґрунту, вологопоглинаючої і вологоутримуючої здатності, аерації, загальної активації ґрунтових процесів.

Перспективним є використання сапропелю, як компоненту компостів і різних продуктів переробки в сільському господарстві. Наприклад, соломи, яка здатна поглинути значну кількість вологи сапропелю. Також відомий спосіб переробки сапропелю у органо-мінеральні добрива. Такі добрива отримують шляхом збагачення сапропелю мінеральними мікро та макроелементами. Максимальний ефект досягається коли реалізується технологія виготовлення на його основі органо-мінеральних добрив у гранульованій формі.

Таким чином органо-мінеральні добрива де у якості органічного складника входить сапропель є перспективним засобом для підтримання та відтворення родючості ґрунту. Сапропель, у свою чергу, для використання у таких добривах має бути зневоднений до вологості 50-60 %. А отримані добрива повинні мати гранульовану форму.

Проведений аналіз обладнання, яке виробляється вітчизняним машинобудуванням показує, що із нього може бути скомплектована лінія для виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю. Проте принцип пресування гранул у горизонтальній матриці не підходить для органо-мінеральної суміші на основі сапропелю яка має вологість до 20 %. Також бажано об'єднати процес формування гранул із процесом їх сушіння.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						6
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Тому є потреба у удосконаленні конструкції гранулятора для отримання гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю.

Об'єкт дослідження – технічне забезпечення виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю.

Предмет дослідження – гранулятор-сушарка органо-мінеральної суміші на основі сапропелю.

Завданням кваліфікаційної роботи бакалавра є:

- здійснити аналіз літературних та інтернет джерел інформації за темою роботи;

- розробити перелік технічного обладнання та сформуванати на його основі лінію з виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю;

- розробити функціональну схему гранулятора-сушарки органо-мінеральних сумішей на основі сапропелю;

- провести розрахунки гранулюючого транспортера гранулятора-сушарки;

- розробити складальне креслення гранулюючого транспортера;

- розробити робочі креслення гранулюючого транспортера;

- розглянути питання охорони праці та заходи із захисту довкілля під час виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю.

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблена нова конструкція гранулятора-сушарки органо-мінеральних добрив на основі сапропелю.

За умови реалізації комплексного наукового підходу, який базується на врахуванні усіх факторів, буде отримано рішення яке дозволить підвищити якість отриманих гранул.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						7
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

1.1. Значення та проблеми використання сапропелю у аграрному виробництві.

Згідно наведених у літературі визначень термін «сапропель» походить від грецьких слів *sapros* — гнилий і *pelos* — мул або грязь. Це донні відклади прісноводних водойм, які сформувались протягом сотень років з флори та фауни цих водойм, а також частинок ґрунту, що водними потоками потрапляли сюди. Завдяки цьому такі відклади містять в собі велику кількість органічних речовин, гумусу, вугливодів, бітумів та інших сполук в колоїдному стані [2].

Для таких озерних відкладів шведський вчений Г. фон Пост ввів інші два терміни: „гиттія” і „дью”. «Гиттія» Г. фон Пост вважав відклади, органічна речовина яких утворилась із «населення водойми». А «дью» – відклади, які утворились за рахунок надходженні в озеро зі стоком розчинених гумінових речовин. Сьогодні поняття “сапропель” вживають в широкому значенні та використовують синоніми “сапропелеві відклади”, “донні відклади”, “мулисті відклади”, “озерні відклади”.

Межею між мінералізованими відкладами прісноводних озер і сапропелем є 15 % вмісту органічної речовини, адже за такого мінімального вмісту органіки відклади володіють рядом характерних властивостей таких як желеподібна консистенцією, темний колір, колоїдна структура, набуття твердості під час висихання за рахунок незворотного процесу коагуляції органічних колоїдів.

Серед покладів прісноводних озер прийнято виділяти верхній активний шар для якого використовують термін “пелоген”. Цей шар є свого роду проміжним етапом між первинною масою відмерлого органічного світу та сапропелем. Тут відбувається «переробка» органіки личинками комах, черв'яків, молюсків мікроорганізмів [2].

Протягом сотень років людиною відмічалась позитивна дія сапропелю в сільському господарстві, як добрива у рослинництві, а також, як кормової

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>8</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

добавки у тваринництві. Відомі практики використання сапропелю в медицині, будівництві, промисловості та при проведенні геологорозвідувальних робіт.

Відома класифікація, яка ділить донні відклади залежно від якісних особливостей на два типи: озерні карбонати та власне сапропелі. А от сапропелі залежно від вмісту золи виділяються на малозольні (<30%) та високозольні (>30%) сапропелі.

Також зручно використовувати класифікацію сапропелю у залежності від зольності і хімічного складу мінеральної частини. У цьому випадку сапропель поділяють на 4 типи: органічний, кремнеземистий, карбонатний та змішаний.

Згідно цієї класифікації саме органічний сапропель має найбільшу перспективу та універсальність до використання. Його зольність не перевищує 30%, а відповідно вміст органічної речовини становить не менше 70 % може досягати 94%. Колір його, як правило, коричневий. Завдяки вмісту високодисперсних частинок такий сапропель є ефективним засобом для покращення властивостей ґрунтів.

Вміст мінеральних (зольних) компонентів в органічному сапропелі становить від 6 до 30%, і залежить від умов формування донних відкладів.

Найбільшу роль у формуванні органічного сапропелю відіграли діатомові, синьо-зелені, протококої десмідієві та інші водорості. У евтрофних озерах зазвичай домінують синьо-зелені водорості. у мірі зростання ролі діатомових водоростей у формуванні сапропелю збільшується зольність таких відкладів.

Окремим підтипом органічного сапропелю вважають торфосапропель. У формуванні його органічної речовини, поряд із звичайним процесом бере участь і матеріал прилеглих торфовищ. Найчастіше поклади торфосапропелю виявляють на межі відкладів сапропелю, який вкритий торфом. Товщина таких покладів, як правило, не перевищує 0,5-1,0 м. Іноді під шаром торфосапропелю знаходиться шар торфу. Також у процесі добування відбувається перемішування торфу із сапропелем із утворенням торфосапропелю. У біологічних залишках таких відкладів міститься до 25% рослин, які беруть участь у формуванні сапропелю [2].

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						9
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Особливістю формування органічної речовини торфосапропелю є біохімічний розклад водоростей, залишків деревини, спор грибів, пилку та відмерлих живих організмів. Співвідношення між цими складовими визначає властивості торфосапропелю. Уміст залишків водоростей сприяє нагромадженню легкогідролізованих компонентів та зростанню вмісту гумінових речовин і целюлози. Загальний вміст органічної речовини в торфосапропелі знаходиться від 55 до 94%.

Назва «кремнеземисті сапропелі» відображає вміст у них основного компонента мінеральної частини – двоокису кремнію. Кількість двоокису кремнію в золі сапропелю становить від 30 до 70%. Основною якісною характеристикою кремнеземистого сапропелю є вміст мінеральних компонентів. Оскільки такі сапропелі як правило високозольні то вміст у них органічної речовини відходить на задній план.

Кремнеземисті сапропелі мають високу концентрацією окису заліза. Порівняно із органічним сапропелем вони містять більшу кількість тонкодисперсних частинок. Хімічний склад кремнеземистого сапропелю визначається головним чином умовами формування в замкнутих котловинах. У озерах поклади кремнеземистих сапропелів вкривають карбонатні або органічні відклади [2].

Оптимальне співвідношення гумінових кислот і легкогідролізованих сполук, двоокис кремнію, аморфний кремнезем та окис заліза і алюмінію надає кремнеземистому сапропелю добрі структуроформувальні властивості. У біологічних залишках представлені у переважній більшості водорості (до 80%), і до 20% тваринних залишків.

Карбонатні сапропелі містять у складі своєї мінеральної частини переважаючу кількість вуглекислого кальцію і магнію (30-80%). Формуються їх поклади переважно в геологічних структурах, де наявні породи збагачені карбонатами цих металів. Залежності від вмісту органічної речовини карбонатні сапропелі можуть мати білувато-сірий, сірий і сірувато-свинцевий колір. Карбонатні сапропелі на відміну від органічного не містять тонко

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>10</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

дисперсних частино. На фракцію з розмірами більше 250 мкм припадає майже 14%. У цій фракції виявляють глинисто-залізисто-карбонатні агрегати які сформовані із залишків рачків. Значний внесок у формування карбонатних сапропелів належить залишкам молюскам з вапняковими рачками та хоровим водоростям [2].

У карбонатному сапропелі вміст гумінових кислот становить у межах 20%, легкогідролізованого залишку – до 30%. Співвідношення між цими компонентами становить 1,2:2,5.

Широка гама озер на території Волинської обалсті з різними природними параметрами забезпечує формування різних типів сапропелю. Але як впливає із наведних властивостей саме органічний сапропель є найбільш ціним для використання з метою підвищення родючості ґрунтів [1].

У той же час, проблема використання сапропелів прісноводних озер є комплексною оскільки отримана для сільськогосподарського виробництва сировина забезпечить очищення озер, що матиме широкі екологічні наслідки.

Практика використання сапропелю у сільському господарстві як добрива полягає у його зневодненні після промерзання та набуття сипкого стану. Виявлено максимальну ефективність від використання на кислих та легкого механічного складу ґрунтах, що забезпечує суттєве відносне збільшення вмісту гумусу. У такому випадку норма внесення для зернових культур складає 30-40 т/га, для овочевих та кормових коренеплодів 60-70 т/га.

Механізм позитивного впливу сапропелю проявляється у покращенні механічної структури ґрунту, вологопоглинаючої і вологоутримуючої здатності, аерації, загальної активації ґрунтових процесів. Сапропель забезпечує мобілізацію мінеральних компонентів ґрунту, сприяє самоочищенню від хвороботворних бактерій, грибків і мікроорганізмів. Мінеральна частина сапропелю містить перелік таких мікроелементів: Со, Мп, Су, В, Вр, Мо, V, Сr, Ве, Ni, Ag, Sn, Pb, As, Ва, Sr, Ti. Також сапропель має здатність блокувати надходження шкідливих елементів із ґрунту до рослин. Таким елементами є радіонукліди та солі важких металів. Завдяки цьому відома практика успішного

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>11</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

використання сапропелю на техногенно забруднених ґрунтах з метою отримання якісної сільськогосподарської продукції.

Проте важливою причиною обмеженого застосування сапропелю у сільськогосподарському виробництві є його вологість, яка може досягати 98%. Такий вміст вологи робить не рентабельним його використання через логістичні витрати. Відсутність зим із тривалим періодом від'ємних температур не дає можливості застосувати описані раніше технологічні прийоми [1].

Із літературних відомо, що існуючі технічні засоби для добування озерних сапропелів дозволяють підняти їх на поверхню із природним вмістом води серед якої до 15% складає фізично зв'язана (вільна) волога, яку можна відокремити механічним способом.

У подальшому перспективним є використання сапропелю, як компоненту компостів і різних продуктів переробки в сільському господарстві. Наприклад, соломи, яка здатна поглинути значну кількість вологи сапропелю.

Також відомий спосіб переробки сапропелю у органо-мінеральні добрива. Такі добрива отримують шляхом збагачення сапропелю мінеральними мікро та макроелементами. Максимальний ефект досягається коли реалізується технологія виготовлення на його основі органо-мінеральних добрив у гранульованій формі [1].

За сучасних умов надійним засобом забезпечення функціонування агроєкосистем є екологізація сільськогосподарського виробництва, яка може стримати процес їх деградації та знизити залежність від техногенних чинників. Однією з обов'язкових умов екологізації аграрного сектора в сучасних економічних та екологічних умовах є розробка технологій, які були б побудовані на принципах відновлення природних ресурсів і посилення процесів саморегуляції систем при відносно невисоких витратах ресурсів техногенного походження. Яскравим прикладом такого підходу є використання озерних сапропелів. Добування їх із озер забезпечуватиме відновлення водного балансу водойм, а використання добрив виготовлених на основі сапропелю забезпечить збереження та підвищення родючості ґрунтів.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>12</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таким чином органо-мінеральні добрива де у якості органічного складника входить сапропель є перспективним засобом для підтримання та відтворення родючості ґрунту. Сапропель, у свою чергу, для використання у таких добривах має бути зневоднений до вологості 50-60 %. А отримані добрива повинні мати гранульовану форму.

## 1.2. Аналіз ринкової пропозиції засобів механізації виробництва органо-мінеральних добрив.

Для виробництва гранул із різної органо-мінеральної сировини вітчизняні машинобудівні підприємства виробляють комплекси обладнання різної продуктивності. Із такого обладнання комплектуються лінії, як правило, для виробництва гранульованих кормів та паливних пелет. Проте таке обладнання у більшості випадків може бути використане і для виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю.

Так фірма ТОВ «Артмаш» виробляє шнеки точної подачі, які можуть бути використані у лінії для виробництва органо-мінеральних добрив для дозування органічних та мінеральних компонентів. Виробник пропонує такі машини із продуктивністю 3, 6 та 8 т/год. (рис. 1.1). Потужність встановлених двигунів також залежно від продуктивності може складати 2,05, 2,55 та 5,5 кВт [3]. Для забезпечення якісного подавання компонентів бункер обладнаний гвинтовим зворушувачем. Точне регулювання подачі таких машин здійснюється звади частному регулятору, який змінює частоту обертання валу привідного електродвигуна. Точність дозування у технічній характеристиці виробник не наводить.

Для змішування мінеральних та органічних компонентів добрив може бути використаний шнековий двовальний змішувач фірми «Технік» [4]. Ширина та довжина камери змішування залежно від моделі тут змінюється від  $b=250$  мм та  $l=900$  мм до  $b=550$  мм та  $l=2700$  мм (рис. 1.2). При цьому об'єм камери змішування

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>13</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

змінюється від 0,021 м<sup>3</sup> до 0,306 м<sup>3</sup>. Завдяки цьому може бути підібраний змішувач саме під потреби проектованої лінії з виробництва органо-мінеральних добрив [4].



Рисунок 1.1 Фото дозатора компонентів добрив фірми «Артмаш» ShTP-0,6



Рисунок 1.2. Фото двовального шнекового змішувача [4]

Вітчизняне машинобудування пропонує для гранулювання матеріалів гранулятори із горизонтальною матрицею. Так фірма ТехноМашСтрой виготовляє гранулятори серії Grand, які відрізняються продуктивністю та

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>14</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

відповідно потужністю приводу. Так найпродуктивніший із серії GRAND-400 "М" забезпечує продуктивність до 500 кг/год гранул за потужності встановленого двигуна 37 кВт [5] (рис. 1.3). При цьому вологість вхідного матеріалу не має перевищувати 14 %.



Рисунок 1.3. Фото гранулятора із горизонтальною матрицею GRAND-400 "М" [5]

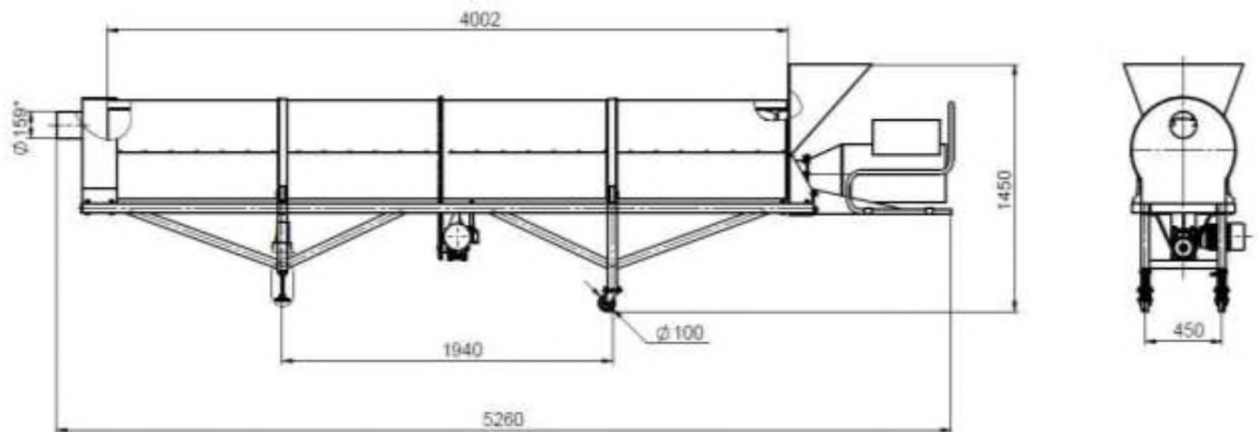
Для сушіння у тому числі гранульованих добрив фірма ТехноМашСтрой виготовляє барабанну сушарку "БС-4". Дана сушарка забезпечує продуктивність у 2 т/год за висушеним матеріалу при довжині 5260 мм та внутрішньому діаметрі 484 мм барабану (рис. 1.4). Потужність встановленого двигуна приводу складає 0,75 кВт, а затрати енергії на роботу теплогенератора від 6 до 12 кВт [6].

Для охолодження готових гранул та їх калібрування фірма ТехноМашСтрой виготовляє систему калібрування і охолодження БКО-300 [7]. Дана машина забезпечує одночасне охолодження висушених гранул та їх калібрування (рис. 1.5). Для цього вона обладнується ситами із діаметром отворів 3, 5, 6, 8, 10 мм та електродвигуном потужністю 0,37 кВт.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а



б

Рисунок 1.4 Комп'ютерна модель (а) та схема барабанної сушарки "БС-4"



Рисунок 1.5. Комп'ютерна модель систему калібрування і охолодження БКО-300

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						16
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

З метою затарювання готових гранул органо-мінеральних добрив у мішки різної маси виробники пропонують вагові дозатори різної продуктивності. Так дозатор ФС-125+ фірми ТехноМашСтрой забезпечує фасування матеріалів у мішки масою від 1 до 50 кг (рис. 1.6). Об'єм бункера дозатора 760 л а потужність встановленого двигуна 0,5 кВт [8].



Рисунок 1.6. Модель дозатор ФС-125+ [8]

Проведений аналіз обладнання, яке виробляється вітчизняним машинобудуванням показує, що із нього може бути скомплектована лінія для виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю. Проте принцип пресування гранул у горизонтальній матриці не підходить для органо-мінеральної суміші на основі сапропелю яка має вологість до 20 %. Також бажано об'єднати процес формування гранул із процесом їх сушіння. Тому є потреба у удосконаленні конструкції гранулятора для отримання гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	Арк.
						17
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

**РОЗДІЛ 2**  
**РЕКОМЕНДАЦІЇ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО**  
**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ГРАНУЛЬОВАНИХ ОРГАНО-**  
**МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ**

2.1. Підбір обладнання та комплектування лінії з виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив.

Вихідними даних визначено змінну продуктивність лінії 40 т гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю. Для восьмигодинної зміни годинна продуктивність має тоді складати 5 т/год. Для виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив будемо використовувати органічний сапропель, як органічну складову даних добрив. Джерелом азоту будемо використовувати сухий курячий послід, фосфоритне борошно отримане із фосфоритів Старовижівського родовища – джерело фосфору та калімагnezія Калуського родовища – джерело калію.

У подальшому для комплектування лінії для чотирьох компонентів потрібно передбачити чотири бункери накопичувачі із шнековими транспортерами точного завантаження. Обиратимемо для цих цілей шнек точного завантаження із бункером 0,6 кубометра ShTP-0,6 та продуктивністю 3000 кг/год. Форма бункера дозволяє завантажувати матеріал навіть тракторним завантажувачем. Габаритні розміри бункера складають 2800\*750\*1600 мм. Сумарна потужність електродвигунів встановлених на бункері складає 2,05 кВт.

Компоненти, що подаються чотирма бункерами із шнековими транспортерами точного завантаження буде потрапляти на стрічковий транспортер із довжиною 3 м виробництва ТОВ "МАСТЕР - ГРИГ". Основні технічні характеристики даного транспортера такі: реверсивна робота; ширина стрічки - 0,4 м; швидкість полотна транспортера - 0,25 м/с; потужність встановленого електродвигуна - 0,25 кВт; габарити - 2900\*540\*2030 мм.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>18</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Змішувати органічні та мінеральні компоненти органо-мінеральних добрив будемо у змішувачі шнековому двохвальному Технік-550 із продуктивністю 8 т/год. Камера змішування у даній машині має такі габарити: ширина - 550 мм, довжина – 1900 мм. Потужність встановленого електродвигуна приводу складає 12.5 кВт.

Підготовлена органо-мінеральна суміш від змішувача під дією власної ваги падатиме у бункер накопичувач гранулятора. Для отримання гранул будемо використовувати модернізований у роботі пристрій, який одночасно із гранулюванням забезпечує і сушіння гранул. Така машина має габаритні розміри: ширину – 1880 мм; довжину – 3490 мм; висоту – 7595 мм. Сумарна потужність встановлених електродвигунів складає 12 кВт. Продуктивність такої сушарки гранулятора складає 2 т/год тому для забезпечення заданої у вихідних даних продуктивності цеху потрібно встановити три таких машини.

Для транспортування гранул від гранулятора-сушарки до охолоджувача сепаратора використаємо стрічковий транспортер ТОВ "МАСТЕР - ГРИГ" довжиною 3 м. При цьому подавання гранул здійснюватиметься таким транспортером від кожного з трьох грануляторів-сушарок.

Калібрування та охолодження гранул будемо проводити у системі БКО-300 із габаритними розмірами: довжина – 2900 мм; ширина – 850 мм; висота – 1220 мм. Потужність встановленого електродвигуна – 0,37 кВт. Для отримання товарної фракції гранул із розміром не більше 6 мм систему обладнуватимемо ситом відповідного діаметру. У лінії буде встановлено три таких системи.

Охолоджені та відсепаровані гранули від кожного із систем БКО-300 будуть висипатись на транспортер стрічковий довжиною 3 м ТОВ "МАСТЕР - ГРИГ". Далі таким же транспортером тільки встановленим під кутом до горизонту будуть подаватись до дозатора для завантаження у мішки.

Пакування охолоджених сепарованих гранул будемо проводити дозатором ФС-125+ у мішки масою або 50 або 20 кг. Габаритні розміри машини – 1100\*930\*2735. Потужність встановленого електрообладнання 1,0 кВт.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>19</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2.2. Обґрунтування технічного рішення з модернізації гранулятора-сушарки органо-мінеральних добрив

Проведений аналіз конструкцій грануляторів показав, що фізико-механічні властивості компонентів ОМД вимагають іншого підходу даного процесу. Тобто процес гранулювання доцільно здійснювати за принципом формування а також його можна об'єднати із процесом сушіння гранул. Для цього нами запроновано реалізовувати процес за схемою яка наведена на рис. 2.1.

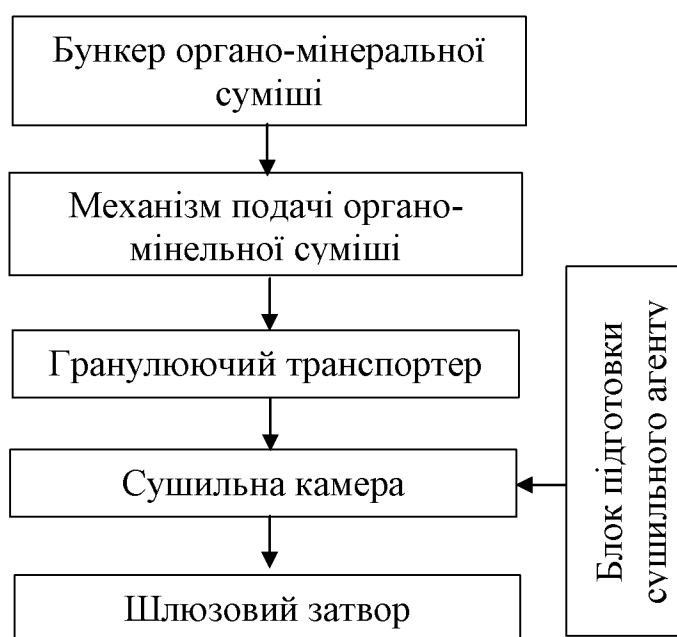


Рисунок 2.1 Структурна схема технологічного процесу гранулювання та сушіння органо-мінеральної суміші

За допомогою цієї структурної схеми розроблено функціональну схему машини, яка відповідно до вихідних вимог забезпечує гранулювання органо-мінеральних сумішей до складу яких входить у якості органічної частини сапрпель (бажано природної вологості) та у якості мінеральної частини – мінеральні добрива, що містять мікроелементи живлення сільськогосподарських рослин (NPK). Отримані гранули будуть мати кулясту форму із діаметром у межах 2...6 мм та міцність на меншу 0,5 МПа.

					КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Елемент функціональної схеми такого гранулятора-сушарки зображено на рис. 2.2.

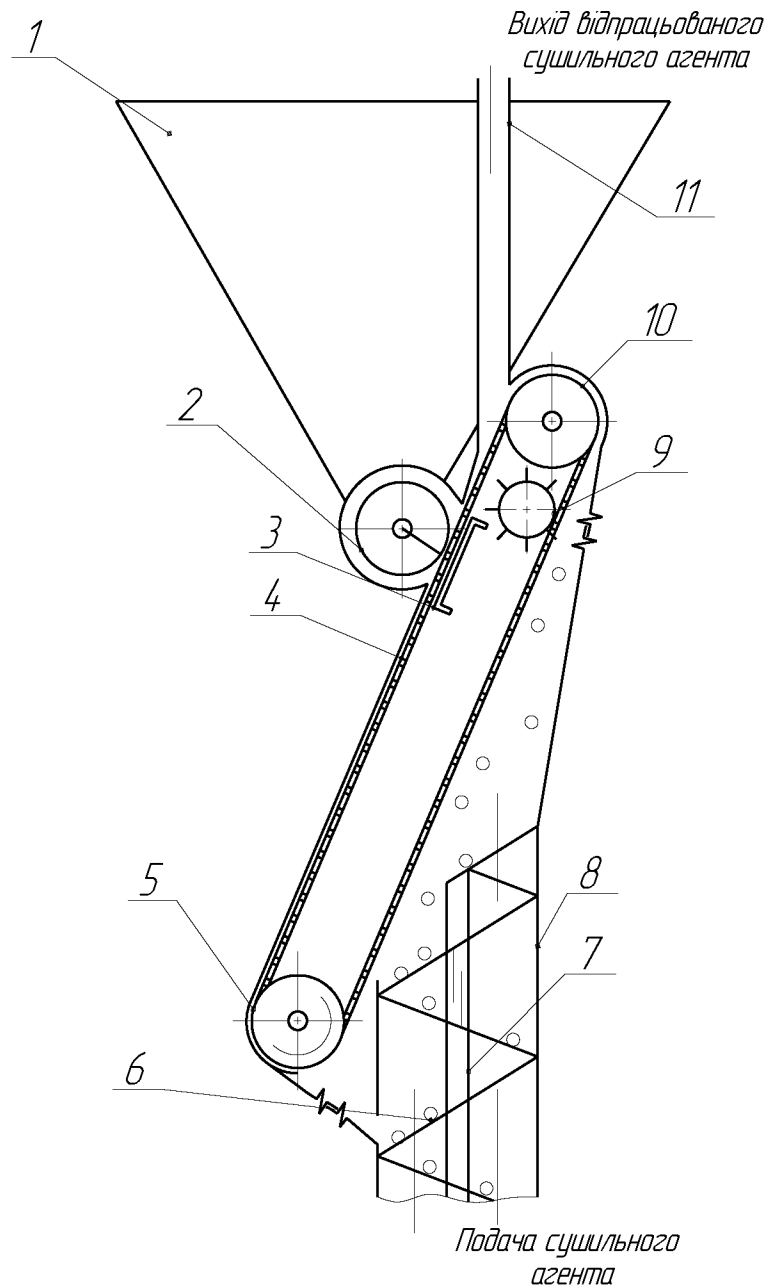


Рисунок 2.2. Схема удосконаленого гранулятора-сушарки: 1 - бункер суміші; 2 - підпресовуючий шнек; 3 - підпірна пластина; 4 - гранулюючий транспортер; 5 - натяжний барабан; 6 - перфорована гвинтова поверхня; 7 - вал; 8 - корпус; 9 – валець очищувач; 10 - привідний барабан; 11 - трубопровід відведення відпрацьованого сушильного агенту

Робочий процес машин відбувається таким чином. Попередньо підготовлена органо-мінеральна суміш завантажується із змішувача у бункер 1

					КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

звідки механізмом подачі 2 надходить до гранулюючого транспортера 4. У зоні взаємодії підпресовуючого шнека із гранулюючим транспортером кожух у нижній частині останнього відсутній, але під полотном транспортера встановлена підпірна пластина 3. Полотно гранулюючого транспортера 4 являє собою сітку з вічками прямокутного профілю. Завдяки подачі матеріалу шнеком у зазорі між ним та підпірною пластиною постійно формується спресований шар матеріалу, який заповнює вічка полотна гранулюючого транспортера. Завдяки обертанню привідного 10 та натяжного 5 барабанів полотно транспортера здійснює рух, а на його поверхні формується шар органічно-мінеральної суміші товщиною, що визначається зазором між кожухом шнека та підпірною пластиною 3.

У процесі переміщення органічно-мінеральної суміші разом із полотном вона обдувається сушильним агентом, що надходить із камери сушіння та формування гранул. При цьому відбувається інтенсивне зневоднення суміші та її усадка. Окремі елементи суміші формуються на межі контакту матеріалу із полотном гранулюючого транспортера. Рухаючись зворотною віткою гранулюючого транспортера 4 певний відсоток частинок матеріалу починає випадати із комірчин та потрапляє на гвинтову перфоровану поверхню 6. Частинки, які під дією сили ваги не випали з вічок виштовхуються вальцем очищувачем 9 і також надходять гвинтову перфоровану поверхню 9.

Потрапляючи на гвинтову поверхню 6 частинки органічно-мінеральної суміші здійснюють рух вздовж витків цієї поверхні. У процесі руху відбувається вирівнювання, ущільнення та агломерація гранул органічно-мінеральних добрив. Завдяки взаємодії гранул із сушильним агентом також продовжується процес сушіння гранул. Гвинтова поверхня 6 має змінний кут нахилу до твірної циліндра кожуха. На початку поверхні цей кут більший, а у кінці менший оскільки фрикційні характеристики гранул у початковий момент процесу вищі ніж під час виходу гранул із гранулятора. Така особливість конструкції дозволяє забезпечити постійну мінімальну швидкість переміщення

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						22
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

гранул поверхню 6. Для унеможливлення прилипання гранул до гвинтової поверхні 6, дана поверхня разом із валом 7 здійснює коливні рухи.

Виконана у гвинтовій поверхні перфорація сприяє проходження сушильного агенту вздовж корпусу 8.

2.3. Розробка плану цеху з виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив.

Площу виробничого приміщення цеху для виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив визначаємо за формулою

$$F_n = (F_{m.o.} + F_{m.c.}) \cdot \sigma \quad (2.1)$$

де  $F_{m.o.}$  – сумарна площа яку займає встановлене у цеху технологічне обладнання, м<sup>2</sup>;

$F_{m.c.}$  – площа, що займає внутрішній транспорт, м<sup>2</sup>;

$\sigma$  - коефіцієнт, що враховує робочі зони та проходи.

Площу, яку займає встановлене у цеху технологічне обладнання відповідає сумарному значенню таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. - Площа, яку займає технологічне обладнання цеху

№ п/п	Назва	Кількість штук	Площа м <sup>2</sup>
1.	Шнек точного завантаження ShTP-0,6	4	8,4
2.	Змішувач шнековий двохвальний Технік-550	1	1,05
3.	Гранулятор-сушарка ГСК (розроблений)	3	19,68
4.	Сепаратор-охолоджувач	3	7,4
5.	Дозатор ФС-125+	1	1,02
	Всього	12	37,55

Взявши значення  $\sigma = 4,0$  як для підприємств з виробництва добрив, а також врахувавши площу під стрічковим конвеєром 1,56 м<sup>2</sup> та те що таких конвеєрів буде встановлено 9 отримаємо

$$F_n = (37,55 + 9 \cdot 1,56) \cdot 4 = 206,36 \text{ м}^2$$

Із наступного ряду вибираємо ширину приміщення рівною  $B = 8$  м, тоді довжина складатиме:  $L = 206,36/8 = 25,8$  м.

Приймаємо  $L = 26$  м.

Далі проводимо розміщення обладнання на розрахованій площі.

					КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**РОЗДІЛ 3**  
**ПРОЕКТНА ЧАСТИНА**

3.1. Розрахунок конструктивно-технологічних параметрів

Одним із важливих показників розглядуваного процесу є продуктивність. У відповідності до вихідних Даних проектується сушарка-гранулятор із продуктивністю за вологим матеріалом 2 т/год.

Визначимо діаметр шнека гвинтового живильника, який забезпечує подачу суміші із бункера до гранулюючого транспортера із формули [14]:—

$$Q = \frac{K_n K_p \gamma \omega D^3}{8}, \quad (3.1)$$

де  $D$  - діаметр гвинта, м

$K_n$  - коефіцієнт продуктивності конвеєра, для запропонованої конструктивної схеми дозатора  $K_n = 0.73$  [9].

$K_p$  - відношення кроку гвинта до його діаметра, прийmemo  $K_p = 0.6$  ;

$\omega$  - кутова швидкість обертання гвинта, рад/с.

Відомо що

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (3.2)$$

де  $n$  - частота обертання валу гвинта, яка для даного класу вантажів складе  $n = 200$  об/хв.

Тому

$$\omega = \frac{\pi \cdot 200}{30} = 20,9 \text{ с}^{-1}$$

Із (3.1) розрахуємо діаметр гвинта

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q}{450 K_n K_p \gamma \omega}}. \quad (3.3)$$

Отже

$$D = \sqrt[3]{\frac{2}{450 \cdot 0.73 \cdot 0.6 \cdot 0,690 \cdot 20,9}} = 0,091 \text{ м.}$$

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						25
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Уточнюємо діаметр гвинта за формулою

$$D' = \sqrt{D^2 + d_e^2}, \quad (3.4)$$

де  $d_e$  - діаметр вала гвинта, прийmemo  $d_e = 0,04$  м

$$D' = \sqrt{0,091^2 + 0,04^2} = 0,099 \text{ м}$$

Прийmemo  $D = 100$  мм, а крок  $100$  мм.

За вибраним діаметром гвинта  $D$  перераховуємо частоту обертання гвинта за формулою

$$n_\phi = n \left( \frac{D'}{D} \right)^3 = 200 \left( \frac{81}{100} \right)^3 = 107 \text{ об/хв.} \quad (3.5)$$

Геометричні та технологічні параметри гранулюючого транспортера визначимо з умови необхідної продуктивності та часу перебування органо-мінеральної суміші на транспортері. Ширину транспортера прийmemo рівною  $B = 2$  м такою ж прийmemo і довжину робочої вітки транспортера. Тому сумарна довжина транспортера складатиме  $L_\Sigma = 4$  м.

Тоді сумарний час перебування органо-мінеральної суміші на транспортері можна визначити за формулою

$$t_\Sigma = \frac{L_\Sigma}{V_{mp}}, \quad (3.6)$$

де  $V_{mp}$  - поступальна швидкість полотна транспортера, м/с.

Дослідженнями науковців встановлено, що час перебування органо-мінеральної суміші на транспортері для зниження її вологості на 5 % повинно становити не менше 120 с. Тому рахуючи таким сумарний час перебування суміші на транспортері отримаємо

$$V_{mp} = \frac{L_\Sigma}{t_\Sigma} = \frac{4}{120} = 0,034 \text{ м / с.}$$

Продуктивність гранулюючого транспортера у кг/год можна визначити за формулою

$$Q = 3600 \cdot V_{mp} \cdot B \cdot h_c \cdot \gamma, \quad (3.7)$$

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $h_c$  - товщина шару суміші на сітці гранулюючого транспортера, м.

Із (3.7) отримаємо

$$h_c = \frac{Q}{3600 \cdot V_{mp} \cdot B \cdot \gamma} = \frac{2000}{3600 \cdot 0.034 \cdot 2 \cdot 690} = 0.011 \text{ м.}$$

### 3.2. Енергетичний розрахунок

Потужність необхідна для приводу виконавчих органів сушарки-гранулятора становить:

$$N = N_1 + N_2 + N_3, \quad (3.8)$$

де  $N_1$  – потужність необхідна для приводу гвинтового конвеєра, кВт;

$N_2$  – затрати потужності на привід гранулюючого транспортера, кВт;

$N_3$  – затрати потужності на привід дебалансного вібратора, кВт;

Потужність приводу гвинтового конвеєра розраховують за формулою [14]:

$$N_1 = \frac{2Q}{367} LW + H K_1 K_2 \quad (3.9)$$

де  $W$  - коефіцієнт, що враховує опір пересуванню матеріалу по кожуху при транспортуванні який для вологих неабразивних матеріалів  $W = 1.5$ ;

$L$  - довжина транспортування, яку приймемо  $L = 2,1$  м;

$H$  - висота транспортування, у нашому випадку  $H = 0$  м;

$K_1$  - коефіцієнт, що залежить від кута нахилу шнека до горизонту, і при  $\beta = 0$ ,  $K_1 = 1$

$K_2 = 1.05 \dots 1.2$  - коефіцієнт подолання інерції в період пуску, приймемо  $K_2 = 1.1$ .

Отже

$$N_1 = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2.1 \cdot 1 \cdot 1.2}{367} = 0.028 \text{ кВт}$$

Потужність, необхідна на привід гранулюючого транспортера визначимо за формулою для розрахунку потужності на привід стрічкового транспортера, [14]:

					<i>КАІГССД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_2 = \frac{Kn \cdot Q \cdot L}{367} W \cos \alpha + \sin \alpha, \text{кВт} \quad (3.10)$$

де  $Kn = 1,4$  – коефіцієнт, що враховує втрати при пуску, на перегин стрічки на барабані, в зоні нанесення органо-мінеральної суміші та ін.;

$Q$  – продуктивність транспортера, яка рівна продуктивності гранулятора-сушарки, т/год.

$L$  – довжина транспортера яку за ескізною компоновкою машини приймаємо  $L = 2 \text{ м}$  ;

$w$  – коефіцієнт опору руху, який залежить від продуктивності транспортера і для  $Q = 2 \text{ т/год}$   $w = 2,8$ ;

$\alpha = 70^\circ$  - кут нахилу транспортера.

Для розглянутого випадку отримаємо :

$$N_2 = \frac{1,4 \cdot 2 \cdot 2}{367} 2,8 \cos 70 + \sin 70 = 0,030 \text{ кВт}$$

Потужність на привід дебалансного вібратора можна визначити за формулою

$$N_3 = M_{on} \cdot \omega, \quad (3.11)$$

де  $M_{on}$  - максимальний момент опору обертання валу двигуна приводу дебалансного вібратора, Нм;

$\omega$  - кутова швидкість обертання валу двигуна,  $\text{с}^{-1}$ .

Максимальний момент опору обертання валу двигуна приводу дебалансного вібратора визначимо з наступних міркувань. Відцентрова сила, що створюється вібратором повинна бути рівною вазі сушильної камери із матеріалом який у ній перебуває. У такому випадку

$$P_e = G_k = g \cdot m_k, \quad (3.12)$$

де  $m_k$  - маса сушильної камери із матеріалом який у ній перебуває і для машин аналогів складає  $m_k = 1200$  кг.

Тому

$$P_e = G_k = 9,81 \cdot 1200 = 11,7 \text{ кН.}$$

З іншої сторони відцентрову силу можна визначити за формулою

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_e = m_e \cdot r \cdot \omega^2, \quad (3.13)$$

де  $m_e$  - зосереджена маса незбалансованого вантажу вібратора, кг;

$r$  - радіус обертання центра ваги незбалансованого вантажу, м;

$\omega$  - кутова швидкість обертання вала двигуна,  $c^{-1}$ .

Із (3.13) запишемо

$$m_e = \frac{P_e}{r \cdot \omega^2}. \quad (3.14)$$

А максимальний момент опору обертання вале двигуна приводу вібратора визначимо як момент необхідний для розгону дебалансної маси вібратора у момент пуску за формулою

$$M_{on} = m_e \cdot a \cdot r, \quad (3.15)$$

де  $a$  - прискорення з яким відбувається розгін вібратора,  $m/c^2$ .

Прискорення з яким відбувається розгін вібратора будемо вважати постійним та визначимо за формулою

$$a = \frac{V}{t}, \quad (3.16)$$

де  $V$  - колова швидкість обертання центра ваги дебалансної маси, м/с;

$t$  - час розгону, прийемо як для машин аналогів  $t = 1$  с.

Колову швидкість обертання центра ваги незбалансованої маси визначимо за формулою

$$V = \omega \cdot r. \quad (3.17)$$

Кутова швидкість обертання вала двигуна становить

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (3.18)$$

де  $n$  - частота обертання вала двигуна, об/хв..

Після підстановки (3.14) - (3.18) у (3.11) отримаємо

$$N_3 = \frac{P_e \cdot r}{t}. \quad (3.19)$$

Прийнявши  $r = 0.1$  м отримаємо

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_3 = \frac{11.7 \cdot 0.1}{1} = 1.170 \text{ кВт.}$$

Тоді

$$N = 0,028 + 0,03 + 1,170 = 1,228 \text{ кВт.}$$

### 3.3. Розрахунок параметрів приводу гранулюючого транспортера

На основі відомостей про машини аналоги відомо, що діаметр привідного барабана не повинен бути меншим від 300 мм. Тоді частота обертання валу привідного барабана повинна становити:

$$n_6 = \frac{30 \cdot V_{mp}}{\pi \cdot r_{min}} = \frac{30 \cdot 0,017}{3,14 \cdot 0,03} = 5,4 \text{ об/хв.} \quad (3.20)$$

Оскільки привід гранулюючого транспортера буде здійснюватись від редуктора приводу гвинтового живильника для якого частота обертання складає 200 об/хв. То у такому випадку сумарне передатне відношення приводу, що передає крутний момент від тихохідного валу редуктора до валу привідного барабана становитиме

$$U_{\Sigma} = \frac{n}{n_6} = \frac{200}{5,4} = \frac{1}{5,75} = 34,8. \quad (3.21)$$

Для отримання такого передатного відношення у механізм приводу доцільно включити черв'ячний редуктор. Для даного редуктора із стандартного ряду передатних відношень приймемо  $U_p = 16$ . Також у механізм приводу включимо ланцюгову передачу для якої передатне відношення становитиме

$$U_{.m} = \frac{U_{\Sigma}}{U_p} = \frac{34,8}{16} = 2,18$$

Визначимо крок ланцюгової передачі приводу гранулюючого транспортера за формулою [10]:

$$P = 2.8 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 \cdot 10^3 \text{ Ке}}{v \cdot Z_1 \text{ Рц}}}, \quad (3.22)$$

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $T_2$  – крутний момент зірочки ланцюгової передачі що має вищу частоту обертання, Н·м;

$K_e$  – коефіцієнт експлуатації;

$\nu=1$  – число рядів ланцюга;

$Z_1$  - кількість зубів швидкохідної зірочки ланцюгової передачі;

$[P_u] = 32 \text{ Н/мм}^2$  – допустимий тиск у шарнірах ланцюга.

Крутний момент на даній зірочці визначимо так

$$T_2 = \frac{30 \cdot N_2}{\pi \cdot n_m \cdot U_{\text{лн}}} = \frac{30 \cdot 30}{3,14 \cdot 5,75 \cdot 2,18} = 22,8 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.23)$$

Коефіцієнт експлуатації для цих умов:

$$K_e = K_D \cdot K_C \cdot K_\Theta \cdot K_{\text{pez}} \cdot K_P = 1 \cdot 1,5 \cdot 1,15 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 1,64. \quad (3.24)$$

де  $K_D$  - коефіцієнт динамічності навантаження і для рівномірної роботи становить  $K_D = 1$ ;

$K_C$  - коефіцієнт, що враховує спосіб мащення, для мащення періодичного  $K_C = 1,5$ ;

$K_\Theta$  - коефіцієнт кута нахилу лінії центрів зірочок передачі, який за кута нахилу  $\Theta = 0 \dots 40^\circ$   $K_\Theta = 1,15$ ;

$K_{\text{pez}}$  - коефіцієнт, що рахує спосіб регулювання міжвісєвої віддалі, і для натяжних зірочок  $K_{\text{pez}} = 0,9$ ;

$K_P$  - коефіцієнт, що враховує режим роботи передачі, та для однозмінної роботи становить  $K_P = 1,05$

Число зубів швидкохідної зірочки:

$$Z_1 = 29 - 2 \cdot U_{\text{лн}2} = 29 - 2 \cdot 2,18 = 25. \quad (3.25)$$

Тоді крок ланцюга передачі становить

$$P = 2,8 \cdot \sqrt[3]{\frac{22,8 \cdot 10^3 \cdot 1,95}{1 \cdot 25 \cdot 32}} = 10,07 \text{ мм}.$$

За довідковими таблицями [10] вибираємо ланцюг роликаний однорядний ПР-12,7-910 із  $P = 12,7 \text{ мм}$  та руйнівним навантаженням 910 Н.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді число зубів тихохідної зірочки становить

$$Z_2 = Z_1 \cdot U_{\text{нн2}} = 25 \cdot 2,18 = 54 . \quad (3.26)$$

Фактичне передатне число складе:

$$U_{\text{флн}} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{54}{25} = 2,16 . \quad (3.27)$$

Перевіряємо відхилення отриманого значення передатного відношення від заданого

$$\Delta U = \frac{|U_{\text{ф}} - U|}{U} \times 100\% \leq 4\% \quad (3.28)$$

Після підстановки отримаємо

$$\Delta U = \frac{|2,16 - 2,18|}{2,16} \times 100\% = 0,9\% \leq 4\% .$$

Умова виконується.

Визначимо міжвісьову віддаль передачі з умови довговічності ланцюга:

$$a = (20 \dots 30)P \approx 200 \dots 300 \text{ мм} . \quad (3.29)$$

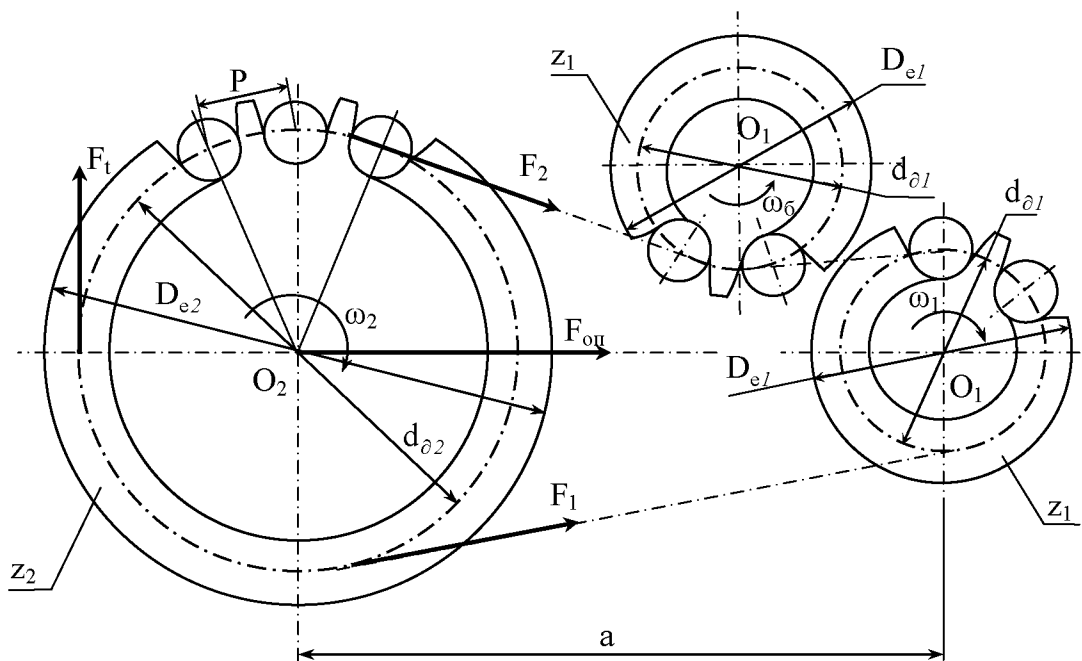


Рисунок 3.1. Параметри проектованої передачі

Тоді кількість ланок ланцюга рахуємо за формулою

$$l_p = 2 \cdot a_p + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{[Z_2 - Z_1 / 2\pi]^2}{a_p}. \quad (3.30)$$

де  $a_p = 20 \dots 30$  - визначена за (3.29).

Після підстановки значень маємо

$$l_p = 2 \cdot 30 + \frac{54 + 25}{2} + \frac{[54 - 25 / 2 \cdot 3,14]^2}{30} = 168,6.$$

Уточнене значення міжвісєвої віддалі у кроках

$$a_t = 0,25 \left[ l_p - 0,5 \cdot Z_1 + Z_2 + \sqrt{[l_p - 0,5 Z_2 + Z_1]^2 - 8 \left( \frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2} \right] = 0,25 \times$$

$$\times \left[ 168,6 - 0,5 \cdot 54 + 25 + \sqrt{[168,6 - 0,5 \cdot 54 + 25]^2 - 8 \left( \frac{54 - 25}{2 \cdot 3,14} \right)^2} \right] = 64,38.$$

У такому випадку фактична міжвісєва віддаль складе

$$a = a_t \cdot P = 64 \cdot 12,7 = 812,8 \text{ мм}. \quad (3.31)$$

Оскільки ведена частинаа ланцюга повинна провисати приблизно на  $0,01 \cdot a$  то для цього необхідно передбачити можливість зменшення міжвісєвої віддалі на  $0,005 \cdot a$ . Тому монтажна міжвісєва віддаль складе

$$a_m = a \cdot 1 + 0,005 = 644,48 \cdot 1 + 0,005 = 816,86$$

Довжина ланцюга становить:

$$l = l_p \cdot P = 168,6 \cdot 12,7 = 2141,22 \text{ мм}. \quad (3.32)$$

Визначимо характерні діаметри зірочок.

Ділильний тихохідної зірочки

$$d_{\partial 2} = \frac{P}{\sin\left(\frac{180^\circ}{Z_2}\right)} = \frac{12,7}{\sin\left(\frac{180^\circ}{54}\right)} = 218,4 \text{ мм}, \quad (3.33)$$

Ділильний швидкохідної зірочки

$$d_{\partial 1} = \frac{P}{\sin\left(\frac{180^\circ}{Z_1}\right)} = \frac{12,7}{\sin\left(\frac{180^\circ}{25}\right)} = 101,34 \text{ мм}. \quad (3.34)$$

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						33
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Діаметр кола виступів рахують за формулою

$$D_e = P \left( k + k_z + \frac{0,31}{\lambda} \right), \quad (3.35)$$

де  $k = 0,7$  - коефіцієнт висоти зуба;

$k_z$  - коефіцієнт, що враховує кількість

зубів:  $k_{z1} = \text{ctg} \left( \frac{180^\circ}{z_1} \right)$ ,  $k_{z2} = \text{ctg} \left( \frac{180^\circ}{z_2} \right)$ ;

$\lambda = \frac{P}{d_1}$  - геометрична параметр зачеплення (тут  $d_1 = 3,66 \text{ мм}$  - діаметр

ролика шарніра ланцюга).

Отже, для швидкохідної зірочки:

$$D_{e1} = 12,7 \left( 0,7 + \text{ctg} \left( \frac{180^\circ}{25} \right) + \frac{0,31 \cdot 3,66}{12,7} \right) = 110,56 \text{ мм};$$

для тихохідної зірочки:

$$D_{e2} = 12,7 \left( 0,7 + \text{ctg} \left( \frac{180^\circ}{54} \right) + \frac{0,31 \cdot 3,66}{12,7} \right) = 228,07 \text{ мм}.$$

Діаметр кола западин швидкохідної зірочки

$$D_{i1} = d_{\partial 1} - d_1 - 0,175 \sqrt{d_{\partial 1}} = 101,34 - 3,66 - 0,175 \sqrt{101,34} = 99,44 \text{ мм}.$$

Діаметр кола западин тихохідної зірочки

$$D_{i2} = d_{\partial 2} - d_1 - 0,175 \sqrt{d_{\partial 2}} = 218,4 - 3,66 - 0,175 \sqrt{218,4} = 209,87 \text{ мм}.$$

За допустим значенням частота обертання швидкохідної зірочки

$$n_1 \leq n_1, \quad (3.36)$$

де  $n_1 = 15 \cdot 10^3 / P$  - допустима частота обертання зірочки.

$$n_1 = 5,75 \cdot 2,18 = 12,5 \leq n_2 = 15 \cdot 10^3 / 12,7 = 1181 \text{ об/хв}.$$

Не перевищує допустимі значення.

Фактична швидкість ланцюга складе:

					КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V = \frac{Z_1 P n_1}{60 \cdot 10^3} = \frac{25 \cdot 10,7 \cdot 12,5}{60 \cdot 10^3} = 0,056 \text{ м/с.}$$

Визначимо колову силу  $F_t$ , що передає ланцюг:

$$F_t = \frac{N_2 \cdot 10^3}{V} = \frac{0,015 \cdot 10^3}{0,056} = 268 \text{ Н.}$$

Тиск у шарнірах ланцюга складе:

$$P_u = \frac{F_t K_c}{A} \leq [P_u], \quad (3.37)$$

де  $A$  - площа проекції опорної поверхні шарніра,  $\text{мм}^2$ .

$$A = d_1 \cdot b_3, \quad (3.38)$$

де  $d_1$  і  $b_3$  - відповідно діаметр і ширина внутрішньої ланки ланцюга,  $\text{мм}$ .

$$A = 3,66 \cdot 5,4 = 19,76 \text{ мм}^2.$$

Допустимий тиск в шарнірах ланцюга  $[P_u]$  з урахуванням фактичної швидкості ланцюга  $V = 0,056 \text{ м/с}$  складає  $[P_u] = 32 \text{ Н/мм}^2$ . Тому

$$P_u = \frac{268 \cdot 1,64}{19,76} = 22,24 \leq [P_u] = 32 \text{ Н/мм}^2.$$

Тому передача підібрана вірно.

Перевіримо міцність ланцюга на розрив. Міцність забезпечується коли виконується співвідношення  $S \geq S$ , тут  $S$  - коефіцієнт запасу міцності для роликів ланцюгів. Згідно довідкової літератури  $S = 2,5$ . Розрахунковий  $S$  коефіцієнт запасу міцності розраховують так:

$$S = \frac{F_p}{F_t k_\delta + F_0 + F_v}, \quad (3.39)$$

де  $F_p = 900 \text{ Н}$  – зусилля руйнування ланцюга обраного кроку;

$F_0$  - попередній натяг від провисання веденої ланки ланцюга,  $\text{Н}$ .

$$F_0 = k_f \cdot q \cdot a \cdot g, \quad (3.40)$$

де  $k_f = 3$  - для передач, що нахилені до горизонту під кутом до  $40^\circ$ ;

$q = 0,3 \text{ кг/м}$  – маса 1 м ланцюга обраного кроку;

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$a = 0,81686$  м – міжвісєва віддаль передачі.

$$F_0 = 3 \cdot 9,81 \cdot 0,3 \cdot 0,81686 = 7,21 \text{ Н.}$$

Зусилля натягу ланцюга від дії відцентрових сил на зірочках здійснюємо за формулою:

$$F_v = q \cdot V^2 = 0,3 \cdot 0,056^2 = 0,001 \text{ Н.}$$

Тому

$$S = \frac{900}{268 \cdot 1 + 7,21 + 0,001} = 3,27$$

Оскільки,

$$S = 3,27 > S = 2,5,$$

тому міцність передачі забезпечена.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>36</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

#### 4.1. Аналіз конструкції гранулятора-сушарки з точки зору безпеки праці.

Гранулятор-сушарка є складною технічною установкою, що об'єднує функції формування та сушки матеріалу у вигляді гранул. У зв'язку з цим, вона поєднує в собі кілька потенційно небезпечних технічних зон та джерел ризику, які мають бути враховані при експлуатації та технічному обслуговуванні.

Перш за все, варто звернути увагу на механічну небезпеку, пов'язану з рухомими частинами агрегату. Основні вузли, такі як шнекові механізми, обертові барабани, системи подачі та вивантаження матеріалу, становлять загрозу защемлення, затягування або удару. Усі ці елементи мають бути надійно закриті захисними кожухами, які не дозволяють доступу до рухомих частин під час роботи. Конструкція гранулятора повинна передбачати встановлення блокувальних пристроїв, які зупиняють роботу устаткування при відкритті захисних елементів. Це мінімізує ризик травматизму під час випадкового контакту з внутрішніми частинами механізму.

Крім механічної небезпеки, важливу роль відіграє термічний фактор. Оскільки сушильна частина установки працює при підвищених температурах, існує ризик опіків у разі контакту оператора з нагрітими поверхнями. З цією метою нагрівальні елементи повинні бути ізольовані або закриті теплоізоляційними кожухами. Також необхідно передбачити вентиляцію або витяжну систему для відведення гарячого повітря та продуктів термічного розкладу, які можуть бути шкідливими для здоров'я персоналу. У виробничому приміщенні, де встановлено гранулятор-сушарку, має бути передбачена система вентиляції, яка забезпечує безпечний мікроклімат і знижує концентрацію пилу, парів і теплового випромінювання.

Ще одним джерелом потенційної небезпеки є електрична система. Оскільки гранулятор-сушарка є електромеханічним устаткуванням, особливу увагу слід приділяти стану електропроводки, заземлення та системам

					<i>КАІ.ГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>37</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

автоматичного відключення у разі короткого замикання або перевантаження. Усі електрошафи повинні бути герметичними, із маркуванням, мати захист від вологи та пилу, а також розміщуватися у зонах, недоступних для випадкового контакту. Обслуговування електрообладнання має виконуватися виключно кваліфікованим персоналом, що пройшов відповідне навчання та інструктаж з охорони праці.

Особливу увагу потрібно звернути на пилоутворення, яке є типовим для процесу гранулювання та сушіння. Дрібнодисперсний пил, що утворюється в процесі, не тільки ускладнює дихання персоналу, але й може створювати вибухонебезпечне середовище. Конструкція обладнання повинна враховувати наявність пилозбірних пристроїв, фільтраційних систем, а також можливість герметизації окремих ділянок для запобігання витоку пилу. У разі роботи з органічними чи легкозаймистими матеріалами необхідно реалізовувати вибухозахищене виконання окремих елементів, включно з двигунами, датчиками й електричними панелями.

З ергономічної точки зору важливо забезпечити зручність обслуговування та моніторингу стану обладнання. Пульти керування повинні бути розміщені на безпечній відстані від рухомих і гарячих частин, мати чітке позначення функцій і бути зручними для роботи в рукавицях. Доступ до основних вузлів технічного обслуговування повинен бути забезпечений за допомогою знімних панелей або дверцят із безпечним механізмом відкриття. Інструкції з експлуатації та попереджувальні написи повинні бути розміщені безпосередньо на обладнанні й бути зрозумілими для персоналу.

Не менш важливою є пожежна безпека. У зв'язку з високими температурами та наявністю пилу або горючих речовин, існує ризик займання. Тому необхідно забезпечити наявність автоматичних систем пожежогасіння або, принаймні, засобів первинного пожежогасіння поблизу гранулятора. Приміщення має бути оснащене пожежною сигналізацією, а персонал повинен бути навчений діям у разі виникнення пожежі.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>38</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Загалом, конструкція гранулятора-сушарки повинна відповідати чинним стандартам з охорони праці, технічним регламентам та галузевим нормативам. Безпека праці забезпечується не лише конструктивними рішеннями, але й системою експлуатаційних заходів: регулярним технічним оглядом, дотриманням інструкцій, систематичним навчанням персоналу та суворим дотриманням правил техніки безпеки. Лише комплексний підхід до аналізу конструкції та організації роботи з обладнанням може гарантувати зниження ризиків та створення безпечного виробничого середовища.

#### 4.2. Загальні вимоги до безпеки праці у цеху з виробництва органо-мінеральних добрив.

Робота в цеху з виробництва органо-мінеральних добрив пов'язана з впливом цілого ряду небезпечних і шкідливих виробничих чинників, таких як токсичні речовини, пил, висока температура, рухомі механізми, електричне обладнання, підвищений рівень шуму та вібрації. З огляду на це, вимоги до безпеки праці мають формуватися як на рівні технічного забезпечення, так і в організаційній площині. Основною метою є зниження виробничих ризиків, запобігання нещасним випадкам, професійним захворюванням і створення безпечного середовища для всіх працівників.

В першу чергу необхідно забезпечити відповідну вентиляцію в приміщеннях цеху. У процесі виробництва добрив утворюються газоподібні продукти, аміачні сполуки, пари органічних речовин, а також пил, який може містити шкідливі домішки. Це створює загрозу інтоксикації, подразнення дихальних шляхів, алергічних реакцій. Тому повітря робочої зони повинно постійно оновлюватися шляхом ефективною загальнообмінної та місцевої витяжної вентиляції, а в окремих зонах – з установкою систем фільтрації та очищення повітря. У разі підвищеного вмісту шкідливих речовин мають застосовуватися індивідуальні засоби захисту органів дихання.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						39
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Особливу увагу слід приділяти роботі з сировиною, яка може містити небезпечні хімічні сполуки або патогенні мікроорганізми, якщо добрива виготовляються з біологічних відходів. Працівники, що контактують із сировиною, повинні бути забезпечені захисним одягом, рукавицями, герметичними окулярами або щитками, а також проходити обов'язковий медичний огляд при прийомі на роботу та періодичну перевірку стану здоров'я. Усі роботи з дозування, змішування та завантаження мають проводитися із застосуванням автоматизованого обладнання або механізованих пристроїв для зменшення ручної праці та мінімізації контакту з матеріалами.

У цеху повинна бути налагоджена чітка система безпечного користування технологічним обладнанням – змішувачами, грануляторами, сушильними установками, транспортувальними механізмами, упаковочними лініями тощо. Кожна одиниця обладнання повинна бути укомплектована засобами аварійного відключення, системами блокування та захисними кожухами, які унеможливають випадковий контакт з рухомими частинами. Електрообладнання має відповідати стандартам безпеки, бути заземленим і мати відповідний ступінь захисту від вологи, пилу і вибуху, зважаючи на специфіку пилоподібного середовища. Всі електрощити повинні бути опломбовані, а доступ до них мати лише кваліфікований персонал з відповідною групою допуску.

Оскільки процеси сушки та обробки добрив супроводжуються високими температурами, важливо передбачити теплоізоляцію гарячих поверхонь, а також системи температурного контролю для запобігання перегріванню та займання. Усі роботи з технічним обслуговуванням такого обладнання повинні виконуватися лише після повної зупинки систем і охолодження до безпечної температури. Крім того, працівники мають бути навчені правилам пожежної безпеки, знати порядок дій у разі пожежі, мати доступ до засобів первинного пожежогасіння – вогнегасників, пожежних рукавів, піску, а також до планів евакуації, які мають бути чітко позначені.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						40
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Для недопущення травматизму особливе значення має організація руху транспорту в цеху. Шляхи пересування персоналу мають бути відокремлені від маршрутів пересування навантажувачів, конвеєрів та іншої техніки. Поверхня підлоги повинна бути рівною, неслизькою, з позначеними зонами небезпеки. Приміщення має бути добре освітленим як природним, так і штучним світлом. На вході до цеху необхідно розміщувати інформаційні стенди з правилами безпеки, схемами евакуації, контактами відповідальних осіб та знаками попередження про наявність небезпечних зон.

Крім технічних заходів, вагому роль у забезпеченні безпеки відіграють організаційні аспекти. Кожен працівник перед початком роботи має пройти вступний інструктаж з охорони праці, а також періодичні повторні інструктажі. Особи, які обслуговують складне обладнання, повинні мати відповідні посвідчення або проходити навчання за спеціальними програмами. Важливо впроваджувати систему контролю за дотриманням правил техніки безпеки, вести облік нещасних випадків, проводити аналіз їх причин і вживати профілактичні заходи для їх недопущення в майбутньому. Усі засоби індивідуального захисту повинні бути в належному стані, своєчасно замінюватися та зберігатися у визначених місцях.

Таким чином, забезпечення безпеки праці у цеху з виробництва органо-мінеральних добрив потребує комплексного підходу, що поєднує сучасне технічне оснащення, контроль за дотриманням санітарно-гігієнічних норм, кваліфіковане обслуговування обладнання та системну роботу з персоналом. Тільки повна реалізація усіх передбачених заходів дозволить гарантувати ефективну роботу цеху без шкоди для здоров'я та життя працівників..

#### 4.3. Проектування заходів щодо запобіганню впливу шкідливих виробничих факторів.

Заходи із запобіганню впливу такого шкідливого фактору, як ураження струмом передбачає дії, що спрямовані на забезпечення електробезпеки у цеху

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>41</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

з виробництва органо-мінеральних добрив. Найпершим заходом у цьому плані є підтримання належного технічного стану усього електрообладнання, що включає постійні перевірки та заходи технічного обслуговування всіх електричних пристроїв та систем. За мету тут ставлять виявлення та усунення можливих несправностей здатних призвести до ураження струмом.

Важливим заходом є якісна ізоляція струмопровідних частин обладнання.. Крім того вірно влаштована система заземлення та занулення є ключовими заходами для запобігання електротравмам.

Принцип дії заземлення полягає у відведенні струму в землю у випадку короткого замикання або інших аварійних ситуацій. Така дія знижує або і повністю усуває можливість ураження працівників електричним струмом. Занулення ж забезпечує автоматичне відключення живлення за виникненні небезпеки.

Опираючись на викладене з метою виключення нещасних випадків пов'язаних з ураженням електричним струмом у цеху з виробництва органо-мінеральних добрив усе електричне обладнання буде забезпечене заземленням. Тому проведемо розрахунок заземлення для удосконаленого у роботі гранулятора сушарки.

4.3.1. Заземлювачі проектуємо у вигляді металевих стержнів діаметром 10 – 50 мм, заглиблених на 2,5 – 3 м. Один раз на рік перевіряють надійність такого заземлення вимірюванням опору, який не повинен бути більшим 4 Ом [10, 11].

4.3.2. Вихідні дані для розрахунку захисного заземлення гранулятора-сушарки органо-мінеральних сумішей.

Фундамент у місці встановлення обладнання – залізобетон. Живлення електрообладнання відбувається від мережі напругою 380В з ізолюваною нейтраллю. Потужність джерел живлення < 100кВт.

Ґрунт у місці закладання – супісок. Для виготовлення вертикальних електродів обираємо – сталевий стрижень діаметром 12 мм, та довжиною  $l=1,5$  м. Верхні кінці вертикальних електродів будуть закладатись на глибину

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						42
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$h_0=0,7$  м. Попередня розрахункова кількість електродів  $> 10$ , за їх розміщення по контуру. Якщо кількість виявиться меншою від 10 - то в ряд. Питомий опір супіщаного ґрунту прийmemo як і для суглинку  $\rho_z = 100$  Ом·м.

#### 4.3.3. Розрахунок параметрів заземлення.

1. Найбільш допустимий нормативний опір заземлюючого пристрою складе

$$R_H = 4 \text{ Ом}.$$

2. Розрахуємо питомий опір ґрунту в зоні розміщення заземлення

$$\rho = \rho_z \cdot \psi,$$

де  $\psi$  – коефіцієнт вологості ґрунту (сезонності),  $\psi_{\text{серт}} = 1,5 - 1,8$

$\rho_z$  – питомий опір ґрунту.

Отже

$$\rho = \rho_z \cdot \psi = 100 \cdot 1,5 - 1,8 = 150 \dots 180 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Приймаємо  $\rho = 160 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$

3. Визначимо опір розтіканню струму у природних заземлювачах  $R_{np}$  тобто залізобетонному фундаменті

$$R_{np} = \frac{\rho}{\sqrt{S}} = \frac{160}{\sqrt{3}} = 92,4 \text{ Ом}$$

4. Оскільки  $R_H < R_{np}$ , то облаштувати додаткове заземлення:

Вибираємо вид заземлюючого пристрою, що повинен являти собою систему вертикальних електродів з'єднаних горизонтальним провідником (див. рис. 4.1).

Опір одного вертикального електрода, що виготовлений із сталі та має параметри зазначені у вихідних даних, визначаємо за формулою:

$$R_e = \frac{\rho}{2\pi l} \left[ \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right]$$

де  $h$  – віддаль від поверхні підлоги цеху до середини електрода, м.

$$h = 0,5 \cdot l + h_0 = 0,5 \cdot 1,5 + 0,7 = 1,45 \text{ м}.$$

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						43
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

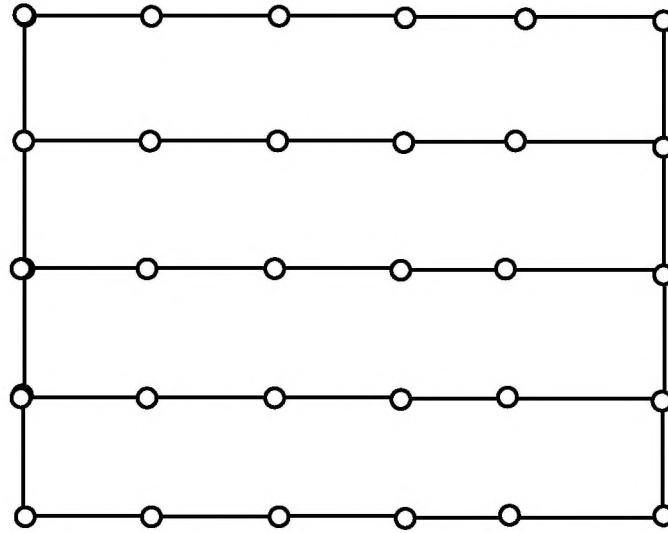


Рисунок 4.1. Схема захисного розташування електродів заземлення

Отже

$$R_e = \frac{160}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5} \left[ \ln \frac{2 \cdot 1,5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,45 + 1,5}{4 \cdot 1,45 - 1,5} \right] = 98,25 \text{ Ом.}$$

5. Розраховуємо кількість вертикальних електродів, для цього попереднього знайдемо добуток коефіцієнту використання вертикальних електродів  $\eta_e$  і їх кількості  $n$ :

$$\eta_e \cdot n = \frac{R_e}{R_n},$$

де  $\eta_e = 0.85$

звідки 
$$n = \frac{R_e}{\eta_e R_n} = \frac{98,25}{0,85 \cdot 4,0} = 28,9 \text{ шт.}$$

Заокруглюючи до більшого цілого приймаємо кількість електродів  $n = 29$  шт.

6. Використавши стандартне значення співвідношення відстані між електродами до їх довжини  $\frac{a}{l} = 2$ , знайдемо  $a = 2 \cdot l = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ м.}$

7. Довжина горизонтального провідника для з'єднання вертикальних електродів за їх розміщення по контуру

$$L = 1,05 \cdot (n - 1) \cdot a = 1,05 \cdot 28 \cdot 3 = 88,20 \text{ м.}$$

					КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Обираємо переріз та розраховуємо опір горизонтального провідника.

Горизонтальний провідник буде – сталевий стержень круглого перерізу діаметру 12 мм.

Його опір розраховуємо за формулою:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4,2 \cdot L}{d} = \frac{160}{2 \cdot 3,14 \cdot 88,2} \ln \frac{4,2 \cdot 88,2}{0,012} = 2,98 \text{ Ом}.$$

9. Тоді загальний опір штучного заземлення складе

$$R_{ум} = \frac{R_e \cdot R}{R \cdot \eta_e \cdot n + R_e \cdot \eta_z} = \frac{98,25 \cdot 2,98}{2,98 \cdot 0,85 \cdot 29 + 98,25 \cdot 0,85} = 1,86 \text{ Ом},$$

де  $\eta_z$  – коефіцієнт, що враховує використання горизонтального електрода,  $\eta_z = 0,85$ .

10. Остаточний загальний опір заземлення складе

$$R_3 = \frac{R_{np} \cdot R_{ум}}{R_{np} + R_{ум}} = \frac{92,4 \cdot 1,86}{92,4 + 1,86} = 1,82 \text{ Ом}.$$

Оскільки  $R_3 = 1,82 \text{ Ом} < R_H = 4 \text{ Ом}$ , то розрахунок проведено вірно.

#### 4.4. Заходи по охороні навколишнього середовища.

Виробництво гранульованих органо-мінеральних добрив є важливою складовою агропромислового комплексу, проте цей процес може супроводжуватися значним техногенним навантаженням на навколишнє середовище. Тому розробка та впровадження заходів з охорони довкілля є необхідною умовою для забезпечення екологічної безпеки, раціонального використання природних ресурсів і збереження екологічної рівноваги в зоні впливу підприємства. Комплекс природоохоронних заходів повинен охоплювати всі етапи технологічного процесу — від надходження сировини до упаковки та зберігання готової продукції, з урахуванням специфіки сировинних матеріалів, виду добрив, використовуваних технологій і місця розташування виробництва.

					КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Насамперед важливо мінімізувати викиди забруднюючих речовин у повітря, які виникають на етапах сушіння, змішування, гранулювання та транспортування матеріалів. Викиди пилу, аміаку, сірководню, органічних парів і летких сполук становлять найбільшу небезпеку для атмосфери. Щоб знизити цей вплив, необхідно встановлювати сучасні системи очищення повітря, зокрема циклонні фільтри, рукавні фільтри, електрофільтри та адсорбери. Місця з найбільш інтенсивним пилоутворенням повинні оснащуватися локальними витяжками, які забезпечують уловлювання частинок безпосередньо в зоні їх утворення. Усі вентиляційні системи мають бути герметичними і виводити очищене повітря згідно з нормативами гранично допустимих концентрацій. Регулярний моніторинг складу викидів у повітря є обов'язковим для виявлення відхилень і оперативного реагування у разі перевищення допустимих показників.

Окрему увагу необхідно приділяти поводженню з рідкими стоками, які можуть утворюватися під час мийки обладнання, конденсації пари або внаслідок витоків. Ці стоки можуть містити залишки органічних сполук, мінеральні солі та забруднення, які при потраплянні у водойми або ґрунт спричиняють деградацію природних екосистем. Для запобігання забрудненню водних об'єктів необхідно передбачити локальні очисні споруди, де рідкі відходи проходять стадії механічної, хімічної та біологічної очистки перед скиданням або повторним використанням у виробничому циклі. Також слід впроваджувати системи збору та рециклінгу води з метою економії водних ресурсів і зменшення навантаження на очисні потужності. Усі стічні води мають бути обліковані, а система контролю — автоматизованою, з постійною фіксацією параметрів.

Значне екологічне навантаження можуть створювати тверді відходи, які включають залишки сировини, браковану продукцію, пиловловлені осади, пакувальні матеріали та відходи обслуговування обладнання. Для зниження їх негативного впливу потрібно організувати систему роздільного збирання та переробки твердих відходів. Органічні залишки можуть бути повторно

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						46
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

використані у виробництві добрив, а неорганічні компоненти — передані на спеціалізовані підприємства з утилізації або вторинної переробки. Всі відходи мають зберігатися у визначених місцях з твердим покриттям і захистом від атмосферних опадів, щоб запобігти їх вимиванню в ґрунт і поверхневі води.

Важливим напрямом охорони довкілля є контроль за станом ґрунтів навколо виробничого майданчика. Будь-яке витікання сировини або реагентів, розсипання добрив або зберігання речовин без дотримання норм може спричинити хімічне забруднення ґрунту, зміну його структури, закислення або засолення. Для уникнення таких наслідків усі технологічні операції повинні проводитися на ізольованих поверхнях з системами збору і очищення стоків, а склади — бути обладнаними піддонами, гідроізоляційними екранами й автоматичними сигналізаторами витоків. Регулярне екологічне моніторингове обстеження території дозволяє виявляти потенційні загрози та вчасно вживати заходів щодо їх усунення.

Не менш важливою складовою природоохоронної діяльності є енергозбереження і зниження загального споживання ресурсів. Усі технологічні процеси мають бути оптимізовані з урахуванням принципів ощадливого використання енергії, зокрема шляхом впровадження теплообміну, повторного використання енергії сушильних установок, автоматичного регулювання потужності обладнання залежно від навантаження. Використання енергоефективних двигунів, інверторних систем, частотних перетворювачів і світлодіодного освітлення також сприяє зменшенню викидів вуглекислого газу та загального впливу виробництва на клімат.

Додатково слід впроваджувати політику екологічної відповідальності, що передбачає навчання персоналу, інформування громадськості, прозору звітність про екологічні показники та участь у природоохоронних ініціативах на регіональному рівні. Підприємство має бути відкритим до екологічного аудиту, дотримуватися міжнародних стандартів екологічного менеджменту (наприклад, ISO 14001) та інтегрувати принципи сталого розвитку у свою господарську діяльність.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						47
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Загалом ефективне виробництво гранульованих органо-мінеральних добрив не може існувати без цілеспрямованої природоохоронної політики. Тільки за умови постійного контролю, впровадження екологічних технологій, ощадного ставлення до ресурсів і відповідального поводження з відходами можна забезпечити не лише економічну доцільність виробництва, але й захист довкілля від техногенного навантаження, сприяти збереженню здоров'я населення та біорізноманіття навколишніх територій.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>48</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВИСНОВКИ

Широка гама озер на території Волинської області з різними природними параметрами забезпечує формування різних типів сапропелю, але саме органічний сапропель є найбільш ціним для використання з метою підвищення родючості ґрунтів.

Органо-мінеральні добрива де у якості органічного складника входить сапропель органічного типу є перспективним засобом для підтримання та відтворення родючості ґрунту. Сапропель, у свою чергу, для використання у таких добривах має бути зневоднений до вологості 50-60 %. А отримані добрива повинні мати гранульовану форму.

Аналіз обладнання, яке виробляється вітчизняним машинобудуванням показує, що із нього може бути скомплектована лінія для виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю. Проте принцип пресування гранул у горизонтальній матриці не підходить для органо-мінеральної суміші на основі сапропелю яка має вологість до 20 %. Також бажано об'єднати процес формування гранул із процесом їх сушіння. Тому є потреба у удосконаленні конструкції гранулятора для отримання гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю.

Тому для даних цілей у роботі проведено підбір вітчизняного обладнання для комплектування лінії з виробництва органо-мінеральних добрив на основі сапропелю. Проведено також удосконалення конструкції гранулятора-сушарки для такої лінії.

На основі наведеного у роботі аналізу властивостей сапропелю, конструкцій обладнання для виробництва гранульованих добрив, розрахунку параметрів цеху з виробництва гранульованих добрив на основі сапропелю, розробки удосконаленої гранулятора-сушарки встановлено:

1. Стабілізація родючості ґрунтів та забезпечення відновлення гідрологічного режиму озер Волині може бути досягнута шляхом добування та використання органічного типу сапропелю.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						49
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2. Для виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив на основі сапропелю доцільно використовувати обладнання підібране у кваліфікаційній роботі.

3. Забезпечення відповідної якості гранул даних добрив можливе у випадку використання удосконаленого у роботі гранулятора-сушарки.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>50</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Шевчук М. Й., Дідух В. Ф., Цизь І. Є. Виробництво і використання органо-мінеральних добрив. / Вісник аграрної науки, 2000, № 2. С. 9-12.
2. Шевчук М. Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання. –Луцьк: Надстир'я, 1996. -383 с.
3. Шнеки точної подачі. Режим доступу: <https://artmash.ua/product/shnek-tochnoj-zagruzki-06-kubometra/> (дата звернення 9.05.2025)
4. Змішувач двухвальний безперервної дії. Режим доступу: <https://technik.ua/produktsiia/zmishuvachi-dvukhvalni-bezperervnoi-dii/zmishuvach-dvukhvalnij-bezperervnoji-diji-variant-1> (дата звернення 9.05.2025).
5. Гранулятор GRAND-400 "М"(37 кВт.) Режим доступу: <https://tms.ck.ua/ua/p2353744281-granulyator-grand-400.html>. (дата звернення 9.05.2025).
6. Барабанна сушарка "БС-4". Режим доступу: <https://tms.ck.ua/ua/p2386373872-barabannaya-sushka.html> (дата звернення 9.05.2025).
7. Система калібрування і охолодження БКО-300. Режим доступу: <https://tms.ck.ua/ua/p2177719986-sistema-kalibrovki-ohlazhdeniya.html> (дата звернення 10.05.2025).
8. Ваговий дозатор ФС-125+ Режим доступу: <https://tms.ck.ua/ua/p1349294246-vesovoj-dozator-125.html>. (дата звернення 1.05.2025).
9. Козуб Ю.Г., Маслійов С.В. Підйомно-транспортні машини: Підручник / Ю.Г. Козуб, С.В. Маслійов – Старобільськ: вид-во ДЗ „ЛНУ імені Тараса Шевченка”, 2018. – 277с.
10. Коновалюк Д.М., Ковальчук Р.М. Деталі машин. Підручник. - Луцьк:ЛДТУ, 2001.-564с., іл.

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Правила охорони праці у сільському виробництві. – К.: Форт, 2001. – 384 с.
12. Березуцький В.В. Основи охорони праці: Навч. посіб. / В.В. Безруцький, Т.С. Бондаренко, Г.Г. Валенко та ін. // За заг. ред. В.В. Безруцького. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: Факт, 2007. – 480с.
13. НПАОП 01.0-1.02-18 Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві ДНАОП 2.0.00-1.01.00. Режим доступу: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=81124](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=81124) (дата звернення 13.05.2025)

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						52
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ДОДАТКИ

					<i>КАІГСД.00.00.00.0000.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>53</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



