

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Обґрунтування параметрів гранулятра для виробництва паливних
гранул із соняшникової біомаси**

Виконав: здобувач 4 курсу групи АІ-1-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Кубайчук Олексій Сергійович _____

Керівник: _____ Золотовська Олена Володимирівна

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Кубайчук Олексій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів гранулятора для виробництва паливних гранул із соняшникової біомаси

Керівник роботи Золотовська Олена Володимирівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 5 » травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом роботи 09.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Аналіз виробничої діяльності підприємства. Аналіз літературних джерел та обґрунтування актуальності дипломного проєкту. Аналіз конструктивно-режимних параметрів гранулятора для виробництва паливних гранул із соняшникової біомаси.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Обґрунтування існуючих технологій, конструкцій та обґрунтування теми дипломного проєкту 2. Обґрунтування конструкцій гранулятора. 3 Конструкторська проробка проєкту. 4.

Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка проєктних рішень. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Характеристика господарства (А1). 2. Конструкції грануляторів (А1). 3. Гранулятор. Загальний вигляд. (А1). 4. Корпус гранулятора з опорним диском (А1). 5 Матриця. (А3). Вал (А3). Ролик (А3). Воронка завантажувальна (А3). 6. Економічна оцінка.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3,4,5	Золотовська О.В., доцент		
Нормо-контроль	Бойко В.Б., доцент		

7. Дата видачі завдання: 09.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика господарства	11.03.26-11.04.26	
2	Аналіз актуальності проєкту	13.03.26-13.05.26	
3	Технологічно-конструктивний	14.04.26-21.05.26	
4	Охорона праці	15.04.26-20.05.26	
5	Економічний	19.04.26-7.06.26	
6	Графічна частина	10.05.65-7.06.65	

Здобувач

(підпис)

Кубайчук О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Золотовська О.В.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Кубайчук О.С. Обґрунтування параметрів гранулятора для виробництва паливних гранул із соняшникової біомаси/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026

У роботі проаналізовано характеристику господарства, структуру посівних площ, наявну сировинну базу та передумови використання побічної продукції соняшнику як місцевого енергетичного ресурсу. Встановлено, що господарство має достатній обсяг біомаси для організації внутрішнього виробництва гранульованого палива. За результатами порівняння обґрунтовано доцільність застосування плоскоматричного гранулятора, який найбільше відповідає умовам середнього господарства за показниками конструктивної простоти, надійності та ремонтпридатності.

У розрахунково-конструкторській частині визначено основні параметри гранулятора, зокрема зусилля пресування, продуктивність, потужність приводу, а також обґрунтовано параметри матриці, вала, роликів і допоміжних вузлів. Розроблено загальний вигляд машини та деталювання основних елементів конструкції. У розділі з охорони праці наведено заходи щодо безпечної експлуатації гранулятора. Техніко-економічний розрахунок підтвердив доцільність впровадження проєкту, оскільки використання гранульованого палива дає змогу знизити витрати на енергозабезпечення господарства та підвищити ефективність використання побічної продукції рослинництва.

Ключові слова: гранулятор, соняшникова біомаса, паливні гранули, плоска матриця, енергоефективність

ЗМІСТ

Анотація	5
Вступ	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА ТА ПЕРЕДУМОВИ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯШНИКОВОЇ БІОМАСИ	9
1.1 Загальна характеристика господарства	9
1.2 Землекористування та структура посівних площ	10
1.3 Показники виробництва основних культур	11
1.4 Машинно-тракторний парк господарства	11
1.5 Передумови використання соняшnikової біомаси	12
1.6 Доцільність виробництва паливних гранул у господарстві	13
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ГРАНУЛЮВАННЯ СОНЯШНИКОВОЇ БІОМАСИ ТА ВИБІР КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ГРАНУЛЯТОРА	16
2.1. Соняшnikова біомаса як сировина для виробництва паливних гранул	16
2.2 Фізико-механічні та технологічні властивості соняшnikової біомаси	19
2.3 Фактори впливу на процес гранулювання	21
2.4 Аналіз існуючих конструкцій грануляторів для біомаси	24
3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТИВНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	33
3.1 Обґрунтування технологічної схеми виробництва паливних гранул	33
3.2 Обґрунтування конструкції та принцип роботи гранулятора	36
3.3 Методика розрахунку основних вузлів гранулятора	38
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	48
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при гранулюванні соняшnikової біомаси	48
4.2 Вимоги безпеки до конструкції гранулятора	49
4.3 Електробезпека, пожежна безпека та пиловибухозахист	49
4.4 Вимоги безпечної експлуатації гранулятора	51
4.5 Заходи з охорони довкілля	52
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	54
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

ВСТУП

У сучасному аграрному виробництві особливого значення набуває раціональне використання сировинних, енергетичних і матеріальних ресурсів. Сільське господарство України не лише виробляє продовольчу продукцію, а й формує значні обсяги побічної рослинної маси, яка може бути використана як енергетична сировина. Однією з культур, що займає важливе місце у структурі посівних площ багатьох господарств, є соняшник. Його вирощування супроводжується утворенням значної кількості біомаси, яка часто використовується недостатньо ефективно, хоча має добрі перспективи для виробництва твердого біопалива.

Зростання вартості традиційних енергоносіїв і потреба у зниженні витрат на енергозабезпечення виробничих процесів сприяють пошуку доступних місцевих джерел енергії. У цьому відношенні соняшникова біомаса становить практичний інтерес, оскільки є відновлюваним ресурсом, який утворюється безпосередньо в господарстві. Її використання дозволяє не лише більш повно задіяти побічну продукцію рослинництва, а й частково зміцнити енергетичну самостійність підприємства.

Разом із тим використання біомаси у природному стані має певні труднощі. Вона характеризується невисокою насипною густиною, неоднорідністю, нестабільною вологістю та незручністю під час транспортування, зберігання і дозованого подавання. Саме тому для ефективного енергетичного використання такої сировини необхідна її попередня підготовка. Одним із найбільш доцільних способів є гранулювання, яке забезпечує ущільнення біомаси та формування однорідного паливного продукту.

У результаті гранулювання підвищується щільність матеріалу, поліпшуються умови його перевезення і складування, зменшуються втрати сировини, а також спрощується механізоване подавання палива до

теплогенеруючих установок. Для господарств, що вирощують соняшник, це створює реальні передумови для організації власного виробництва паливних гранул і більш повного використання наявної біомаси.

Ефективність цього процесу значною мірою залежить від правильного вибору параметрів гранулятора. Невідповідність геометрії матриці, характеристик роликів вузла, режимів роботи або потужності приводу властивостям сировини може призводити до зниження продуктивності, погіршення якості гранул і зростання енерговитрат. Крім того, соняшникова біомаса має специфічні фізико-механічні властивості, які необхідно враховувати під час проєктування обладнання.

Отже, обґрунтування параметрів гранулятора для виробництва паливних гранул із соняшникової біомаси є актуальним завданням, що має практичне значення для сільськогосподарських підприємств. Його вирішення дозволить підвищити ефективність використання побічної продукції соняшнику, покращити техніко-економічні показники господарства та розширити можливості застосування місцевої біомаси як джерела енергії.

Метою дипломного проєкту є обґрунтування параметрів гранулятора, які забезпечують ефективне виробництво паливних гранул із соняшникової біомаси в умовах сільськогосподарського підприємства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати умови господарства; оцінити придатність соняшникової біомаси для гранулювання; розглянути існуючі конструкції грануляторів; обґрунтувати параметри основних робочих органів; визначити продуктивність і потребу в потужності приводу; виконати конструкторське опрацювання машини; розробити заходи з охорони праці та оцінити економічну доцільність упровадження запропонованого.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА ТА ПЕРЕДУМОВИ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯШНИКОВОЇ БІОМАСИ

1.1 Загальна характеристика господарства

Базою для виконання дипломного проєкту прийнято товариство з обмеженою відповідальністю «Сонячне Поле», розташоване в Дніпропетровській області. Основним напрямом діяльності підприємства є вирощування зернових і олійних культур. У структурі посівів значну частку займають пшениця, кукурудза та соняшник. Саме соняшник у межах даного дипломного проєкту становить найбільший інтерес, оскільки поряд із товарним насінням у господарстві утворюється значна кількість біомаси, що за належної підготовки може бути використана для виробництва паливних гранул.

Матеріально-технічна база підприємства включає трактори різних класів тяги, зернозбиральні комбайни, посівну і ґрунтообробну техніку, транспортні засоби, зерноочисне обладнання, склади та виробничі приміщення. Це дає змогу господарству самостійно виконувати основні технологічні операції та створює передумови для впровадження обладнання з переробки біомаси.

Важливою особливістю підприємства є те, що воно щороку отримує достатній обсяг рослинної сировини, яка може бути залучена до енергетичного використання. За умови встановлення гранулятора побічна соняшникова біомаса перестає бути лише залишковим матеріалом і перетворюється на джерело додаткового палива для господарських потреб. Обсяг ріллі є достатнім для формування сталої сировинної бази, а чисельність працівників і наявна виробнича інфраструктура дозволяють розглядати впровадження невеликої лінії з переробки біомаси як технічно реалістичне рішення.

1.2 Землекористування та структура посівних площ

Раціональна структура посівів (рис.1.1) дає змогу господарству підтримувати виробничу стабільність, чергувати культури у сівозміні та забезпечувати надходження товарної продукції протягом року. У господарстві соняшник займає помітне місце, що є важливим саме для цього дипломного проєкту.

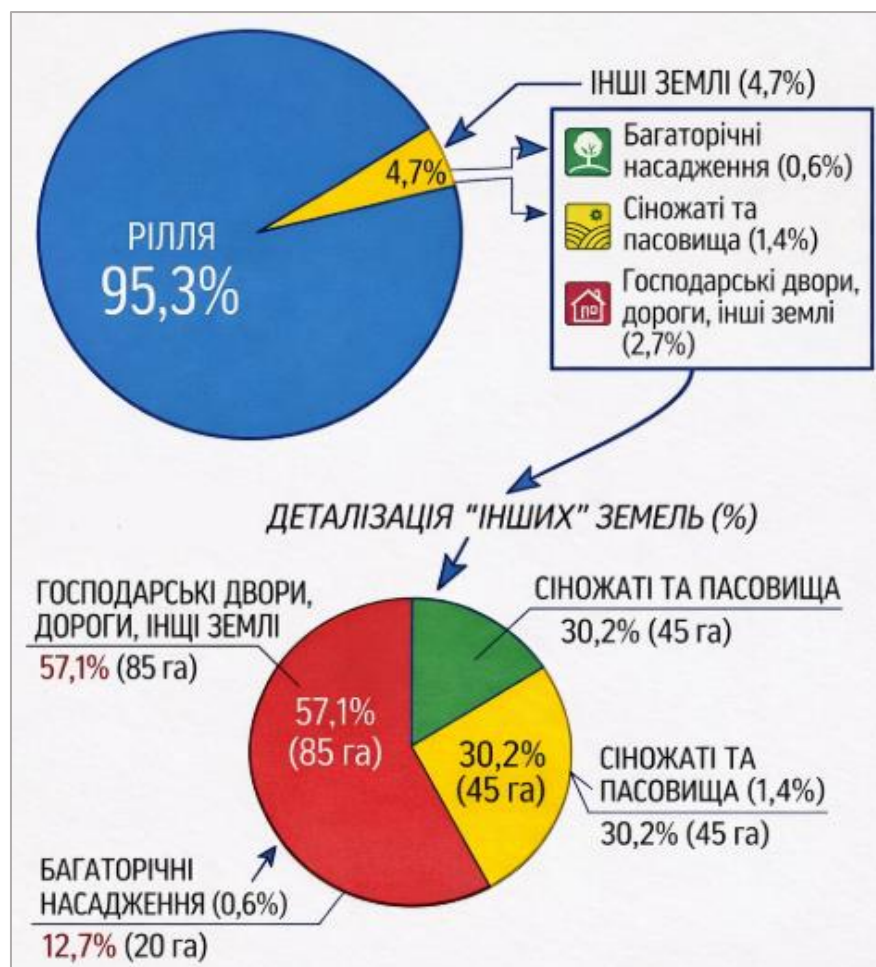


Рисунок 1.1 - Структура посівних площ господарства

Наведена структура свідчить, що соняшник займає понад п'яту частину ріллі. Для середнього господарства це вже досить відчутний показник, який

формує реальну сировинну основу для використання соняшникової біомаси у виробництві паливних гранул.

1.3 Показники виробництва основних культур

Для оцінки доцільності використання соняшникової біомаси важливо враховувати не лише площі посіву, а й фактичні результати вирощування. Саме обсяг урожаю визначає, наскільки стабільним буде утворення біомаси і чи можна розглядати її як ресурс, на який реально спиратися під час вибору обладнання.

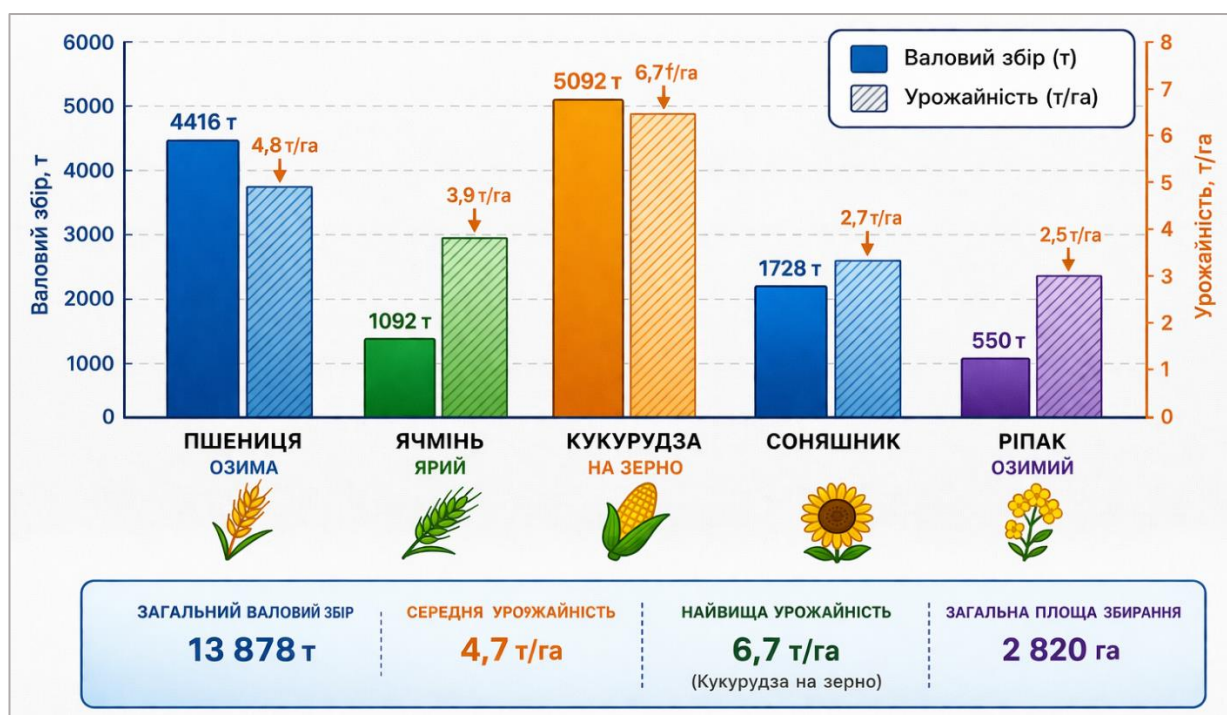


Рисунок 1.2 - Урожайність основних культур у господарстві

Як видно, соняшник є однією з ключових товарних культур підприємства. Валовий збір насіння становить 1728 т, що для середнього господарства є суттєвим результатом. Відповідно, поряд з основною продукцією формується й значний обсяг побічної біомаси, яку можна розглядати як ресурс для гранулювання.

1.4 Машинно-тракторний парк господарства

Технічне забезпечення господарства має велике значення для реалізації будь-якого інженерного рішення. Якщо підприємство володіє достатньою кількістю мобільної та стаціонарної техніки, то впровадження гранулятора можна пов'язати не лише з виробництвом палива, а й із подальшою організацією завантаження, транспортування і зберігання сировини.

Таблиця 1.2

Склад машинно-тракторного парку господарства

Найменування техніки	Марка	Кількість, шт.
Трактори колісні важкого класу	John Deere 8335R	2
Трактори колісні середнього класу	MT3-1221	4
Трактори універсально- просапні	MT3-82.1	5
Зернозбиральні комбайни	Claas Lexion 760	2
Зернозбиральні комбайни	New Holland CX 6.90	1
Соняшникові жатки	8-рядні	3
Сівалки зернові	C3-5,4 / аналог	3
Сівалки точного висіву	Väderstad Tempo / аналог	2
Культиватори	причіпні	4
Дискові борони	важкі	3
Плуги	5–7 корпусні	3
Причепи тракторні	2ПТС / аналог	6
Автомобілі вантажні	КамАЗ / МАЗ	5
Навантажувачі фронтальні	телескопічні / фронтальні	2

За забезпеченістю технікою господарство можна вважати достатньо укомплектованим для виконання основних польових і транспортних операцій. Це означає, що за потреби підприємство здатне організувати збирання, підвезення, накопичення та підготовку сировини для подальшого гранулювання без критичного розширення наявної технічної бази.

1.5 Передумови використання соняшникової біомаси

Побічна продукція соняшнику в господарстві утворюється щороку. Частина рослинної маси залишається в полі, частина може бути використана в інших напрямках, однак певний обсяг доцільно залучити до енергетичного використання. Для цього необхідно оцінити можливий вихід сировини, яку реально можна використати в технології гранулювання.

У межах цього дипломного проєкту приймаємо, що з 1 га посіву соняшнику може бути отримано в середньому близько 1,8 т технічно доступної сухуватої біомаси, придатної для подальшої підготовки та ущільнення. Це не вся біомаса рослини, а лише та її частина, яку доцільно залучити без істотного порушення агротехнічних вимог.

Таблиця 1.3

Розрахунок обсягу соняшникової біомаси, доступної для гранулювання

Показник	Значення
Площа посіву соняшнику, га	640
Середній вихід доступної біомаси з 1 га, т/га	1,8
Загальний обсяг біомаси, т	1152
Коефіцієнт технологічних втрат під час збирання і підготовки	0,12
Розрахунковий обсяг біомаси після втрат, т	1014
Частка біомаси, яку реально можна спрямувати на гранулювання, %	65
Обсяг сировини для гранулювання, т/рік	659

Отримане значення показує, що господарство потенційно може щорічно спрямовувати близько 659 т соняшникової біомаси на виробництво паливних гранул. Для середнього підприємства це вже достатній обсяг, щоб обґрунтовувати встановлення гранулятора невеликої або середньої продуктивності.

1.6 Доцільність виробництва паливних гранул у господарстві

Однією з причин, що обумовлює інтерес до гранулювання біомаси, є потреба підприємства в паливі для господарських потреб. До таких потреб належать обігрів виробничих приміщень, майстерень, складів,

адміністративних будівель, а в окремих випадках і забезпечення теплом допоміжних технологічних процесів.

У природному стані соняшникова біомаса має недостатню насипну густину і не завжди є зручною для подавання в теплогенератори. Саме тому її доцільно ущільнювати у гранули. Ущільнене паливо займає менше місця, краще транспортується, рівномірніше подається до топки та зручніше зберігається в межах господарства.

Таблиця 1.4

Орієнтовна потреба господарства в твердому паливі

Напрямок використання палива	Орієнтовна потреба, т умовного палива на рік
Опалення ремонтної майстерні	28
Опалення складів та допоміжних приміщень	22
Опалення адміністративно-побутових приміщень	16
Інші господарські потреби	14
Разом	80

Порівняння потенційного обсягу сировини з паливними потребами господарства свідчить, що підприємство має достатню ресурсну базу для організації внутрішнього виробництва гранул. Частина готової продукції може бути використана для власних потреб, а за наявності надлишку - реалізована іншим споживачам або накопичена як резервне паливо.

Таблиця 1.5

Переваги впровадження гранулятора в господарстві

Показник	Очікуваний ефект
Використання побічної продукції	Зменшення непродуктивних втрат біомаси
Підготовка палива	Отримання щільного та зручного у використанні продукту
Зберігання	Скорочення потрібних складських об'ємів

Транспортування	Зменшення витрат на перевезення в межах господарства
Енергозабезпечення	Часткове заміщення покупного палива
Економічний результат	Зниження експлуатаційних витрат
Організаційний результат	Підвищення рівня комплексного використання продукції рослинництва

Таким чином, гранулювання соняшникової біомаси для умов даного господарства є не випадковим технічним рішенням, а логічним напрямом розвитку виробництва. Воно поєднує раціональне використання побічної продукції, зниження паливних витрат і підвищення загальної ефективності господарської діяльності.

Висновки

Встановлено, що господарство має достатню земельну площу, розвинену структуру посівів, належний машинно-тракторний парк та стабільне виробництво соняшнику.

З'ясовано, що за площі посіву соняшнику 640 га підприємство формує суттєвий обсяг біомаси, частина якої може бути використана для виробництва паливних гранул. Розрахунок показав, що потенційний обсяг сировини, яку реально можна спрямувати на гранулювання, становить близько 659 т на рік. Така кількість є достатньою для обґрунтування впровадження гранулятора в умовах господарства.

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ГРАНУЛЮВАННЯ СОНЯШНИКОВОЇ БІОМАСИ ТА ВИБІР КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ГРАНУЛЯТОРА

2.1. Соняшникова біомаса як сировина для виробництва паливних гранул

Соняшникова біомаса (рис.2.1) є одним із доступних видів рослинної сировини, що може використовуватися для одержання твердого біопалива у вигляді гранул.



Рисунок 2.1 – Склад соняшникової біомаси

Для сільськогосподарських підприємств, які вирощують соняшник у значних обсягах, така біомаса становить практичний інтерес, оскільки утворюється безпосередньо в процесі основного виробництва і не потребує окремого вирощування як спеціальної енергетичної культури. Це дає змогу

розглядати її не як другорядний залишок, а як місцевий ресурс, придатний для подальшої механічної переробки.

До соняшnikової біомаси, яка може бути використана для гранулювання, належать різні за походженням і властивостями компоненти. Насамперед це стебла, кошики, листостеблова маса, лушпиння, а також дрібні фракції, що можуть утворюватися під час післязбиральної доробки або переробки насіння. Усі ці види сировини мають спільну рослинну основу, однак відрізняються за структурою, щільністю, вологістю, вмістом волокнистих частинок і поведінкою під час ущільнення.

Стеблова частина соняшнику характеризується досить розвиненою волокнистою будовою. Вона має невелику насипну густину, займає значний об'єм і в природному стані є малозручною для транспортування та зберігання. Після подрібнення така маса може використовуватися для гранулювання, однак потребує відповідної підготовки, оскільки великі або надто пружні частинки ускладнюють процес ущільнення. Разом з тим саме волокниста структура в певних умовах може позитивно впливати на зв'язування частинок у гранулі.

Кошики соняшнику також становлять інтерес як паливна сировина. Порівняно зі стеблами вони мають дещо іншу структуру, легше піддаються руйнуванню при подрібненні та можуть формувати більш однорідну суміш. Їх використання є доцільним у тих випадках, коли після збирання або доробки врожаю можливо виділити цю частину біомаси в достатньому обсязі. Для гранулювання кошики є придатними, проте, як і інші види сировини, потребують контролю вологості та розміру частинок.

Окреме місце серед соняшnikової біомаси займає лушпиння. Саме цей вид сировини вважається одним із найбільш придатних для виробництва паливних гранул, оскільки він уже має порівняно дрібну структуру, зручну для подальшого ущільнення. Лушпиння утворюється при переробці насіння соняшнику й характеризується відносною однорідністю. Воно має менший об'єм порівняно зі стебловою масою, краще подається до робочої зони

гранулятора і за належного режиму переробки дозволяє отримувати гранули достатньої щільності. Саме тому в багатьох випадках лушпиння розглядають як найзручнішу сировину для виробництва гранульованого біопалива.

Певний інтерес можуть становити і змішані види соняшникової біомаси. Наприклад, у виробничих умовах для гранулювання інколи використовують не окремий компонент, а суміш подрібнених залишків, до складу якої входять частини стебел, кошиків та інші рослинні фракції. Такий підхід дозволяє ширше використовувати наявну сировинну базу господарства, однак ускладнює забезпечення стабільного складу маси. Через це особливого значення набуває попередня підготовка матеріалу, його подрібнення, підсушування та вирівнювання властивостей перед подачею у гранулятор.

Придатність соняшникової біомаси до виробництва паливних гранул пояснюється кількома чинниками. Передусім ця сировина має органічне походження і містить горючі компоненти рослинної тканини, завдяки чому може використовуватися як джерело теплової енергії. Крім того, після механічного ущільнення її об'єм значно зменшується, а експлуатаційні властивості покращуються. З неструктурованої, легкої і незручної у поводженні маси утворюється продукт більш сталої форми, який можна дозовано подавати, накопичувати, транспортувати і зберігати з меншими втратами.

Важливою особливістю соняшникової біомаси є те, що її властивості можуть істотно змінюватися залежно від походження і способу підготовки. Наприклад, стеблова маса після збирання має одну структуру і вологість, а лушпиння після переробки насіння - зовсім іншу. Саме тому не можна розглядати всю соняшкову біомасу як повністю однорідну сировину. Для ефективного гранулювання необхідно враховувати, який саме матеріал буде використано, які його фізичні характеристики, наскільки він подрібнений та чи відповідає за вологістю вимогам процесу ущільнення.

Ще однією причиною, чому соняшникова біомаса є придатною для виготовлення паливних гранул, є можливість її використання без складних

хімічних перетворень. Основна підготовка зводиться до механічних операцій: збирання, подрібнення, очищення від небажаних домішок, сушіння або доведення до потрібної вологості. Після цього сировина може бути спрямована на гранулювання. Такий підхід є важливим для умов сільськогосподарського підприємства, де доцільно застосовувати відносно прості, надійні та економічно виправдані технології.

Не менш важливим є і те, що гранулювання дає можливість підвищити споживчу цінність соняшникової біомаси. У вихідному стані вона часто не має зручної форми для практичного використання як паливо. Після ущільнення у гранули ця сировина перетворюється на стандартизованіші паливні одиниці, які мають вищу насипну густину, краще підходять для подавання в теплогенератори і займають менше місця на складі. Для господарства це означає, що одна й та сама рослинна сировина після гранулювання набуває значно кращих технічних та логістичних характеристик.

Слід також зазначити, що використання соняшникової біомаси для гранулювання має не лише енергетичне, а й виробничо-організаційне значення. Воно сприяє більш повному використанню побічної продукції рослинництва, зменшує непродуктивні втрати органічної маси та створює умови для формування власної паливної бази підприємства. Особливо це актуально для господарств, які мають потребу в тепловій енергії для опалення приміщень або забезпечення допоміжних технологічних процесів.

2.2 Фізико-механічні та технологічні властивості соняшникової біомаси

Соняшникова біомаса як сировина для гранулювання характеризується рядом властивостей, які безпосередньо впливають на роботу гранулятора, продуктивність процесу та якість готових паливних гранул. До найважливіших належать вологість, насипна густина, фракційний склад, сипкість, здатність до ущільнення, вміст золи та теплота згоряння.

Однією з головних характеристик є вологість сировини. Якщо біомаса перезволожена, гранули формуються нестійко, втрачають міцність і можуть деформуватися. Надто суха маса також небажана, оскільки гірше ущільнюється і потребує більшого тиску при пресуванні. Тому перед гранулюванням сировину необхідно доводити до раціонального рівня вологості.

Не менш важливою є насипна густина. У природному стані соняшникова біомаса має малу щільність, через що займає значний об'єм і є незручною для транспортування та подавання. Саме гранулювання дає можливість суттєво підвищити щільність матеріалу і покращити його технологічні властивості.

На процес ущільнення також впливає розмір частинок. При надто великих фракціях сировина гірше проходить у робочу зону і нерівномірно заповнює отвори матриці. Надто дрібний матеріал може ускладнювати стабільне формування гранул або спричиняти підвищене пиловиділення. Тому перед гранулюванням біомасу зазвичай подрібнюють до вирівняного фракційного складу.

Суттєве значення мають і паливні властивості соняшникової біомаси. До них відносять зольність, теплоту згоряння та вміст органічної речовини. Саме ці показники визначають енергетичну цінність майбутніх гранул і впливають на ефективність їх подальшого використання як твердого біопалива.

Таблиця 2.1

Орієнтовні фізико-механічні та технологічні властивості соняшникової біомаси

Показник	Орієнтовне значення	Вплив на процес гранулювання
Вологість вихідної сировини, %	10–18	Визначає здатність маси до ущільнення та міцність гранул
Рекомендована вологість перед гранулюванням, %	10–14	Забезпечує більш стійке формування гранул
Насипна густина, кг/м ³	80–180	Впливає на подавання сировини та

		продуктивність гранулятора
Середній розмір частинок після подрібнення, мм	1–5	Забезпечує рівномірне ущільнення в матриці
Зольність, %	3–8	Визначає якість палива та особливості його спалювання
Нижча теплота згоряння, МДж/кг	14–17	Характеризує енергетичну цінність гранул
Вміст органічної речовини, %	85–92	Свідчить про придатність сировини до енергетичного використання
Сипкість	задовільна / середня	Впливає на безперервність подавання в робочу зону
Здатність до ущільнення	середня / достатня	Визначає можливість формування щільних гранул
Абразивність	помірна	Впливає на зношування матриці та роликів

Наведені в таблиці 2.1 показники свідчать, що соняшникова біомаса є придатною для гранулювання, однак її властивості потребують попереднього врахування під час вибору режимів роботи та параметрів гранулятора. Найбільше значення мають вологість, насипна густина та ступінь подрібнення, оскільки саме вони найбільш помітно впливають на стабільність процесу ущільнення.

2.3 Фактори впливу на процес гранулювання

Гранулювання є процесом механічного ущільнення підготовленої рослинної сировини з одночасним наданням їй сталої форми. У випадку соняшникової біомаси цей процес полягає в тому, що подрібнений і доведений

до потрібної вологості матеріал подається в робочу зону гранулятора, де під дією роликів або іншого притискного органа втискується в отвори матриці.



Рисунок 2.2 – Фактори впливу на процес гранулювання

Під час проходження через канал матриці частинки біомаси зближуються, ущільнюються, частково деформуються та зчіплюються між собою. У результаті на виході з отворів утворюються безперервні ущільнені джгути, які потім зрізаються ножом на окремі гранули заданої довжини.

Сутність формування гранули полягає не лише у простому стисканні маси. У зоні пресування одночасно відбувається кілька явищ: зменшується пористість матеріалу, зростає контакт між частинками, підвищується температура внаслідок тертя, а природні органічні складові рослинної сировини сприяють зв'язуванню частинок у більш щільну структуру. Саме тому для одержання якісних гранул важливим є не тільки створення достатнього тиску, а й забезпечення такого режиму роботи, за якого матеріал зберігатиме здатність до ущільнення і не втратить своїх зв'язувальних властивостей.

Одним із головних чинників, що впливають на процес гранулювання, є тиск у робочій зоні. Якщо він недостатній, частинки біомаси не зможуть сформувати щільну та міцну гранулу, і готовий продукт буде крихким або нерівномірним. За надмірного тиску різко зростає навантаження на матрицю, ролики та привід, що погіршує умови роботи машини й прискорює зношування її вузлів. Отже, тиск повинен бути достатнім для надійного ущільнення, але не надлишковим.

Не менш важливим фактором є температура матеріалу в зоні гранулювання. Вона підвищується в процесі пресування внаслідок тертя частинок між собою та контакту з поверхнею матриці. Помірне зростання температури, як правило, позитивно впливає на формування гранул, оскільки поліпшує пластичність сировини та сприяє зв'язуванню частинок. Проте надмірний перегрів є небажаним, тому що може призводити до пересушування маси, погіршення якості гранул або нестабільної роботи обладнання. Саме тому температурний режим повинен бути узгоджений із властивостями конкретної біомаси.

Суттєвий вплив на процес має вологість сировини. За оптимального вмісту води матеріал краще ущільнюється, рівномірніше проходить через отвори матриці та формує гранули достатньої міцності. Якщо біомаса є надто вологою, готові гранули можуть втрачати форму, мати знижену механічну стійкість і потребувати додаткового підсушування. Якщо ж сировина пересушена, вона ущільнюється гірше, а для її продавлювання через матрицю потрібне більше зусилля. Таким чином, вологість є одним із ключових параметрів, від якого залежить і продуктивність гранулятора, і якість паливних гранул.

Важливу роль відіграє також геометрія отворів матриці. Діаметр, довжина і форма каналів визначають опір руху матеріалу, ступінь ущільнення та форму готової гранули. Якщо отвори надто короткі, ущільнення може бути недостатнім. Якщо вони занадто довгі або мають невдале співвідношення довжини до діаметра, різко зростає опір продавлюванню, що збільшує

споживання енергії і навантаження на вузли машини. Отже, параметри матриці повинні добиратися з урахуванням властивостей соняшникової біомаси та вимог до кінцевого продукту.

На стабільність процесу значно впливає швидкість подавання сировини. За недостатнього подавання робоча зона матриці використовується не повністю, що знижує продуктивність машини. За надмірного подавання можливе перевантаження гранулятора, нерівномірне пресування і погіршення якості гранул. Тому подача матеріалу повинна бути безперервною, рівномірною та узгодженою з пропускною здатністю робочого органа.

Окремо слід враховувати режим роботи машини, до якого належать частота обертання матриці або роликів, тривалість безперервної роботи, ступінь завантаження приводу та загальна стабільність роботи вузлів. Занадто високі швидкості можуть супроводжуватися перевантаженням, перегрівом і підвищеним спрацюванням деталей. Надто низькі швидкості, навпаки, знижують продуктивність і не завжди забезпечують належне ущільнення матеріалу. Тому режим роботи гранулятора має забезпечувати компроміс між продуктивністю, енерговитратами і якістю одержуваних гранул.

Отже, процес гранулювання соняшникової біомаси є поєднанням механічного ущільнення, тертя та формування стійких зв'язків між частинками сировини в каналах матриці. Його ефективність визначається сукупною дією тиску, температури, вологості, геометрії отворів матриці, інтенсивності подавання матеріалу та режиму роботи машини. Саме узгодження цих факторів між собою забезпечує стабільне формування паливних гранул належної щільності та міцності.

2.4 Аналіз існуючих конструкцій грануляторів для біомаси

Для ущільнення рослинної біомаси та отримання паливних гранул застосовують кілька основних типів грануляторів, які відрізняються будовою робочих органів, способом створення тиску в зоні пресування,

продуктивністю та вимогами до підготовки сировини. Найбільш поширеними є плоскоматричні, кільцеві та шнекові гранулятори. Кожен із цих типів має свої конструктивні особливості, переваги та обмеження, тому вибір конкретної схеми повинен враховувати властивості біомаси й умови використання машини.

Плоскоматричні гранулятори (рис.2.3) належать до найбільш поширених машин для невеликих і середніх виробництв. У таких грануляторах формування гранул відбувається шляхом продавлювання підготовленої біомаси через отвори плоскої матриці. Залежно від компоновки у роботу може приводитися або матриця, або ролики. До переваг цього типу належать відносна простота конструкції, менша вартість виготовлення, зручність технічного обслуговування та можливість використання в умовах окремого господарства. Недоліками є порівняно менша продуктивність у порівнянні з кільцевими машинами та чутливість до нерівномірного подавання сировини.

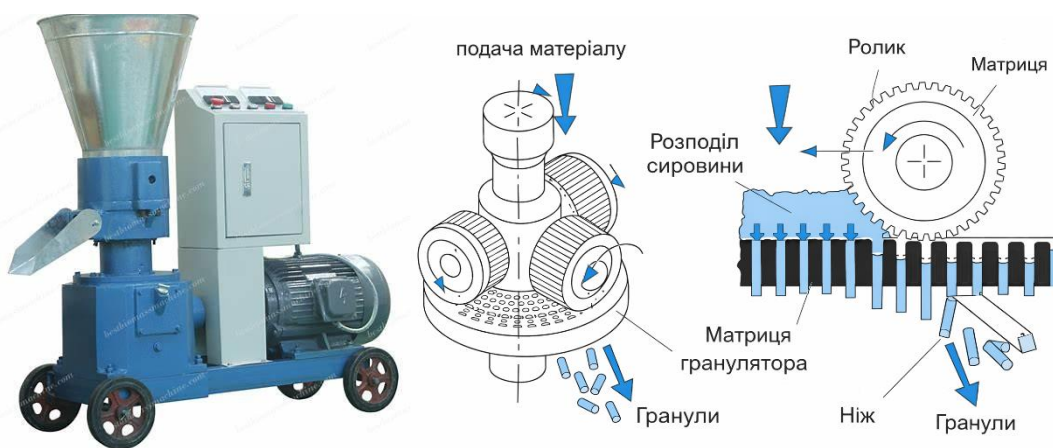


Рисунок 2.3 – Плоскоматричний гранулятор

Плоскоматричні гранулятори з нерухомою матрицею та рухомими роликами є найбільш простими за конструкцією. Вони добре підходять для дослідних, фермерських і малих виробничих установок. Такі машини доцільно застосовувати в тих випадках, коли важливими є доступність виготовлення, ремонтпридатність і невисока металоємність. Разом з тим за підвищених

навантажень і тривалої безперервної роботи зростає зношування матриці та роликів вузла.

Плоскоматричні машини з обертовою матрицею і нерухомими роликами забезпечують більш рівномірний розподіл навантаження по робочій поверхні. Вони можуть працювати стабільніше за безперервного подавання сировини, проте мають складніший привод матриці та висувають вищі вимоги до точності виготовлення і балансування вузлів. Через це їх конструкція є дещо складнішою у виконанні.

Кільцеві гранулятори (рис.2.4) використовують матрицю у вигляді кільця, всередині якої або біля якої працюють пресувальні ролики. Такі машини відзначаються високою продуктивністю, кращою пристосованістю до тривалої роботи та більшою рівномірністю процесу пресування. Саме тому вони часто застосовуються на промислових лініях виробництва гранул. Водночас їх недоліками є складніша конструкція, вища вартість, більші вимоги до обслуговування та менша доцільність використання в умовах середнього господарства, де не потрібні надто великі обсяги виробництва.

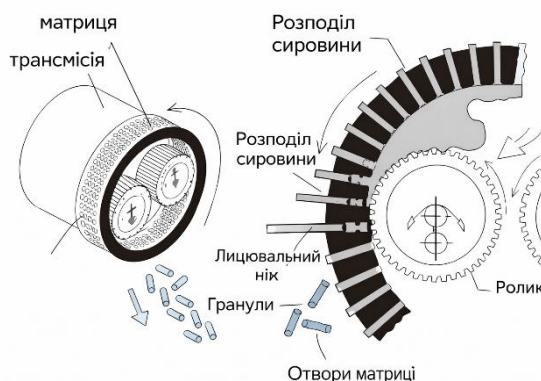


Рисунок 2.4 – Кільцеві гранулятори

Шнекові, або екструзійні, гранулятори працюють за іншим принципом. У них біомаса переміщується шнеком уздовж циліндричного корпусу і продавлюється через формувальну фільтру. Перевагою таких машин є безперервність подавання матеріалу та можливість додаткового термічного впливу в зоні ущільнення. Проте шнекові гранулятори чутливіші до вологості сировини, схильні до підвищеного нагрівання та зношування шнека, а також складніше налаштовуються для роботи з неоднорідною волокнистою біомасою.

Порівнюючи наведені типи машин, можна зробити висновок, що для великих виробництв найефективнішими є кільцеві гранулятори, оскільки вони забезпечують високу продуктивність і стабільну роботу за значних навантажень. Для малих і середніх господарств більш раціональними є плоскоматричні конструкції, які простіші, дешевші та краще пристосовані до виготовлення й експлуатації в локальних умовах. Шнекові гранулятори можуть бути ефективними для добре підготовленої однорідної сировини,

однак при роботі з рослинною біомасою волокнистої структури їх застосування не завжди є найкращим рішенням.

Ще одним різновидом машин для одержання гранульованого продукту є барабанний гранулятор. Його робота ґрунтується на обертанні циліндричного корпусу, всередині якого сипкий або дрібнодисперсний матеріал перемішується, перекочується і поступово укрупнюється. Формування гранул у такій машині відбувається переважно не шляхом продавлювання сировини через матрицю, а внаслідок злипання частинок, їх нашарування та укочування в обертовому барабані.

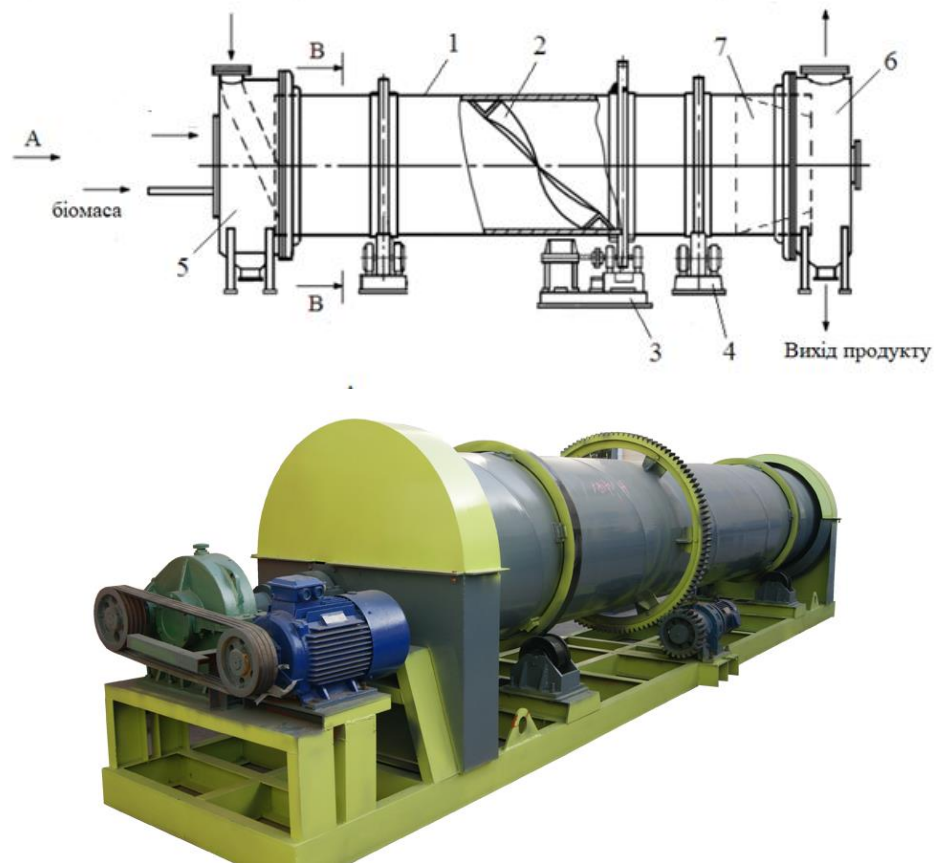


Рисунок 2.5 – Схема барабанного гранулятора

Основним робочим органом барабанного гранулятора є циліндричний барабан, установлений з невеликим нахилом до горизонту. Під час обертання матеріал, що подається всередину, піднімається на певну висоту, а потім пересипається вниз. У процесі такого перемішування частинки контактують

між собою, а за наявності потрібної вологості або сполучного компонента поступово утворюють гранули. За рахунок нахилу барабана матеріал повільно переміщується від завантажувального кінця до розвантажувального.

Конструктивно барабанний гранулятор зазвичай включає барабан, опорні кільця, роликові опори, приводний механізм, завантажувальний пристрій, розвантажувальний патрубок, раму та захисний кожух. У деяких виконаннях усередині барабана можуть бути встановлені лопаті або напрямні елементи, які покращують перемішування матеріалу та інтенсифікують процес гранулоутворення.

До переваг барабанного гранулятора належать відносна простота будови, можливість безперервної роботи, придатність для обробки великих обсягів сипкого матеріалу та досить м'який режим формування гранул. Такі машини широко застосовують у виробництві мінеральних добрив, комбікормових сумішей, вапнякових продуктів, а також у тих технологіях, де гранула формується шляхом укочування і нашарування.

Разом із тим для виробництва паливних гранул із соняшникової біомаси барабанний гранулятор має істотні обмеження. Основний недолік полягає в тому, що він не створює високого тиску ущільнення, характерного для матричних грануляторів. Через це гранули, утворені в барабані, зазвичай мають меншу щільність і нижчу механічну міцність. Для паливного використання це небажано, оскільки знижує зручність транспортування, зберігання та подавання гранул у теплогенеруюче обладнання.

Крім того, соняшникова біомаса має волокнисту структуру і не завжди добре піддається гранулоутворенню за принципом укочування. Для стабільної роботи барабанного гранулятора часто потрібне додаткове зволоження або введення зв'язувальних компонентів, що ускладнює технологію і не завжди відповідає вимогам виробництва твердого паливного біопалива. Саме тому барабанний гранулятор доцільніше розглядати як обладнання для сипких і порошкоподібних матеріалів, а не як основну машину для ущільнення рослинної біомаси.

Отже, барабанний гранулятор є відомим і поширеним типом грануляційного обладнання, однак для виготовлення щільних паливних гранул із соняшникової біомаси він поступається плоскоматричним і кільцевим грануляторам. У межах даного дипломного проєкту барабанну конструкцію доцільно включити до огляду як порівняльний варіант, але не як основну машину для подальшого обґрунтування параметрів.

Доцільність розгляду тарілчастого гранулятора (рис.2.6) в межах аналізу існуючих конструкцій пояснюється тим, що він належить до поширених типів обладнання для гранулоутворення сипких матеріалів. У такій машині гранули формуються на похилій обертовій тарелі внаслідок перекошування, нашарування і поступового укрупнення частинок сировини. Завдяки простоті будови, можливості візуального контролю процесу та регулюванню розміру гранул зміною кута нахилу тарелі й частоти її обертання цей тип обладнання широко застосовується в технологіях, де необхідно отримувати округлі гранули з дрібнодисперсних матеріалів.

Разом із тим для виробництва паливних гранул із соняшникової біомаси тарілчастий гранулятор має обмежене застосування. Це пов'язано з тим, що він працює переважно за принципом укочування і нашарування, а не інтенсивного ущільнення матеріалу. Через це одержані гранули зазвичай мають меншу щільність і нижчу механічну міцність, ніж гранули, сформовані в матричних грануляторах. Для паливного використання це є суттєвим недоліком, оскільки щільність і міцність безпосередньо впливають на зручність транспортування, зберігання та подавання палива.

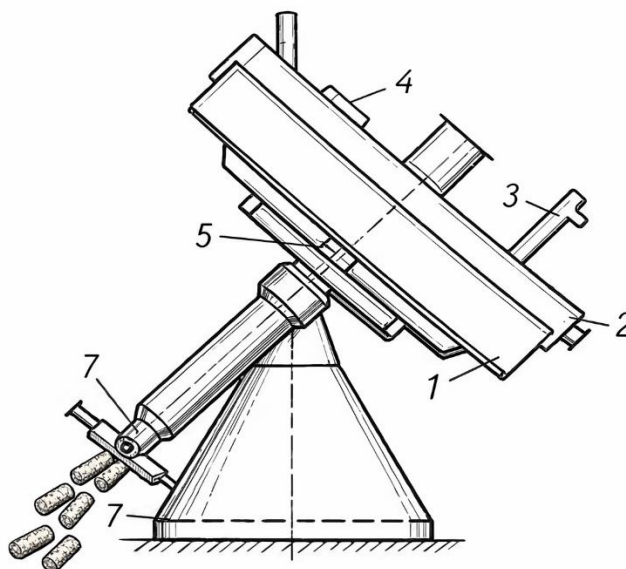


Рисунок 2.6 – Тарілчастий гранулятор

1 - тарілка, що обертається (або обертова тарілка); 2 - герметизувальний кожух; 3 - форсунка для подачі рідини; 4 - патрубок для відсмоктування пари; 5 - оглядове вікно; 6 - патрубок для подачі порошку; 7 - вал; 8 - механізм для зміни кута нахилу тарілки; 9 - рама.

Соняшникова біомаса, особливо у вигляді подрібнених стебел, кошиків або змішаних рослинних залишків, має волокнисту структуру і не завжди добре піддається гранулоутворенню на тарелі. Для стабільної роботи такого гранулятора потрібна досить однорідна дрібна сировина та, як правило, додаткове зволоження або введення зв'язувального компонента. Це ускладнює технологічний процес і знижує доцільність використання тарілчастої схеми саме для виготовлення щільних паливних гранул.

Отже, тарілчастий гранулятор доцільно включати до огляду як один із відомих типів грануляційного обладнання, що дозволяє повніше провести порівняльний аналіз конструкцій. Проте як основну машину для виробництва паливних гранул із соняшnikової біомаси його вибір є недостатньо обґрунтованим. Для умов даного дипломного проєкту більш раціональним є застосування плоскоматричного гранулятора, який забезпечує вищий ступінь ущільнення сировини та кращу якість готових гранул.

Для умов даного дипломного проєкту найбільш доцільним є вибір плоскоматричного гранулятора. Така конструкція краще відповідає потребам середнього сільськогосподарського підприємства, оскільки поєднує достатню продуктивність, конструктивну простоту, прийнятну вартість виготовлення та зручність обслуговування. Саме тому подальше обґрунтування параметрів гранулятора доцільно виконувати для машини плоскоматричного типу.

Висновки

1. Розглянуто соняшникову біомасу як сировину для виробництва паливних гранул і встановлено, що її придатність до гранулювання визначається вологістю, насипною густиною, фракційним складом, сипкістю та здатністю до ущільнення. Показано, що для одержання якісних гранул сировина повинна бути попередньо підготовлена: очищена, подрібнена та доведена до потрібної вологості.

2. Встановлено, що процес гранулювання залежить від тиску в зоні пресування, температури, вологості сировини, геометрії отворів матриці, швидкості подавання та режиму роботи машини. Саме узгодження цих факторів забезпечує стабільне формування гранул належної щільності та міцності.

3. проаналізовано основні типи грануляторів: плоскоматричні, кільцеві, шнекові, тарілчасті та барабанні. За результатами порівняння встановлено, що тарілчасті та барабанні гранулятори менш придатні для ущільнення волокнистої соняшnikової біомаси, шнекові є більш чутливими до властивостей сировини, а кільцеві мають складнішу конструкцію і більше підходять для великої продуктивності.

4. Отже, для умов даного дипломного проєкту найбільш доцільним є плоскоматричний гранулятор, оскільки він поєднує конструктивну простоту, достатню продуктивність і придатність до роботи з підготовленою соняшnikовою біомасою. Це створює основу для подальшого обґрунтування його параметрів у наступному розділі.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТИВНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

3.1 Обґрунтування технологічної схеми виробництва паливних гранул

Технологічна схема виробництва паливних гранул із соняшникової біомаси повинна забезпечувати не лише отримання готового продукту, а й стабільність його якості, рівномірне навантаження на гранулятор та раціональне використання сировини в умовах господарства. Для цього важливо, щоб усі операції були логічно пов'язані між собою і відповідали фізико-механічним властивостям соняшникової біомаси.

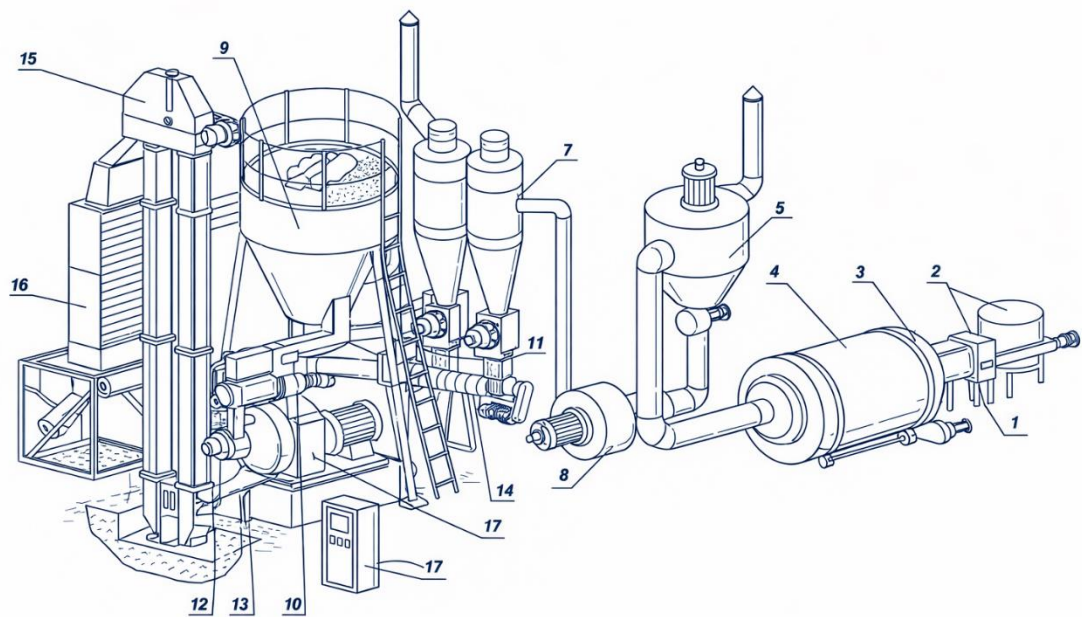


Рисунок 3.1 – Технологічна схема лінії виробництва паливних гранул

1 - вузол подачі сировини; 2 - енергетична установка; 3 - теплогенератор; 4 - барабанна сушарка; 5 – циклон; 6 - подрібнювач; 7 - пневмосистема очищення; 8 - шнековий транспортер; 9 - накопичувальний бункер; 10 - дозатор; 11 - зволожувач; 12 - змішувач; 13 - живильник; 14 - гранулятор; 15 - норія; 16 - охолоджувач-сортувач; 17 - пульт керування.

На відміну від однорідних сипких матеріалів, така сировина може мати різну вологість, неоднаковий фракційний склад, волокнисту структуру та несталу насипну густину. Саме тому в технологічній схемі необхідно передбачити попередню підготовку матеріалу перед його надходженням у гранулятор.

Для умов даного дипломного проєкту доцільно прийняти схему, яка включає приймання і накопичення соняшникової біомаси, її попереднє очищення, подрібнення, доведення вологості до робочого рівня, дозоване подавання в гранулятор, формування гранул, їх відведення, охолодження та накопичення готової продукції. Така побудова процесу є обґрунтованою, оскільки дозволяє усунути основні недоліки вихідної сировини ще до стадії гранулювання і забезпечити більш стабільну роботу машини.

На першій стадії технологічного процесу соняшникова біомаса надходить у зону приймання та тимчасового зберігання. Тут формується

необхідний запас сировини для безперервної роботи обладнання. У разі використання сумішевої біомаси, до складу якої можуть входити частини стебел, кошиків або інші рослинні рештки, важливо забезпечити більш-менш рівномірний склад матеріалу ще до його подавання на переробку. Це дає можливість зменшити коливання навантаження на гранулятор і забезпечити стабільніші властивості гранул.

Далі сировина проходить стадію попереднього очищення. Необхідність цієї операції пояснюється тим, що в рослинній масі можуть міститися сторонні домішки, пил, ґрунтові частинки, а інколи й тверді включення, які погіршують роботу обладнання та прискорюють зношування матриці й роликів. Очищення біомаси є важливою умовою підвищення надійності всієї технологічної лінії.

Після очищення матеріал подається на подрібнення. Ця стадія є обов'язковою, оскільки соняшникова біомаса в природному стані зазвичай має неоднорідний розмір частинок і волокнисту структуру. Великі фрагменти сировини погано захоплюються робочими органами гранулятора, нерівномірно заповнюють отвори матриці та можуть викликати перевантаження приводу. Подрібнення дозволяє привести матеріал до більш однорідного стану, що позитивно впливає на якість ущільнення та продуктивність процесу.

Одночасно з підготовкою за фракційним складом важливим етапом є доведення вологості сировини до раціонального рівня. Якщо біомаса надто волога, гранули формуються нестійко, можуть деформуватися і втрачати міцність. Якщо ж вона пересушена, для продавлювання через отвори матриці потрібне більше зусилля, а сам процес гранулювання стає менш стабільним. Саме тому в технологічній схемі передбачається сушіння або кондиціювання сировини до такого стану, за якого гранулятор працює у найбільш сприятливому режимі. Для соняшникової біомаси найбільш доцільним є подавання в гранулятор матеріалу з вирівняною вологістю та достатньою сипкістю.

Після підготовки сировина через дозувальний або завантажувальний вузол надходить у гранулятор. Ця стадія є центральною у всій технологічній схемі. У робочій зоні гранулятора біомаса ущільнюється роликми та продавлюється через отвори матриці. У результаті формується щільний гранульований продукт, який значно зручніший для транспортування, складування та подальшого використання як паливо. Вибір саме гранулювання як основної операції пояснюється тим, що воно дозволяє перетворити малощільну й незручну в поводженні рослинну масу на більш стандартизоване паливо з кращими експлуатаційними властивостями.

Після виходу з гранулятора готові гранули мають підвищену температуру і не завжди відразу набувають остаточної міцності. Тому наступною стадією доцільно передбачити охолодження. Воно необхідне для стабілізації структури гранул, зниження їх температури до безпечного рівня та зменшення ймовірності деформації під час накопичення. За потреби після охолодження гранули можуть проходити просіювання, під час якого відокремлюються дрібні крихти та частинки, що не відповідають вимогам до готового продукту. Відсіяний дріб'язок може бути повернений у процес і повторно спрямований на гранулювання, що підвищує загальну ефективність використання сировини.

Завершальною операцією технологічної схеми є накопичення або фасування готових паливних гранул. У такому вигляді продукт може бути використаний для власних потреб господарства або спрямований на зберігання. Саме ущільнення у формі гранул дозволяє істотно зменшити об'єм сировини, поліпшити умови її транспортування та зробити більш зручною механізовану подачу в теплогенеруючі установки.

Отже, прийнята технологічна схема виробництва паливних гранул із соняшникової біомаси включає послідовні операції підготовки, ущільнення та доведення готового продукту до стану, придатного для використання. Її обґрунтування базується на необхідності врахування специфічних властивостей соняшникової біомаси та забезпечення стабільної роботи

гранулятора в умовах середнього сільськогосподарського підприємства. Така схема є достатньо простою для практичної реалізації, не потребує надмірного ускладнення обладнання і водночас забезпечує отримання паливних гранул належної якості.

3.2 Обґрунтування конструкції та принцип роботи гранулятора

Запропонований у дипломному проєкті гранулятор (рис.3.2) призначений для переробки попередньо підготовленої соняшникової біомаси у щільні паливні гранули, придатні для подальшого транспортування, зберігання та використання як твердого біопалива. За конструктивною схемою машина належить до плоскоматричних грануляторів і складається з рами, приводу, робочої камери гранулювання, завантажувального та вивантажувального вузлів, а також допоміжних елементів кріплення і регулювання.

Основою конструкції є жорстка станина, на якій змонтовано всі основні вузли машини. На рамі розміщено приводний агрегат, що забезпечує передачу крутного моменту до робочого органа гранулятора. Від електродвигуна обертання через передавальний механізм передається на головний вал гранулятора. У верхній частині машини розташовано завантажувальний бункер, через який підготовлена сировина надходить у робочу зону. Під бункером встановлено корпус гранулятора, всередині якого міститься основний робочий вузол - матриця з роликками.

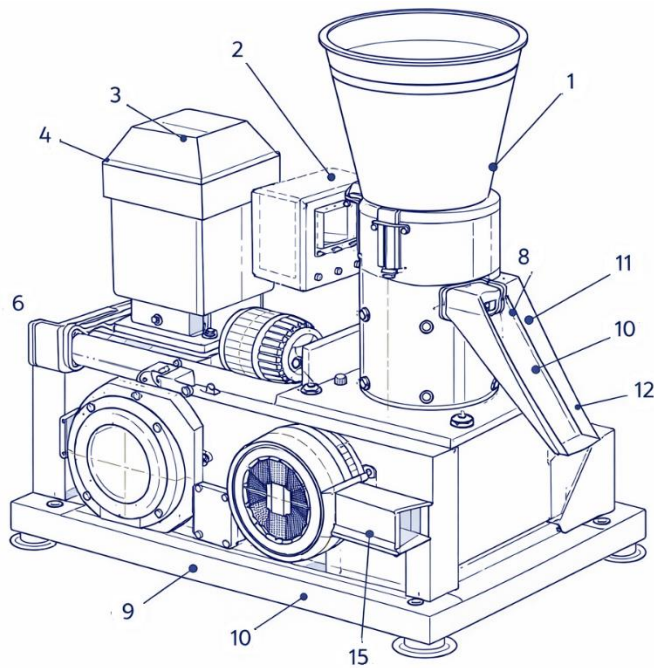


Рисунок 3.2 – Запропонований гранулятор

1 – завантажувальний бункер; 2 – захисний кожух приводу; 3 – електродвигун; 4 – корпус електродвигуна; 5 – робоча камера гранулювання; 6 – приводний вузол; 7 – головний вал; 8 – корпус гранулятора; 9 – станина; 10 – опорна рама; 11 – патрубок вивантаження; 12 – лоток відведення гранул; 13 – матриця; 14 – роликовий вузол; 15 – приймальний канал гранул.

Головним елементом робочої частини є матриця, в отворах якої безпосередньо формується гранула. У зоні контакту з матрицею встановлено ролики, які створюють необхідний тиск на сировину. Під час роботи вони захоплюють біомасу, ущільнюють її та продавлюють через отвори матриці. Після виходу ущільненого матеріалу з матричних каналів формується безперервний джгут, який розділяється на окремі гранули. Для відведення готової продукції в конструкції передбачено вивантажувальний лоток або патрубок, по якому гранули надходять у приймальну тару або на подальше охолодження.

До складу конструкції також входять захисні кожухи, кріпильні елементи, підшипникові опори та вузли регулювання. Вони забезпечують

безпечну роботу машини, точне взаємне розташування деталей, надійність передачі обертання та можливість технічного обслуговування.

Принцип роботи гранулятора полягає в такому. Підготовлену соняшникову біомасу з потрібною вологістю та необхідним ступенем подрібнення завантажують у бункер. Далі матеріал під дією власної ваги надходить у робочу камеру гранулювання. Після ввімкнення електродвигуна крутний момент через привод передається на робочий вузол гранулятора. У зоні пресування біомаса потрапляє між роликami та матрицею, де під дією стискання ущільнюється і продавлюється крізь отвори матриці.

У процесі проходження через канали матриці частинки сировини зближуються, деформуються та зчіплюються між собою. У результаті на виході утворюються щільні паливні гранули. Після формування вони спрямовуються до вивантажувального вузла та виводяться за межі машини. Таким чином, уся робота гранулятора зводиться до послідовного виконання трьох основних операцій: подавання сировини, її ущільнення у матриці та відведення готових гранул.

Запропонована конструкція є доцільною для умов середнього сільськогосподарського підприємства, оскільки поєднує відносну простоту будови, зручність обслуговування і достатню продуктивність. Крім того, плоскоматрична схема забезпечує потрібний ступінь ущільнення соняшникової біомаси, що є важливим для отримання паливних гранул належної щільності та механічної міцності.

3.3 Методика розрахунку основних вузлів гранулятора

Для виконання розрахунків приймаємо такі параметри гранулятора і сировини:

діаметр отворів матриці $d=8$ мм;

кількість отворів матриці $z=90$;

робочий діаметр матриці $D_m=250$ мм;

частота обертання матриці $n=40$ об/хв;

густина готових гранул $\rho=1100$ кг/м³;

коефіцієнт використання живого перерізу матриці $\phi=0.8$;
середня швидкість виходу гранул з отворів матриці $v=0.008$ м/с;
загальний ККД приводу $\eta=0.85$;
коефіцієнт тертя біомаси по робочих органах $\mu=0.4$;
питомі витрати електроенергії на гранулювання $e=65$ кВт·год/т.

Зусилля пресування визначається через крутний момент на матриці та умови передачі зусилля в зоні контакту роликів із біомасою.

Спочатку визначимо колову швидкість на робочому діаметрі матриці:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$
$$\omega = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 40}{60} = 4.19 \text{ с}^{-1}$$

Крутний момент на матриці:

$$M = \frac{9550 \cdot P}{n}$$

де

P - потужність на робочому органі, кВт;

n - частота обертання матриці, об/хв.

Для подальшого розрахунку приймаємо потужність гранулювання
 $P=7.48$ кВт.

Тоді

$$M = \frac{9550 \cdot 7.48}{40} = 1785.7 \text{ Н}$$

Колова сила на матриці:

$$F_t = \frac{2M}{D_m}$$

$$F_t = \frac{2 \cdot 1785.7}{0.25} = 14285.6 \text{ Н} = 14,2 \text{ кН}$$

Загальне зусилля пресування визначимо з урахуванням коефіцієнта тертя:

$$F_{\text{пр}} = \frac{F_t}{\mu}$$

$$F_{\text{пр}} = \frac{14.3}{0.4} = 35.75 \text{ кН}$$

Якщо в конструкції застосовано два ролики, тоді навантаження на один ролик становитиме:

$$F_{\text{рол}} = \frac{F_{\text{пр}}}{2} = \frac{35.8}{2} = 17.9 \text{ кН}$$

Для забезпечення стабільного продавлювання соняшникової біомаси через отвори матриці гранулятор повинен розвивати загальне зусилля пресування близько 35,8 кН, або приблизно 17,9 кН на один ролик.

Продуктивність гранулятора визначається за сумарною площею отворів матриці, швидкістю виходу ущільненого матеріалу та густиною готових гранул.

Площа одного отвору матриці:

$$f_1 = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$f_1 = \frac{3.14 \cdot (0.008)^2}{4} = 5.024 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Сумарна площа всіх отворів:

$$F = z \cdot f_1$$

$$F = 90 \cdot 5.024 \cdot 10^{-5} = 0.00452 \text{ м}^2$$

Об'ємна продуктивність гранулятора:

$$Q_v = F \cdot v \cdot \varphi$$

$$Q_v = 0.00452 \cdot 0.008 \cdot 0.8 = 2.89 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{с}$$

Масова продуктивність:

$$Q_m = Q_v \cdot \rho$$

$$Q_m = 2.89 \cdot 10^{-5} \cdot 1100 = 0.0318 \text{ кг} / \text{с} = 114 \text{ кг} / \text{год}$$

За прийнятих параметрів матриці та режиму роботи продуктивність гранулятора становить близько 115 кг/год, що є прийнятним для умов середнього сільськогосподарського підприємства.

Потужність приводу визначається за питомими витратами електроенергії на гранулювання та фактичною продуктивністю гранулятора.

Необхідна потужність на процес гранулювання:

$$P = e \cdot Q_t$$

Де

e - питомі витрати електроенергії, кВт·год/т;

Q_t - продуктивність, т/год.

$$P = 65 \cdot 0.115 = 7.48 \text{ кВт}$$

З урахуванням ККД приводу:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P}{\eta}$$

$$P_{\text{дв}} = \frac{7.48}{0.85} = 8.8 \text{ кВт}$$

Для надійної роботи машини вводимо коефіцієнт запасу потужності $k=1.15$.

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{дв}} \cdot k$$

$$P_{\text{уст}} = 8.8 \cdot 1.15 = 10.12 \text{ кВт}$$

Приймаємо стандартний електродвигун $P_{\text{ном}}=11 \text{ кВт}$

Для забезпечення стійкої роботи гранулятора доцільно встановити електродвигун потужністю 11 кВт, який забезпечить необхідний запас за навантаженням і стабільну роботу при гранулюванні соняшникової біомаси.

Робочий вал гранулятора передає крутний момент від приводу до матриці та сприймає додаткові навантаження від робочого вузла. Тому його необхідно перевірити на міцність при спільній дії кручення і згину.

Крутний момент на робочому валу визначається за формулою:

$$M_t = \frac{9550 \cdot P}{n}$$

де $P=7.48$ - потужність на робочому органі;

$n=40$ об/хв - частота обертання вала.

Для сталі 45 після поліпшення допустиме напруження кручення приймаємо $[\tau]=50$ МПа

Тоді мінімальний діаметр вала:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16M_t}{\pi[\tau]}}$$
$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 1.668 \cdot 10^6}{3.14 \cdot 60}} = 65.7 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний діаметр робочої частини вала:

$d=70$ мм.

Привід гранулятора повинен забезпечувати передачу потужності від електродвигуна до робочого вузла з пониженням частоти обертання до необхідного значення.

Раніше було визначено, що розрахункова встановлена потужність приводу становить $P_{уст}=10.1$ кВтР

Тому приймаємо стандартний електродвигун: тип - асинхронний трифазний; номінальна потужність $P_{дв}=11$ кВт; частота обертання $n_{дв}=1500$ об/хв; потрібна частота обертання робочого органа $n_2=40$ об/хв

Тоді загальне передавальне число:

$$i_{\Sigma} = \frac{n_{дв}}{n_2}$$
$$i_{\Sigma} = \frac{1500}{40} = 37.5$$

Для забезпечення такого зниження частоти приймаємо двоступеневий привід: клинопасова передача; редуктор.

Розподіл передавального числа приймаємо для пасової передачі $i_1=2.54$

Тоді для редуктора:

$$i_2 = \frac{i_{\Sigma}}{i_1}$$

$$i_2 = \frac{37.5}{2.54} = 14.76$$

Приймаємо $i_2 \approx 15$.

Отже, загальна схема приводу:

$$i_{\Sigma} = 2.54 \cdot 15 = 38.1$$

Фактична частота обертання робочого органа:

$$n_{\phi} = \frac{1500}{38.1} = 39.4 \text{ об/хв}$$

Отримане значення практично відповідає потрібному режиму роботи.

Виконаємо розрахунок клинопасової передачі. Приймаємо діаметр ведучого шківa $d_1 = 140$ мм та діаметр веденого шківa $d_2 = i_1 \cdot d_1 = 2.54 \cdot 140 = 356$ мм

Приймаємо стандартно $d_2 = 355$ мм.

Швидкість паса:

$$v = \frac{\pi d_1 n_{\text{дв}}}{60}$$

$$v = \frac{3.14 \cdot 0.14 \cdot 1500}{60} = 10.99 \text{ м/с}$$

Це значення знаходиться в допустимих межах для клинопасової передачі. Міжосьову відстань приймаємо $a = 700$ мм.

Довжина паса:

$$L = 2a + \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}$$

$$L = 2 \cdot 700 + \frac{3.14(140 + 355)}{2} + \frac{(355 - 140)^2}{4 \cdot 700}$$

$L = 2194$ мм

Приймаємо стандартну довжину $L = 2240$ мм

За потужністю і швидкістю для приводу доцільно прийняти 3 клинові паси профілю В.

Для другої ступені приводу приймаємо черв'ячний або циліндричний редуктор з передавальним числом $i_2=15$

Редуктор повинен забезпечувати вихідний момент не менше $M_{\text{вих}}=1785.7 \text{ Н}$.

Перевіримо приблизний вихідний момент приводу - крутний момент на валу двигуна:

$$M_{\text{дв}} = \frac{9550 \cdot 11}{1500} = 70.0 \text{ Н}$$

За умови ККД пасової передачі $\eta_1=0,95$ і редуктора $\eta_2=0.90$:

$$M_{\text{вих}}=M_{\text{дв}} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2$$

$$M_{\text{вих}}=70 \cdot 2.54 \cdot 15 \cdot 0.95 \cdot 0.90=2280 \text{ Н}$$

Оскільки $2280 > 1785.7 \text{ Н}$ прийнятий привід забезпечує необхідний запас за моментом.

Для гранулятора доцільно застосувати привід, що складається з електродвигуна потужністю 11 кВт, клинопасової передачі з трьома пасами профілю В та редуктора з передавальним числом 15. Така схема забезпечує робочу частоту обертання близько 40 об/хв і потрібний крутний момент на валу гранулятора.

Для прийнятої конструкції гранулятора доцільно використовувати плоску матрицю, оскільки вона простіша у виготовленні, зручніша в заміні й краще відповідає умовам середнього господарства. Така матриця забезпечує достатній тиск у зоні пресування та дає змогу отримувати гранули стабільної форми.

Визначим коефіцієнт ущільнення матриці. Одним із основних параметрів матриці є відношення довжини каналу до діаметра отвору:

$$\lambda = \frac{l}{d}$$
$$\lambda = \frac{36}{8} = 4.5$$

Значення $\lambda=4,5$ є доцільним для соняшникової біомаси, оскільки забезпечує достатнє ущільнення матеріалу без надмірного зростання опору продавлюванню.

Площа одного отвору:

$$f_1 = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$f_1 = \frac{3.14 \cdot 8^2}{4} = 50.24 \text{ мм}^2$$

Сумарна площа всіх отворів:

$$F = z \cdot f_1$$

$$F = 90 \cdot 50.24 = 4521.6 \approx 4522 \text{ мм}^2$$

Робоча площа перфорованої частини:

$$F_p = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_0^2)$$

$$F_p = \frac{3.14}{4} (250^2 - 80^2) = 44060.8 \text{ мм}^2$$

Коефіцієнт живого перерізу матриці:

$$\psi = \frac{F}{F_p}$$

$$\psi = \frac{4522}{44060.8} = 0.103$$

$$\psi \approx 10.3\%$$

Такий коефіцієнт живого перерізу є прийнятним для плоскої матриці та забезпечує поєднання достатньої продуктивності і міцності диска.

Для виготовлення матриці доцільно прийняти леговану сталь, наприклад 40Х або 45, з подальшою термічною обробкою. Після гартування та відпуску твердість робочої поверхні повинна становити приблизно 50...55 HRC, що забезпечує належну зносостійкість при роботі з рослинною біомасою. Отвори матриці доцільно розміщувати концентричними рядами. На вхідній стороні отворів рекомендується передбачити невеликі фаски або конічні заходи, що полегшують захоплення біомаси та зменшують місцеві напруження. Матриця

повинна бути змінною, щоб у разі зношування її можна було замінити без повного розбирання всієї машини.

У результаті обґрунтування конструкції встановлено, що для гранулятора доцільно застосувати плоску матрицю діаметром 250 мм, товщиною 40 мм, з отворами діаметром 8 мм у кількості 90 шт. Відношення довжини каналу до діаметра отвору становить 4.5, а коефіцієнт живого перерізу - близько 10.3 %, що забезпечує достатню продуктивність і потрібний ступінь ущільнення соняшникової біомаси.

Висновки

1. На основі прийнятої технологічної схеми та конструктивної компоновки визначено основні параметри машини, які забезпечують стабільну роботу обладнання в умовах середнього сільськогосподарського підприємства.

2. У ході розрахунків встановлено, що для ефективного ущільнення соняшникової біомаси необхідне зусилля пресування становить близько 35,8 кН, а продуктивність гранулятора - 0,115 т/год. Розрахунок потужності показав, що для приводу доцільно використовувати електродвигун потужністю 11 кВт, який забезпечує потрібний запас за навантаженням і надійний режим роботи машини.

3. Під час конструкторського опрацювання обґрунтовано параметри основних робочих органів гранулятора. Для робочого вузла прийнято плоску матрицю діаметром 250 мм, товщиною 40 мм, з отворами діаметром 8 мм у кількості 90 шт., що забезпечує необхідний ступінь ущільнення біомаси та формування гранул належної якості. Розрахунок вала на міцність показав, що доцільно прийняти діаметр його робочої частини 70 мм, що гарантує надійне сприйняття крутного моменту та робочих навантажень.

4. Також виконано вибір і обґрунтування елементів приводу, роликового вузла, завантажувального та вивантажувального пристроїв. Прийняті конструктивні рішення забезпечують технологічну простоту, зручність складання та експлуатації, а також можливість виготовлення основних деталей у виробничих умовах.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при гранулюванні соняшникової біомаси

Виробництво паливних гранул із соняшникової біомаси пов'язане з дією кількох груп небезпечних і шкідливих чинників. Під час роботи гранулятора працівник перебуває в зоні впливу рухомих деталей приводу, обертового вала, роликово-матричного вузла, завантажувального механізму та вивантажувального каналу. За відсутності захисних пристроїв або за порушення правил обслуговування ці елементи можуть стати причиною затягування одягу, травмування рук чи пошкодження кінцівок. Додатково небезпеку становлять підвищений рівень шуму, вібрації, запиленість повітря та нагрівання окремих частин обладнання. Саме тому організація безпечної роботи на такій ділянці повинна передбачати не лише технічні, а й організаційні заходи, включаючи навчання, інструктаж та контроль за станом обладнання.

Соняшникова біомаса як сировина має ще одну важливу особливість - при подрібненні й пересипанні вона утворює дрібний пил. Цей пил погіршує умови праці, подразнює органи дихання, осідає на обладнанні та за певних умов підвищує пожежну небезпеку виробництва. Окрім цього, робота ділянки супроводжується використанням електричного приводу, тому виникає ризик ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, неправильного заземлення або несправності пускової апаратури. За таких умов питання охорони праці повинні розглядатися комплексно: як з позиції захисту працівника від механічного травматизму, так і з позиції електро- та пожежної безпеки.

4.2 Вимоги безпеки до конструкції гранулятора

Безпечна експлуатація гранулятора значною мірою залежить від того, наскільки правильно вирішені питання захисту ще на стадії конструкторського опрацювання. Запропонована машина повинна мати жорстку й стійку раму, надійне кріплення електродвигуна та передавальних елементів, а також таке

взаємне розташування вузлів, яке виключає випадковий доступ працівника до небезпечної зони під час роботи. Особливу увагу необхідно приділити закриванню пасової передачі, муфт, шківів та інших обертових деталей захисними кожухами. Завантажувальний вузол повинен унеможливлювати пряме потрапляння рук оператора до робочої камери, а вивантажувальний лоток має забезпечувати відведення гранул без необхідності втручання людини в небезпечну зону. Такі рішення відповідають загальному принципу пріоритету технічних заходів безпеки, закріпленому в законодавстві про охорону праці.

Органи керування гранулятором слід розміщувати так, щоб оператор міг швидко зупинити машину у випадку перевантаження, стороннього шуму або аварійної ситуації. Пускові пристрої мають бути справними, чітко позначеними й захищеними від випадкового ввімкнення. Для ремонтних і очисних операцій конструкція повинна дозволяти безпечне відключення приводу та фіксацію вузлів у нерухомому стані. Під час розробки й експлуатації такого обладнання необхідно виходити з того, що будь-яке втручання в робочу зону може виконуватись лише після повної зупинки та знеструмлення машини.

4.3 Електробезпека, пожежна безпека та пиловибухозахист

Оскільки гранулятор приводиться в дію електродвигуном, на ділянці повинні бути забезпечені належні умови електробезпеки. Металеві частини машини, які можуть опинитися під напругою у разі пошкодження ізоляції, необхідно заземлити. Живлення приводу слід виконувати через справну пускозахисну апаратуру, а кабелі та з'єднання мають відповідати умовам навантаження і не допускати нагрівання або механічного пошкодження. Експлуатація електрообладнання повинна здійснюватися відповідно до чинних вимог щодо улаштування електроустановок і правил їх технічної експлуатації.

Пожежна безпека на дільниці гранулювання є особливо важливою, оскільки в технологічному процесі використовують суху органічну сировину, що легко займається за наявності джерела запалювання. На підприємстві необхідно не допускати накопичення пилу на електродвигунах, кожухах, полицях і конструкціях приміщення, своєчасно очищати обладнання та контролювати температуру нагрітих вузлів. У приміщенні повинні бути встановлені первинні засоби пожежогасіння, а проходи до них і евакуаційні виходи мають залишатися вільними. Працівники повинні знати порядок дій у разі загоряння, а також послідовність аварійної зупинки технологічного обладнання. Такі вимоги узгоджуються з Кодексом цивільного захисту України та Правилами пожежної безпеки в Україні.

Щоб зменшити ризик займання пилоповітряної суміші, доцільно передбачити місцеву вентиляцію в зонах інтенсивного пиловиділення, регулярно прибирати виробниче приміщення та не використовувати відкриті джерела вогню поблизу гранулятора і вузлів підготовки сировини. Особливо небезпечними є порушення режиму сушіння біомаси, перегрівання підшипників, перевантаження електродвигуна та іскріння в електричних контактах. Саме тому системи контролю, технічне обслуговування і своєчасний огляд обладнання є обов'язковою складовою профілактики пожеж і аварій.

Санітарно-гігієнічний стан дільниці значною мірою визначає безпечність і комфортність праці оператора. Під час гранулювання соняшникової біомаси в повітря може потрапляти пил, а робота електродвигуна, приводу та пресувального вузла супроводжується шумом і вібрацією. Тому виробниче приміщення повинно бути обладнане вентиляцією, яка забезпечує видалення пилу і підтримання прийняттого мікроклімату. Робоче місце має бути достатньо освітленим, щоб працівник міг безпечно контролювати подавання сировини, стан вузлів і вихід готових гранул. Водночас не допускається захаращення підходів до гранулятора, щитів керування та засобів пожежогасіння.

Для захисту працівника необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: спецодяг, який не має вільно звисаючих елементів, щільне робоче взуття, рукавиці, захисні окуляри, а за підвищеної запиленості - респіратор. Якщо рівень шуму в зоні роботи є значним, працівнику слід застосовувати протишумові навушники або вкладиші. Організація таких умов праці відповідає вимозі законодавства щодо створення безпечного виробничого середовища та запобігання негативному впливу виробничих факторів на здоров'я працівника.

4.4 Вимоги безпечної експлуатації гранулятора

Перед початком роботи оператор повинен оглянути гранулятор, переконавшись у справності кожухів, надійності кріплення вузлів, наявності заземлення, справності пускової апаратури та відсутності сторонніх предметів у завантажувальному бункері й робочій зоні. Лише після цього дозволяється запускати електродвигун і подавати підготовлену соняшникову біомасу. Якщо виявлено сторонній шум, нагрівання підшипників, пробуксовування пасів або нерівномірний вихід гранул, роботу слід негайно припинити та усунути несправності після повної зупинки машини. Проведення навчання, інструктажів та перевірки знань працівників є обов'язковою умовою допуску до роботи.

Під час роботи забороняється відкривати захисні кожухи, торкатися обертових деталей, проштовхувати сировину руками в завантажувальний отвір, а також очищати матрицю, ролики або вивантажувальний лоток без зупинки приводу. Після завершення зміни гранулятор слід знеструмити, очистити від залишків біомаси, перевірити стан кріплень і прибрати пил з поверхонь обладнання та навколишніх конструкцій. Такий порядок обслуговування знижує ризик механічного травматизму, поломок і пожежонебезпечних ситуацій.

4.5 Заходи з охорони довкілля

Запровадження гранулятора для переробки соняшникової біомаси має позитивне екологічне значення, оскільки дозволяє раціонально використовувати побічну продукцію рослинництва та зменшує обсяги її безсистемного накопичення. Разом із тим сама дільниця повинна працювати так, щоб не погіршувати стан довкілля. Для цього необхідно організувати збирання пилу й дрібних відсівів, не допускати їх розсіювання на території господарства, а також своєчасно вивозити або повертати в технологічний процес частинки, що не відповідають вимогам до готових гранул. Під час експлуатації обладнання слід уникати витоків мастильних матеріалів і забруднення ґрунту ними.

Раціональна організація процесу гранулювання сприяє не лише підвищенню енергоефективності господарства, а й зменшенню непродуктивних втрат біомаси. За умови належної вентиляції, регулярного прибирання, контролю пилу та дотримання пожежної профілактики робота дільниці може бути організована без істотного негативного впливу на навколишнє середовище. Таким чином, охорона праці на дільниці гранулювання поєднується з вимогами екологічної безпеки та загальної виробничої дисципліни.

Висновки

Під час експлуатації гранулятора для виробництва паливних гранул із соняшникової біомаси основними небезпечними чинниками є рухомі частини машини, електричний струм, пил, шум, вібрація і пожежна небезпека. Для зниження ризику травматизму та аварій необхідно передбачити захисні кожухи, заземлення, справну пускову апаратуру, вентиляцію, регулярне очищення обладнання, застосування засобів індивідуального захисту та суворе дотримання правил безпечної експлуатації. Запропоновані заходи відповідають чинним вимогам законодавства України з охорони праці,

електробезпеки й пожежної безпеки та забезпечують можливість безпечного використання гранулятора в умовах сільськогосподарського підприємства.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

До впровадження проєкту господарство використовувало альтернативне паливо рослинного походження у розсипному, негранульованому вигляді.

Такий варіант не потребував гранулятора, однак мав низку недоліків: меншу теплоту згоряння в перерахунку на одиницю маси, вищі втрати під час транспортування і зберігання, більшу трудомісткість подавання в теплогенеруюче обладнання та гіршу стабільність горіння.

Після впровадження проєкту передбачається перехід на гранульоване паливо із соняшникової біомаси, яке характеризується більшою насипною густиною, стабільнішими паливними властивостями і кращими умовами подавання до теплогенератора.

Для порівняння приймаємо однакову річну потребу господарства в корисній тепловій енергії.

річний фонд роботи обладнання $T=6 \cdot 220=1320$ год/рік;

теплота згоряння альтернативного негранульованого палива $q_a=12,0$ МДж/кг

коефіцієнт використання теплоти при спалюванні альтернативного палива $\eta_a=0,68$;

теплота згоряння паливних гранул $q_r=15,5$ МДж/кг;

коефіцієнт використання теплоти при спалюванні гранульованого палива $\eta_r=0,82$;

річний обсяг гранульованого палива за проєктом $B_r=151,8$ т/рік

балансова вартість наявної ділянки підготовки альтернативного палива $K_a=120000$ грн;

балансова вартість проєктної ділянки гранулювання $K_r=340000$ грн

тариф на електроенергію $c_{ел}=7,5$ грн/кВт год

нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень $E_n=0,15$.

Для проєктного варіанта річна кількість корисної теплоти становить:

$$Q_{кор}=B_r \cdot q_r \cdot \eta_r$$

$$Q_{кор}=151,8 \cdot 15,5 \cdot 0,82=1928,6 \text{ ГДж/рік}$$

Отже, приймаємо, що для забезпечення виробничих потреб господарству необхідно 1928,6 ГДж/рік.

Визначення річної витрати альтернативного та гранульованого палива.

Для базового варіанта потреба в негранульованому альтернативному паливі визначається з умови забезпечення тієї ж кількості корисної теплоти:

$$B_a = \frac{Q_{\text{кор}}}{q_a \cdot \eta_a}$$
$$B_a = \frac{1928,6}{12,0 \cdot 0,68} = 236,3 \text{ т/рік}$$

Для проєктного варіанта $B_r=151,8$ т/рік

Отже, після переходу на гранульоване паливо річна витрата палива зменшується на:

$$\Delta B = 236,3 - 151,8 = 84,5 \text{ т/рік}$$

У базовому варіанті враховуємо витрати на підготовку, підсушування, переміщення і подавання розсипного палива; електроенергію; оплату праці; нарахування на зарплату; ремонт і обслуговування; амортизацію та інші поточні витрати.

1. Витрати на підготовку і транспортування палива

Приймаємо питомі витрати на підготовку 1 т альтернативного палива $C_{\text{підг.а}}=1820$ грн/т:

Тоді:

$$C_{\text{підг.а}}=236,3 \cdot 1820=430066 \text{ грн}$$

Приймаємо $C_{\text{підг.а}}=430000$ грн

2. Витрати на електроенергію

Для наявної ділянки підготовки альтернативного палива приймаємо: встановлена потужність $P_a=7,5$ кВт та коефіцієнт завантаження $k_{з.а}=0,67$

Річне споживання електроенергії:

$$W_a = P_a \cdot T \cdot k_{з.а}$$
$$W_a = 7,5 \cdot 1320 \cdot 0,67 = 6633 \text{ кВт}$$

Вартість електроенергії:

$$C_{\text{ел.а}} = 6633 \cdot 7,5 = 49747,5 \text{ грн}$$

Приймаємо $C_{\text{ел.а}}=49800$ грн

3. Оплата праці

Приймаємо річну заробітну плату працівника $C_{зп.а}=99000$ грн

Нарахування на заробітну плату:

$$C_{н.а}=0,22 \cdot 99000=21780 \text{ грн}$$

4. Ремонт і амортизація

Ремонт і технічне обслуговування:

$$C_{рем.а}=0,06 \cdot 120000=7200 \text{ грн}$$

Амортизація:

$$C_{ам.а}=0,15 \cdot 120000=18000 \text{ грн}$$

5. Інші витрати $C_{ін.а}=12000$ гр

6. Загальні експлуатаційні витрати базового варіанта

$$C_{експ.а}=430000+49800+99000+21780+7200+18000+12000=637780 \text{ грн/рік.}$$

Для проєктного варіанта приймаємо раніше визначені річні експлуатаційні витрати $C_{експ.г}=374784$ грн/рік.

Для альтернативного негранульованого палива собівартість 1 т:

$$S_a = \frac{C_{експ.а}}{B_a}$$
$$S_a = \frac{637780}{236,3} = 2699,4 \text{ грн/т}$$

Для гранульованого палива

$$S_r = \frac{374784}{151,8} = 2468,9 \text{ грн/т.}$$

Зменшення собівартості в розрахунку на 1 т становить:

$$\Delta S=2699-2469=230 \text{ грн/т}$$

Однак більш об'єктивно порівнювати не тонну палива, а вартість 1 ГДж корисної теплоти.

Вартість 1 ГДж корисної теплоти для базового варіанта

$$S_{Q.а} = \frac{637780}{1928,6} = 330,7 \text{ грн/ГДж}$$

Для проєктного варіанта

$$S_{Q.г} = \frac{374784}{1928,6} = 194,3 \text{ грн/ГДж}$$

Зменшення витрат на 1 ГДж корисної теплоти становить:

$$\Delta S_Q = 330,7 - 194,3 = 136,4 \text{ грн/ГДж}$$

Річна економія коштів від переходу з альтернативного негранульованого палива на гранульоване визначається як різниця річних експлуатаційних витрат:

$$E_{ек} = C_{експ.а} - C_{експ.г}$$

$$E_{ек} = 637780 - 374784 = 262996 \text{ грн}$$

Додаткові капіталовкладення становлять:

$$\Delta K = K_{г} - K_{а}$$

$$\Delta K = 340000 - 120000 = 220000 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$E_p = E_{ек} - E_n \cdot \Delta K$$

$$E_p = 262996 - 0,15 \cdot 220000 = 229996 \text{ грн}$$

Термін окупності додаткових капіталовкладень:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K}{E_{ек}} = \frac{220000}{262996} = 0,84 \text{ року}$$

Таблиця 6.4

Порівняння техніко-економічних показників використання альтернативного і гранульованого палива

Показники	Альтернативне негранульоване паливо	Гранульоване паливо	Відхилення
Балансова вартість обладнання, грн	120000	340000	+220000
Встановлена потужність обладнання, кВт	7,5	11,0	+3,5
Теплота згоряння палива, МДж/кг	12,0	15,5	+3,5
Коефіцієнт використання теплоти	0,68	0,82	+0,14

Річна витрата палива, т/рік	236,3	151,8	-84,5
Річні експлуатаційні витрати, грн	637780	374784	-262996
Собівартість 1 т палива, грн	2699	2469	-230
Вартість 1 ГДж корисної теплоти, грн	330,7	194,3	-136,4
Річна економія коштів, грн	-	262996	-
Річний економічний ефект, грн	-	229996	-
Термін окупності, років	-	0,84	-

Техніко-економічний аналіз показав, що перехід від використання альтернативного палива в негранульованому вигляді до гранульованого палива із соняшникової біомаси є економічно доцільним. Незважаючи на збільшення балансової вартості обладнання на 220 тис. грн і зростання встановленої потужності дільниці з 7,5 до 11 кВт, застосування гранульованого палива дає змогу суттєво знизити річну витрату палива - з 236,3 до 151,8 т, а також зменшити річні експлуатаційні витрати на 262996 грн.

Собівартість 1 т палива зменшується на 230 грн, а вартість 1 ГДж корисної теплоти - на 136,4 грн. Річний економічний ефект від переходу на гранульоване паливо становить 229996 грн, а строк окупності додаткових капіталовкладень не перевищує 0,84 року. Це підтверджує доцільність впровадження гранулятора в умовах господарства.

ВИСНОВКИ

1. У дипломному проєкті вирішено актуальне завдання, пов'язане з підвищенням ефективності використання соняшникової біомаси в умовах сільськогосподарського підприємства шляхом її переробки у паливні гранули. Проведений аналіз показав, що в господарстві наявна достатня сировинна база для організації такого виробництва, а використання біомаси в ущільненому вигляді є більш раціональним порівняно з її застосуванням у негранульованому стані.

2. У роботі досліджено властивості соняшникової біомаси як сировини для гранулювання та встановлено, що на якість готового продукту і стабільність роботи обладнання найбільше впливають вологість, фракційний склад, насипна густина, сипкість і здатність матеріалу до ущільнення. Обґрунтовано, що перед подачею в гранулятор сировина повинна пройти попередню підготовку: очищення, подрібнення та доведення до раціональної вологості.

3. На основі аналізу існуючих конструкцій грануляторів встановлено, що для умов середнього господарства найбільш доцільним є застосування плоскоматричної схеми. Такий гранулятор поєднує конструктивну простоту, достатню продуктивність, зручність технічного обслуговування та придатність до роботи з підготовленою соняшниковою біомасою. Порівняння з кільцевими, шнековими, тарілчастими та барабанними грануляторами підтвердило раціональність обраного рішення.

4. У розрахунковій частині обґрунтовано основні параметри гранулятора. Визначено, що зусилля пресування біомаси становить близько 35,8 кН, продуктивність машини — 0,115 т/год, а для забезпечення стійкої роботи доцільно застосувати електродвигун потужністю 11 кВт. Такі параметри забезпечують стабільне формування паливних гранул та відповідають умовам експлуатації в господарстві.

5. У конструкторській частині розроблено будову гранулятора та опрацьовано його основні вузли. Обґрунтовано конструкцію плоскої матриці діаметром 250 мм, товщиною 40 мм, з отворами Ø8 мм у кількості 90 шт. і коефіцієнтом живого перерізу близько 10,3 %. Виконано розрахунок вала на

міцність, за результатами якого прийнято діаметр робочої частини 70 мм. Також визначено конструктивні параметри роликів, приводу, завантажувального та вивантажувального вузлів, а для складального креслення підібрано комплект основних деталей для деталювання.

6. У розділі з охорони праці встановлено, що основними небезпечними факторами при роботі гранулятора є рухомі частини машини, електричний струм, пил, шум, вібрація та пожежна безпека. Запропоновано комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації обладнання: захисні кожухи, заземлення, вентиляцію, дотримання правил обслуговування, застосування засобів індивідуального захисту та організацію пожежної профілактики на ділянці гранулювання.

7. Техніко-економічний розрахунок підтвердив доцільність упровадження гранулятора. Встановлено, що при переході від використання альтернативного палива в негранульованому вигляді до гранульованого палива із соняшникової біомаси річна витрата палива зменшується з 236,3 т до 151,8 т, а річні експлуатаційні витрати — з 637780 грн до 374784 грн. Річна економія коштів становить 262996 грн, річний економічний ефект — 229996 грн, а строк окупності додаткових капіталовкладень не перевищує 0,84 року.

8. Отже, розроблений гранулятор для виробництва паливних гранул із соняшникової біомаси є технічно обґрунтованим, конструктивно доцільним і економічно ефективним для впровадження в умовах середнього сільськогосподарського підприємства. Реалізація запропонованого проєкту дає змогу підвищити рівень використання місцевих енергетичних ресурсів, зменшити витрати на паливо та покращити загальну ефективність господарської діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гайдено О. М. Технологічний процес заготівлі та використання рослинної біомаси як твердого біопалива : монографія. Київ : Аграрна наука, 2017. 144 с.
2. Зубко В. М., Соколік С. П. Аналіз технологій та технічних засобів для використання відходів виробництва соняшнику в якості біопалива // Інженерія природокористування. 2017. № 1(7). С. 6–10.
3. Перетяка С. М., Осадчук П. І. Пелети із відходів харчових виробництв // Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки. 2018. Вип. 90. С. 84–92.
4. Гелетука Г. Г., Крамар В., Епик О., Антощук Т., Тітков В. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси (визначення точок зростання). Київ : Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй, 2016. 334 с.
5. Топал О. І., Гапонич Л. С., Голенко І. Л., Кобзар С. Г. Вивчення закономірностей термічного розкладання лушпиння соняшника за умов швидкісного нагріву // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2024. № 3. С. 170–182. DOI: 10.20535/1813-5420.3.2024.314639.
6. ДСТУ EN ISO 17225-6:2022. Тверде біопаливо. Технічні характеристики та класи палива. Частина 6. Сортвані недеревні гранули (EN ISO 17225-6:2021, IDT; ISO 17225-6:2021, IDT). 2022.
7. Pradhan P., Mahajani S. M., Arora A. Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review // Fuel Processing Technology. 2018. Vol. 181. P. 215–232. DOI: 10.1016/j.fuproc.2018.09.021.
8. Cui X., Yang J., Shi X., Lei W., Huang T., Bai C. Pelletization of Sunflower Seed Husks: Evaluating and Optimizing Energy Consumption and Physical Properties by Response Surface Methodology (RSM) // Processes. 2019. Vol. 7, No. 9. Art. 591. DOI: 10.3390/pr7090591.
9. Nunes L. J. R., Causer T. P., Ciolkosz D. Biomass for energy: A review on supply chain management models // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020. Vol. 120. Art. 109658. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109658.

10. Turzyński T., Kluska J., Ochnio M., Kardaś D. Comparative Analysis of Pelletized and Unpelletized Sunflower Husks Combustion Process in a Batch-Type Reactor // *Materials*. 2021. Vol. 14, No. 10. Art. 2484. DOI: 10.3390/ma14102484.
11. Dujmović M., Šafran B., Jug M., Radmanović K., Antonović A. Biomass Pelletizing Process: A Review // *Drvna industrija*. 2022. Vol. 73, No. 1. P. 99–106. DOI: 10.5552/drvind.2022.2139.
12. Horák J., Bilan Y., Dankevych A., Nitsenko V., Kucher A., Streimikiene D. Bioenergy production from sunflower husk in Ukraine: potential and necessary investments // *Journal of Business Economics and Management*. 2023. Vol. 24, No. 1. P. 1–19. DOI: 10.3846/jbem.2023.17756.
13. Голуб Г. А., Кухарець С. М., Марус О. А. та ін. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві : навч. посіб. / за ред. Г. А. Голуба. Київ : НУБіП України, 2017. 229 с.
14. Скидан О. В., Голуб Г. А., Кухарець С. М. та ін. Відновлювана енергетика в аграрному виробництві : навч. посіб. / за ред. О. В. Скидана, Г. А. Голуба. Житомир : ЖНАЕУ, 2018. 338 с.
15. Токарський Ю. М., Янків В. В., Сірик З. О., Гошко М. О., Коненко І. Є. Механічні передачі. Розрахунок та конструювання : навч. посіб. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 152 с.
16. Гевко Р. Б., Хомик Н. І., Жаровський О. С., Довбуш Т. А. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання : навч. посіб. до лабораторних робіт. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 256 с.
17. Хомик Н. І., Олексюк В. П., Цьонь О. П. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції : курс лекцій. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2016. 288 с.
18. Будько М. О. Біоенергетика : курс лекцій. Ч. 1 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 109 с. Назва з екрана.

19. Романюк О. Д., Теліпко Л. П., Ракша С. В. Теоретична та прикладна механіка. Короткий курс : навч. посіб. Кам'янське : ДДТУ, 2021. 282 с.

20. Самойчук К. О., Паляничка Н. О., Верхоланцева В. О. Технологічне обладнання галузі : конспект лекцій. Ч. 1. Мелітополь : видавничо-поліграфічний центр «Forward press», 2020. 255 с.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ТРАКТОРІВ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

**Обґрунтування параметрів гранулятора для виробництва паливних
гранул із соняшникової біомаси**

Демонстраційний матеріал до дипломного проєкту освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: здобувач групи АІ-1-22
Кубайчук Олексій Сергійович

Керівник: к.т.н., доцентка
Золотовська Олена Володимирівна

Дніпро 2026

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите
в «Параметры».

**1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА ТА ПЕРЕДУМОВИ
ВИКОРИСТАННЯ СОНЯШНИКОВОЇ БІОМАСИ**

1.1 Загальна характеристика господарства
ТОВ «Сонечне Поле» – сільськогосподарське підприємство Дніпропетровської області, основний напрям діяльності – вирощування зернових і олійних культур. Підприємство має розвинену матеріально-технічну базу, достатню кількість техніки та виробничих приміщень, що створює передумови для організації переробки соняшникової біомаси у паливні гранули.



1.3 Показники виробництва основних культур



1.4 Машинно-тракторний парк господарства

Найменування техніки	Марка	Кількість, шт.
Трактори колісні важкого класу	John Deere 8335R	2
Трактори колісні середнього класу	MTZ-1221	4
Трактори універсально-просапні	MTZ-82.1	5
Зернозбиральні комбайни	Claas Lexion 760	2
Зернозбиральні комбайни	New Holland CR 6.90	1
Соняшникові жатки	В-радіс	3
Інша техніка та транспорт	–	17

Господарство укомплектоване технікою для виконання польових, транспортних і складських робіт, що необхідно для організації переробки біомаси.

Висновок: господарство має достатні площі, виробничі потужності та технічні ресурси для організації переробки соняшкової біомаси у паливні гранули, що дозволить забезпечити енергетичну незалежність і зменшити виробничі витрати.

1.5 Розрахунок обсягу соняшкової біомаси, доступної для гранулювання

Показник	Значення
Площа посіву соняшнику, га	640
Середній вихід доступної біомаси з 1 га, т/га	1,8
Загальний обсяг біомаси, т	1152
Коефіцієнт технологічних втрат	0,12
Розрахунковий обсяг біомаси після втрат, т	1014
Частка біомаси на гранулювання, %	65
Обсяг сировини для гранулювання, т/рік	659

1.6 Доцільність виробництва паливних гранул

- Забезпечення теплом виробничих і складських приміщень.
- Сушіння зерна та насіння власного виробництва.
- Живлення зерноочисних та переробних ліній.
- Резервне джерело енергії для виробничих процесів.
- Зниження витрат на паливо та енергоресурси.



Плоскоматричний гранулятор

Тарілчастий гранулятор

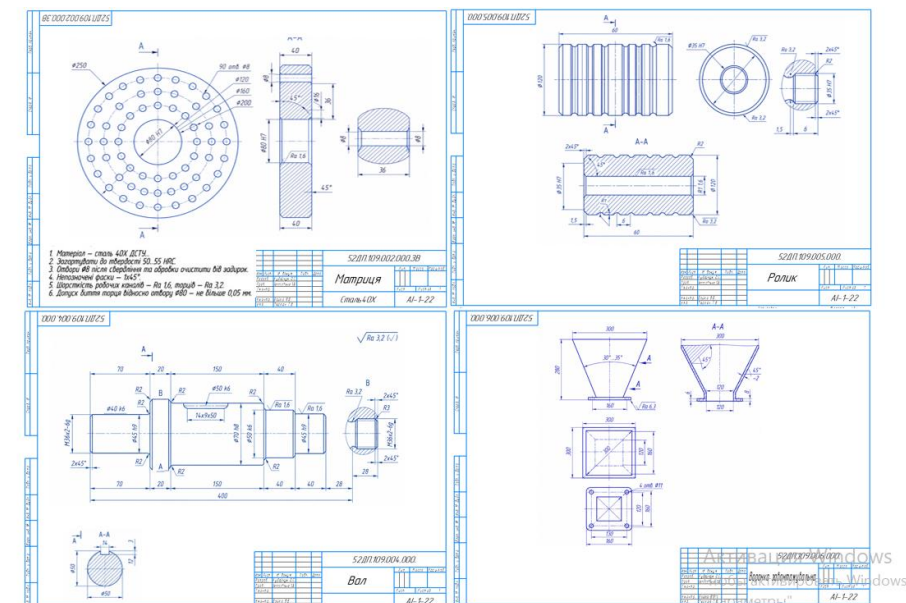
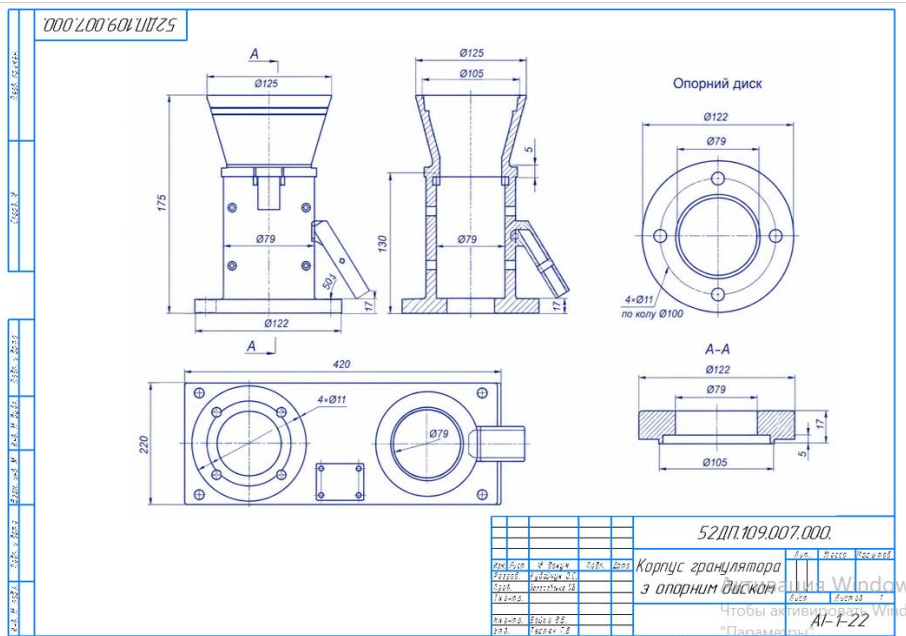
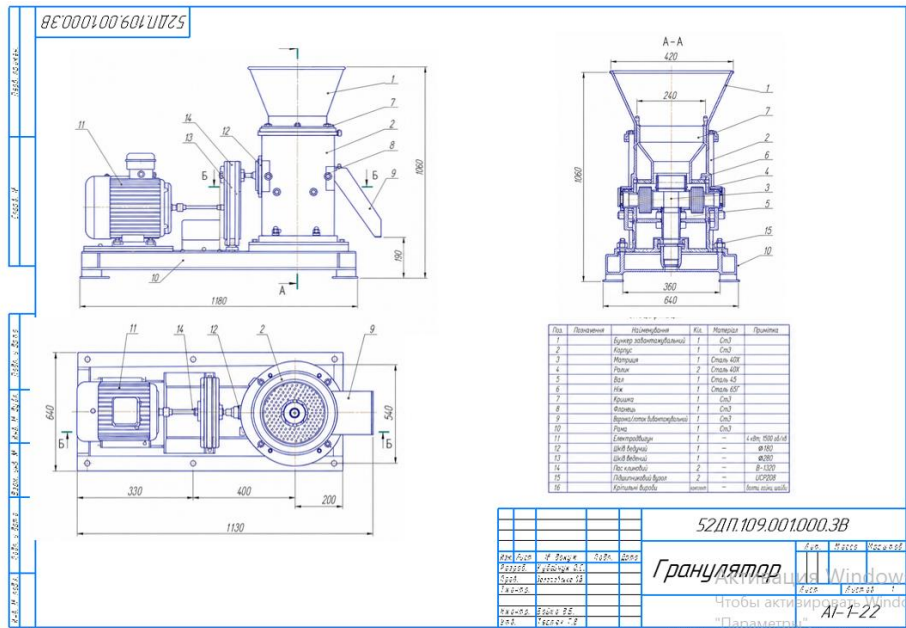
Барабанний гранулятор

Кільцевий гранулятор

52 ДП.109.000.000.1Х

Конструкції грануляторів

Чтобы активировать Windows, перейдите в «Параметры».



52ДП.109.008.000.16			
Показники	Альтернативне негранульоване паливо	Гранульоване паливо	
Балансова вартість обладнання, грн	120000	340000	
Встановлена потужність обладнання, кВт	7,5	11,0	
Теплота згоряння палива, МДж/кг	12,0	15,5	
Коефіцієнт використання теплоти	0,68	0,82	
Річна витрата палива, т/рік	236,3	151,8	
Річні експлуатаційні витрати, грн	637780	374784	
Собівартість 1 т палива, грн	2699	2469	
Вартість 1 ГДж корисної теплоти, грн	330,7	194,3	
Річна економія коштів, грн	-	262996	
Річний економічний ефект, грн	-	229996	
Термін окупності, років	-	0,84	

52ДП.109.008.000.16			
ЕКОНОМІЧНА	ОЦІНКА	Активация Windows	
Параметры		Чтобы активировать Windows, перейдите в "Параметры"	