

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

01.08 – КМР. 585 “С” 2021.12.07. 023 ПЗ

**ГЕЛЬМАН ІГОР МИКОЛАЙОВИЧ**

**2021 р.**

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 672.756.3.03

НУБІП України

ПОГОДЖЕНО  
Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
Тракторів, автомобілів та біоенергоресурсів  
(назва кафедри)

НУБІП України

В. Братішко  
(підпис)

“ ” 2021 р.

Чуба В.В.  
(підпис) (ПІБ)

“ ” 2021 р.

### МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НУБІП України

на тему Обґрунтування процесу та вибір обладнання для  
виробництва паливних гранул

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

НУБІП України

Гарант освітньої програми:

Доктор технічних наук, с. н. с.

(підпис)

В.В. Братішко

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:

Доктор технічних наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Голуб Г.А.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Гельман І. М.

(ПІБ студента)

НУБІП України

КИЇВ – 2021

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

тракторів, автомобілів та біоресурсів

К.Т.Н., доцент Чуба В.В.  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ІПБ)  
«    » 2021 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Гельману Ігорю Миколайовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 268 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Обґрунтування процесу та вибір обладнання для виробництва паливних гранул

затверджена наказом ректора НУБіП України від "01" лютого 2021 р. № 585 С

Термін подання завершеної роботи на кафедру 29 листопада 2021 р.  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Виконати обґрунтування виробництва паливних гранул із залишків сільськогосподарського виробництва.
2. Виконати аналіз існуючого обладнання для отримання паливної гранули із залишків біомаси сільськогосподарського виробництва;
3. Виконати аналіз основ проектування технологічного обладнання для отримання паливної гранули.
4. Виконати експериментальні дослідження впливу фізико-механічних властивостей біомаси на якісні показники гранули та конструктивні параметри обладнання.

Перелік графічного матеріалу: схема автономного виробництва сільськогосподарської продукції з використання в якості джерела енергії паливної гранули, схема технологічного виробництва паливних гранул, загальний вигляд обладнання для виробництва .

Дата видачі завдання «    » 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Голуб Г. А.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

Гельман І. М.

НУБІП <sup>(підпис)</sup> Ук<sup>(прізвище та ініціали студента)</sup>раїни

НУБІП Ук<sup>(прізвище та ініціали студента)</sup>раїни

НУБІП Ук<sup>(прізвище та ініціали студента)</sup>раїни

НУБІП Ук<sup>(прізвище та ініціали студента)</sup>раїни

НУБІП Ук<sup>(прізвище та ініціали студента)</sup>раїни

НУБІП Ук<sup>(прізвище та ініціали студента)</sup>раїни

НУБІП Ук<sup>(прізвище та ініціали студента)</sup>раїни

## ЗМІСТ

Вступ	5
Розділ 1. Обґрунтування використання біомаси в якості біологічного палива в агропромисловому комплексі	7
Розділ 2. Аналіз основ процесу гранулювання біомаси	19
2.1. Фізико-хімічні основи ущільнення зернистих і волокнистих матеріалів	19
2.2. Технологія виробництва пеллет та брикетів із солом	21
2.3. Робочі органи обладнання для ущільнення біомаси на енергетичні цілі	27
2.4. Аналіз технологічного обладнання для виробництва твердопаливних гранул	30
2.5. Розрахунок основних параметрів матриці гранулятора твердого біопалива	51
Розділ 3. Експериментальні дослідження роботи обладнання по гранулюванню біомаси рослинного походження	61
3.1 Вибір напрямку досліджень	61
3.2 Необхідні матеріали та обладнання для проведення дослідження по визначенні вологості сировини	62
3.3 Методика проведення експериментальних досліджень по визначенню вологості сировини	63
3.4 Дослідження взаємозв'язку характеристик сировини на товщини матриці гранулятора	64
Висновки	73
Список використаних джерел	74

## ВСТУП

Наприкінці минулого століття відбулося швидке заміщення твердопаливних котлів на екологічно чисті газові. Однак, як виявилося, тотальна газифікація призвела до великої залежності цілих галузей народного господарства від ціни на імпортований газ.

Котли на твердому біопаливі дозволяють використовувати місцевий вид відновлювального палива – тверду біомасу, яка безперечно є дешевшим та стійким видом відновлювального палива.

Щорічно в Україні споживається близько 200 млн. т. умовного палива, при цьому видобуток із природних джерел країни становить лише 80 млн. т. Важливим потенційним ресурсом за такого балансу власної та імпортованої енергетичної сировини може стати біопаливо.

Відповідно до світової практики, до твердого біопалива відносять пелети, брикети, продукти відходи деревообробної та агрокультури. До твердого біопалива можна також віднести рослинний матеріал, який спеціально вирощується в енергетичних цілях, наприклад, плантації міскантусу або енергетичної верби. У порівнянні з традиційними видами палива, біопаливо є екологічно безпечнішим – якщо воно вироблене за належними стандартами якості та сертифіковане. При його спалюванні знижуються викиди сірки та утворюється менше золи. Остання, до того ж, при правильному використанні може бути застосована як добриво для агрокультури.

Останнім часом відбулися помітні зміни в енергетичній галузі України, зокрема у сфері відновлюваних джерел енергії, а також індивідуального та централізованого теплопостачання. Все більшого значення набувають питання енергетичної безпеки країни, зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв, перш за все природного газу.

Таким чином, Україна має нагальну потребу у переході до відновлюваної енергетики, яка в змозі розширити діапазон доступних джерел енергії, зміцнити енергетичну безпеку країни.

Мета дослідження – підвищення ефективності виробництва сільськогосподарської продукції за рахунок обґрунтування та впровадження

технологічного процесу та технічних засобів для конверсії органічної сировини рослинного походження в тверде біопаливо.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес отримання паливної гранули із залишків рослинної біомаси та машини, що забезпечують його виконання.

**Предмет дослідження** – властивості паливної гранули отриманої біомаси рослинного походження, взаємозв'язок конструктивних параметрів матриці для формування паливної гранули.

**Науковою проблемою** є те, що існуючих закономірностей недостатньо для визначення конструкційно-технологічних параметрів машин та обладнання для підвищення ефективності виробництва й використання твердих біопалив шляхом удосконалення й оновлення екологічно безпечних технологічних процесів, засобів механізації та устаткування.

#### **Задачі дослідження:**

Перспективним є використання пелет для отримання теплової енергії, для цього необхідно розробити та дослідити параметри процесу ущільнення сировини в грануляторі.

Визначити конструктивно-технологічні параметри матричного гранулятора в лівні виробництва гранульованого біопалива.

Визначення оптимальних значень параметрів робочих органів машин та обладнання в технологічних процесах конверсії органічної сировини в сільськогосподарському виробництві під час їх удосконалення, випробування та експлуатації потребує обґрунтування узагальненого кількісного критерію, без якого неможливо провести відповідну оптимізацію.

**Обґрунтування процесу та вибір обладнання для виробництва паливних гранул**, потребує обґрунтування комплексу техніко-технологічного забезпечення для заготівлі, транспортування та зберігання рослинної сировини, що використовується як біологічне паливо; удосконалення обладнання для отримання твердого палива; удосконалення обладнання для підготовки

паливної рослинної сировини шляхом виробництва паливних гранул, із використанням відходів переробки сільськогосподарської сировини.

## Розділ 1 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ В ЯКОСТІ БІОЛОГІЧНОГО ПАЛИВА В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

При використанні біопалива в умовах аграрного підприємства постає актуальне питання про те, яку кількість органічної сировини необхідно використати як біопаливо та як вірно її використати. Тобто, мова йде про пряме використання органічної сировини, чи про конверсію такої сировини – у тверде, рідке чи газоподібне біопаливо [26, 27]. Сучасне аграрне підприємство має бути обладнано для реалізації чотирьох основних напрямків виробництва, а саме: рослинництво, тваринництво, переробка продукції рослинництва й тваринництва та виробництво біопалива (рис. 1.1) [28, 29, 30].



Рисунок 1.1. Місце виробництва та використання біопалива у виробничій діяльності сільськогосподарського підприємства



Для високої результативності використання біопалива в господарстві, необхідно узгоджувати потенціал органічної сировини та матеріально-технічної бази з врахуванням потреб суміжних галузей.

Оцінити вплив на енергетичну автономність аграрного підприємства можна здійснивши порівняльну оцінку загального еколого-економічного ефекту. Також можна обчислити потенціал доступної органічної сировини та обрати раціональні шляхи її конверсії в біопаливо.

Алгоритм регулювання процесів переходу рослинної біомаси аграрного походження і можливої кількості органічної сировини для конверсії в енергоресурси можна представити у вигляді двох підсистем. Перша з них спрямована на вирішення питання стосовно кількості рослинної біомаси аграрного походження, яку в подальшому буде використано в процесі переробки. Друга – це вирішення питання безпосередньо переробки органічної сировини. Першу підсистему можна умовно позначити як «потенціал органічної сировини», а другу – «способи виробництва та використання біопалива».

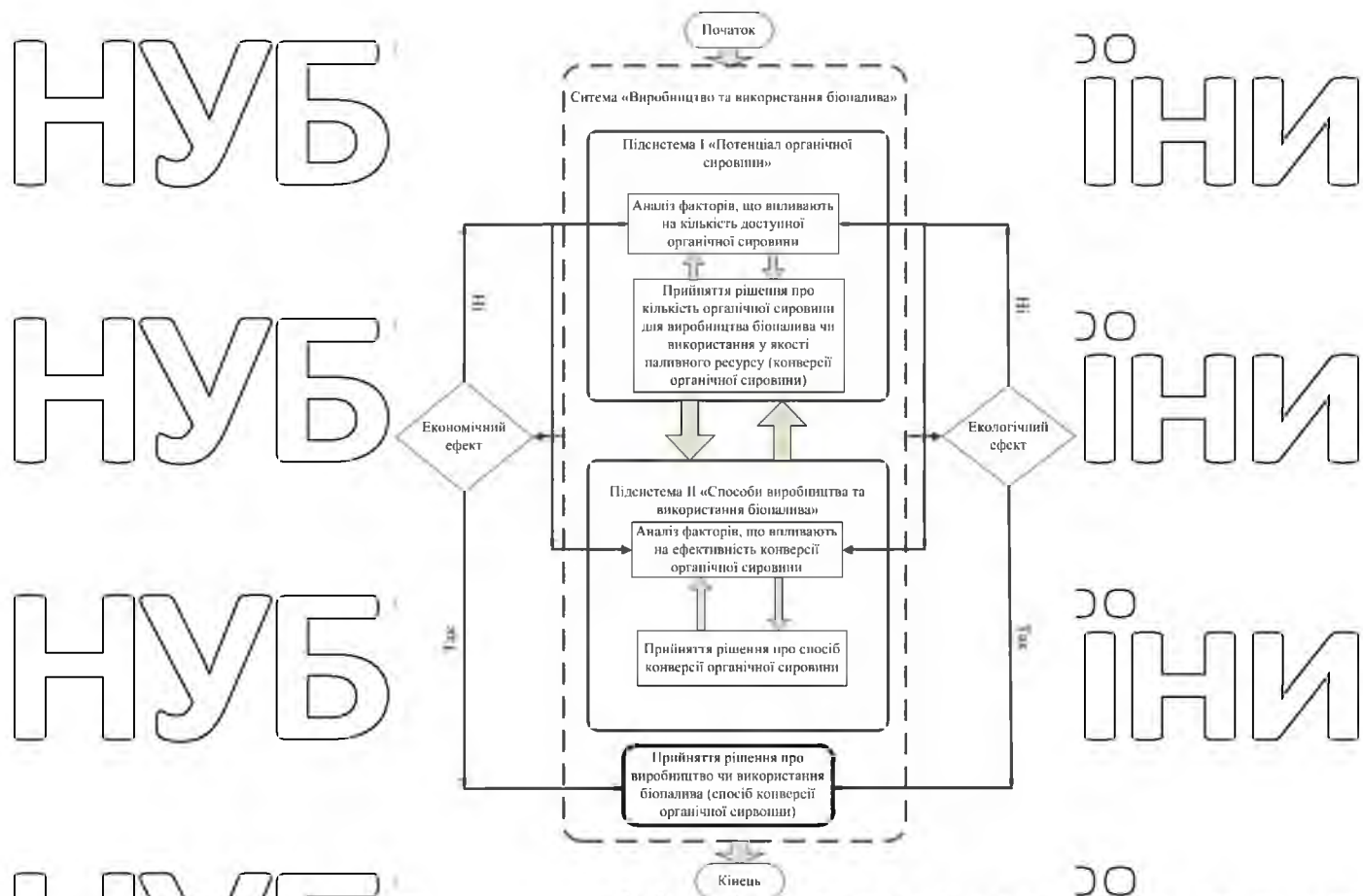
Кожна з цих підсистем потребує реалізації таких послідовних кроків. На першому кроці необхідно проаналізувати зовнішні та внутрішні чинників, які безпосередньо впливають на кількість доступної біомаси для першої підсистеми; та чинників, які впливають на ефективність процесу переробки – для другої підсистеми. Наступним кроком є реалізація рішень щодо кожної із підсистем. Між першим та другим кроками існує зворотній зв'язок. Тобто, кожний з факторів аналізу впливає на те, яке рішення буде прийнято. Прийняті рішення, навпаки, впливають на зміну показників, що використовуються при аналізі. Отже, буде можливим здійснювати регулювання процесу переробки рослинної біомаси сільськогосподарського походження з метою отримання максимального економічного ефекту та покращення екологічних параметрів виробничої діяльності.

Організація якісного взаємозв'язку між підсистемами «потенціал органічної сировини» та «способи виробництва та використання біопалива»

дозволяє коригувати необхідну кількість біомаси, що використовується у процесі переробки, в залежності від ситуації на ринку біоенергоресурсів. Це також дозволяє вірно прийняти рішення про спосіб переробки в залежності від кількості отриманої органічної сировини. Графічно пропонований алгоритм представлено на рис. 1.2.

Для першої підсистеми – потенціал органічної біосировини для переробки – на етапі аналізу потенціалу можливої рослинної біомаси аграрного походження для переробки оцінюється: наявність ресурсно-технічного, сировинного потенціалу; потреби органічної сировини в галузі рослинництва та тваринництва. На етапі прийняття рішень про можливість конверсії органічної сировини оцінці підлягають: виділення площ на вирощування органічної сировини; впровадження технологій, нової техніки, нових агротехнічних прийомів; рішення про частку органічної сировини для власних потреб та частку для конверсії в енергоресурс (рис. 1.3).

Якщо потенціал побічної продукції не задовольняє потреби господарства, то приймається рішення про відхилення від реалізації зазначеного проекту щодо переробки. Приймається рішення щодо можливості покращення сировинного, технічного потенціалу для здійснення процесу переробки в майбутньому. До заходів покращення сировинного потенціалу, наприклад зернових культур, можна віднести організаційно-технологічні заходи вирощування зернових культур, які включають в себе: організацію структури посівних площ, сівозміни, обробіток ґрунту, удобрення, агротехнічні терміни. Такі заходи спрямовані в першу чергу на максимізацію потенціалу сільськогосподарських рослин і, як наслідок, отримання високих урожаїв основної та побічної продукції [18].



Рисунг 1.2. Алгоритм регулювання використання органічних ресурсів у виробництві біопалива

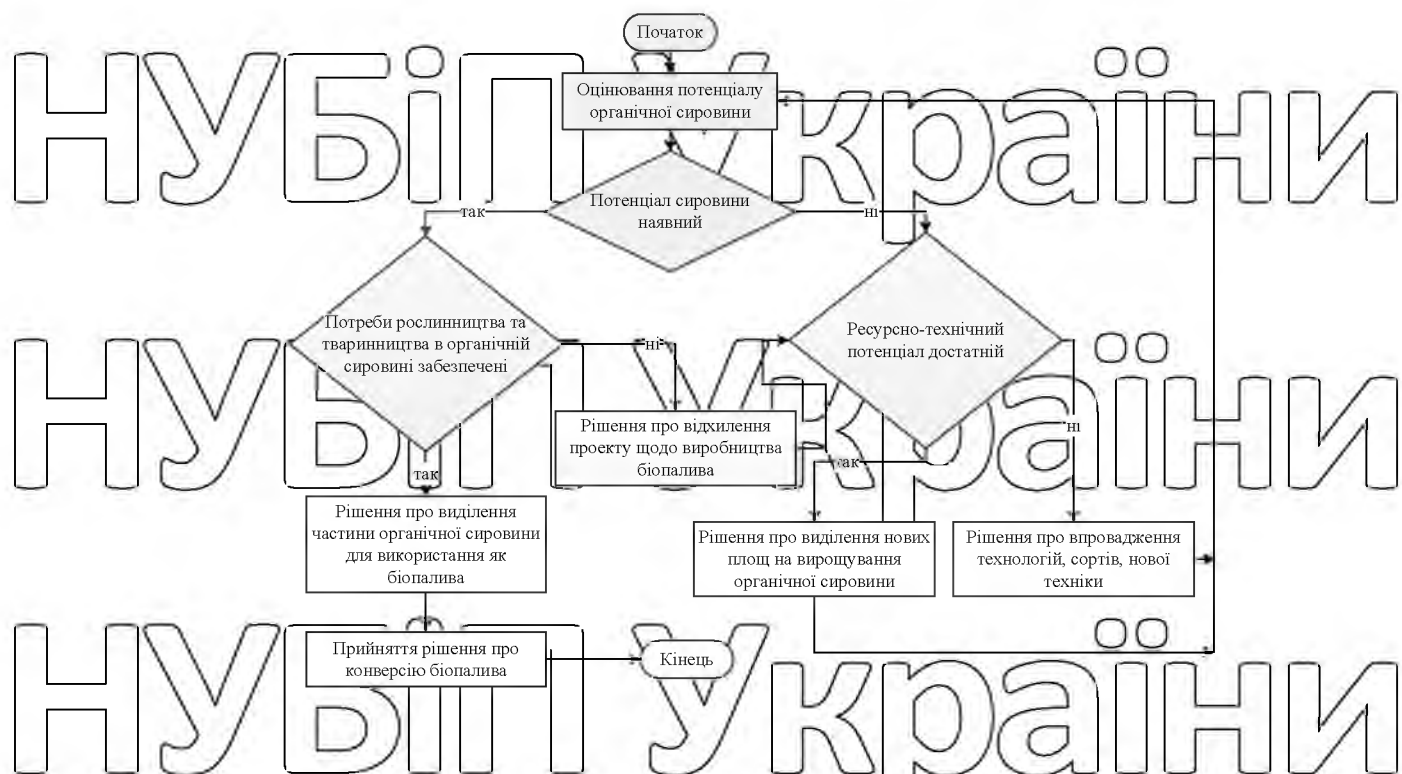


Рис 1.3. Алгоритм прийняття рішення про можливість конверсії

органічної сировини

НУБІП України

За умов позитивного результату проведеної оцінки потенціалу органічної сировини для переробки задовольняються потреби підприємства, можна продовжувати процес та переходити до здійснення другого кроку – прийняття

НУБІП України

рішення щодо можливості переробки. Обов'язково визначається частка органічної сировини для власних потреб, частка для переробки в енергоресурс із врахуванням можливого економічного та екологічного ефекту. За умови, що

НУБІП України

частка органічної сировини для власних господарських потреб менша встановлених норм, підприємство має відмовитись від виділення частки для

енергоресурсу, незважаючи на економічні переваги. Якщо задоволення власних потреб господарства органічною сировиною та наявної частки для можливого

використання як енергоресурсу здійснюється перехід до другої підсистеми

НУБІП України

алгоритму дій щодо виду переробки біомаси сировини. Для другої підсистеми – вибір виду переробки органічної сировини – на етапі аналізу здійснюється оцінка: способів конверсії, їх економічних та технологічних показників; ринку біопалива; ефективності використання

біоресурсів для власних потреб. На другому кроці передбачається прийняття

НУБІП України

рішень щодо вибору виду процесу конверсії та способу реалізації біопалива власного виробництва (рис. 1.4).

Отже є необхідність регулювання використання органічної сировини для виробництва біопалива в умовах сільськогосподарського господарства. Так, як

НУБІП України

необхідне збалансування потреб у виробництві продукції, для задоволення харчових, сировинних, енергетичних потреб суспільства та можливостей агроекосистеми.

НУБІП України

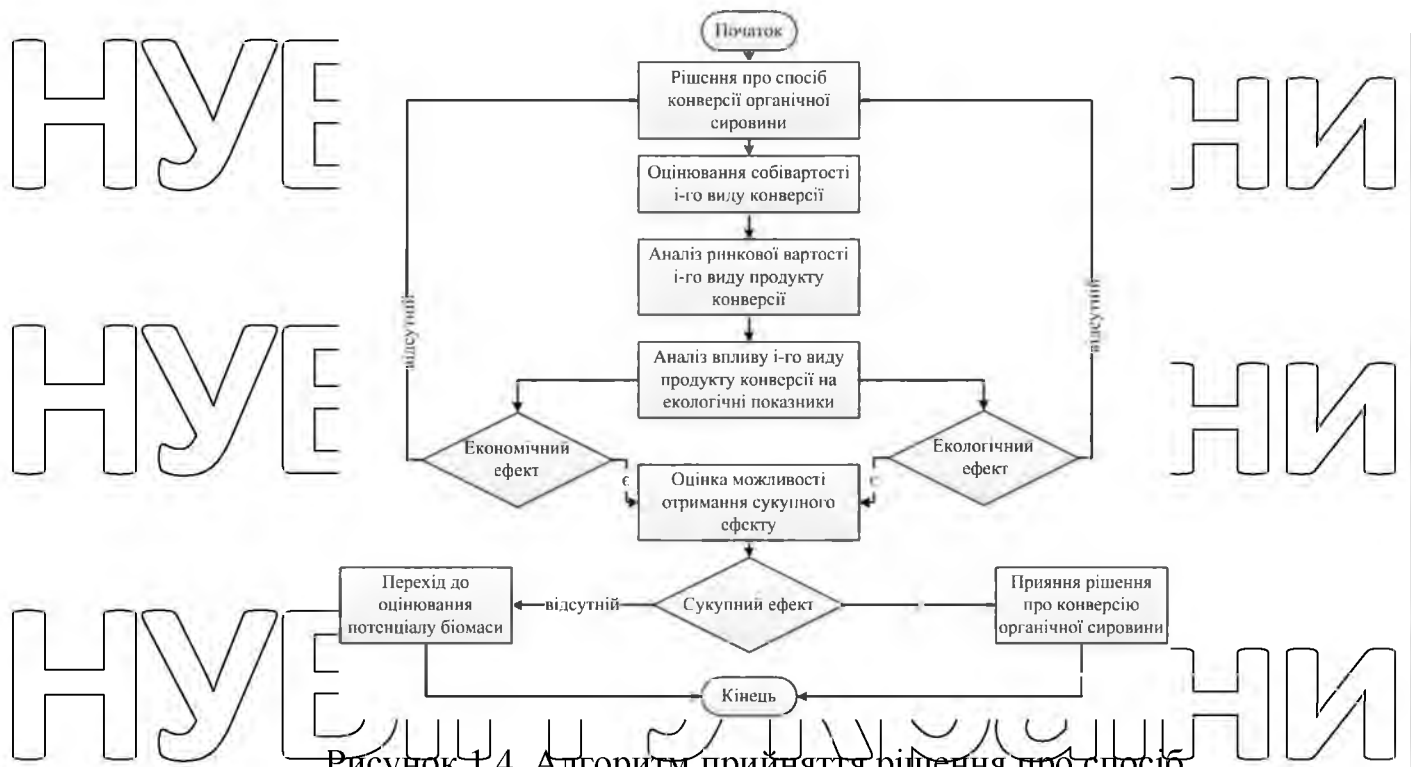


Рисунок 1.4. Алгоритм прийняття рішення про спосіб конверсії органічної сировини

Використання даних алгоритмів дозволяє чітко визначити потенціал органічної сировини, що доступний для переробки. Визначити напрямки використання органічної сировини, як енергоресурсу. Що, в свою чергу дозволяє сформувавши ефективний техніко-технологічний потенціал з огляду на енергетичну автономність аграрного господарства.

Розглянемо склад типової агроекосистеми (рис. 1.5). Така система передбачає вирощування культур у відповідній сівозміні [38]; виробництво основної продукції рослинництва та тваринництва; виробництво кормів для тваринництва та птахівництва; виробництво тепла та енергії із біогазу отриманого в результаті зброджування продуктів життєдіяльності тварин та птиці; підготовка та використання деякої частки незернової частини урожаю на теплові потреби у вигляді пеллет, брикетів, рулонів або січки; виробництво компосту, з використанням відходів конверсії органічної сировини; виробництво рідких біопалив – дизельного та етанолу.



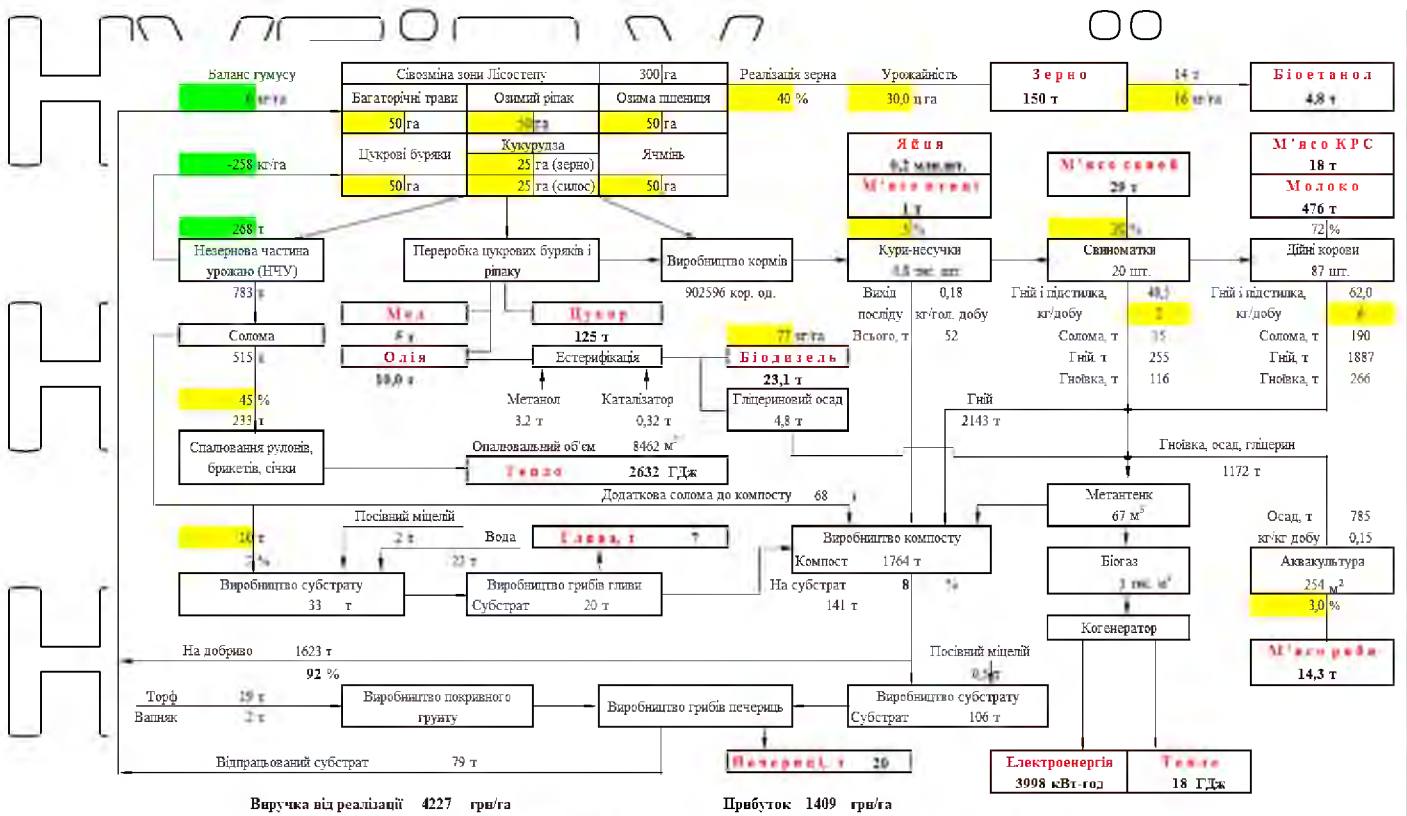


Рисунок 1.5. Структурна схема моделі агроекосистеми

Для визначення потенціалу доступної для енергетичного використання органічної сировини слід дотримуватись певних умов, які повинні враховувати дотримання позитивного балансу гумусу, обмеження розміру виділеної посівної площі під відповідні культури, обмеження наявних грошових ресурсів, що можуть бути використанні в рослинництві, забезпечення тваринництва побічною продукцією рослинництва.

За показниками, що характеризують аграрне виробництво упродовж останніх років, було обчислено граничні обсяги рослинної біомаси (соломи), яку можна використати на теплові потреби. Ця залежність визначена у відсотках до загальної кількості соломи, має такий вигляд:

$$Q_c = Q_N - (0.6G + 40) \quad (1.1)$$

де  $G$  – річний дефіцит гумусу, кг/га,  $Q_N$  – врожайність незернової частини, кг/га.

Отже, за загальним дефіцитом гумусу в більше 67 кг/га, використання соломи на теплові потреби неможливе через недотримання умови позитивного балансу гумусу. Гранічний обсяг соломи, яку можна використовувати на теплові потреби, за нульового балансу гумусу, становить близько 40 %.

Аналіз структурних схем сільськогосподарського виробництва встановлює межі використання біоенергопереробки в агроекосистемах з використанням біопалив та дає змогу забезпечити часткову автономність виробництва із збереженням родючості ґрунтів (табл.1.1).

Таблиця 1.1.

Потреба і виробництво палива та енергії при бездефіцитному балансі гумусу

Вид палива та енергії	Потреба				Фактичні можливості виробництва	Надлишок або недостатня кількість (-)	
	питома		загальна				
<b>Теплова енергія для:</b>							
сушки зерна	0,16	ГДж/т	26	ГДж			
опалення виробничих приміщень	0,1	ГДж/гол.	15333	ГДж			
опалення побутових приміщень	0,3	ГДж/м <sup>3</sup>	1200	ГДж			
			Всього 16559	ГДж	2668	ГДж	-13891 -521 ГДж %
<b>Електроенергія для:</b>							
очистки і сушки зерна	3,8	кВт год./т	1	тис. кВт год.			
потреб тваринництва	22	кВт год./гол.	3373	тис. кВт год.			
виробництва біопалив	300	кВт год./тис. м <sup>3</sup>	23	тис. кВт год.			
			Всього 3397	тис. кВт год.	93		-3304 -97 тис. кВт год. %
<b>Загальний баланс енергії</b>					-3859	тис. кВт год.	-3304 тис. кВт год.
					13891	ГДж	11893,2 ГДж





# НУВІП УКРАЇНИ

Таким чином, необхідно знаходити додаткові резерви забезпечення енергетичної незалежності аграрного господарства. Це можуть бути, як зовнішні резерви: використання геліоколекторів та вітроелектростанцій. Так і внутрішні: вибір раціональних технологій вирощування та виробництва, мінімізація питомої енергомісткості машин та обладнання з урахуванням якісних показників їх роботи

Технологічний процес спалювання соломи потребує технічного забезпечення, частина із якого в даний час наявна в господарствах (трактори, навантажувачі), а частина потребує придбання. Додаткові капіталовкладення необхідні на придбання обладнання для брикетування соломи, прес-підбирачів та перевізників рулонів, а також обладнання для спалювання соломи (котли та теплогенератори). При орієнтуванні на виробництво твердого біопалива із біосировини рослинного походження використовують відповідні технології вирощування та збирання.

Як показують окремі дослідження ефективність використання незернової частини урожаю в якості енергоносія значною мірою залежить від витрат при збиранні соломи [6]. Так збільшення витрат на 20 % спричиняє зростання вартості енергоносія на 10-15 %. В Україні поширення набули такі технології збирання соломи зернових культур: подрібнення зернозбиральним комбайном, транспортування тракторними причепами, скиртування з формуванням скирти; копнування зернозбиральним комбайном, стягування тросовою волокушею на край поля, скиртування, валкова технологія збирання соломи.

Досить часто застосовують валкову технологію, основною перевагою якої є можливість закладання соломи під накриття, що дозволяє підвищити якість процесу підготовки соломи до спалювання та зменшити транспортні витрати. В Україні для заготівлі пресованої соломи використовують як правило причіпні преспідбирачі рулонного типу власного виробництва та імпортовані із

Білорусії. Тюкування значно зменшує об'єм соломи та дозволяє механізувати ряд операцій при складуванні та транспортуванні соломи, обслуговуванні котлів.

Дослідження економічної ефективності збирання соломи вказують, що найменші капіталовкладення та приведені затрати отримані при збиранні соломи в рулони [6]. Так, капітальні вкладення та приведені затрати на збирання зернової частини можна представити в графічному вигляді, відобразивши найбільш затратний метод, як 100 % (рис. 1.6). Як видно з наведених даних, найбільш доцільною з точки зору збирання є технологія пресування соломи зернових у рулони пресом українського виробництва. Застосування фіксації форми рулонів сіткою полегшує їх енергетичне використання.

Після формування тюків, рулонів їх навантажують на транспортні засоби та доставляють до місць зберігання. Спосіб збереження впливає на якість соломи. Зберігання соломи може проводитися різними способами: під накриттям, під брезентом, під пластиковою плівкою, під відкритим небом. При збереженні в стогах під відкритим небом біля 10 % соломи стає непридатною для енергетичного зберігання [7]. Зберігання під накритті за «голандським» методом приводить до погіршення якості соломи, адже вологість верхнього шару 0,5 м при цьому зростає до 25 %, та зменшення її вартості.

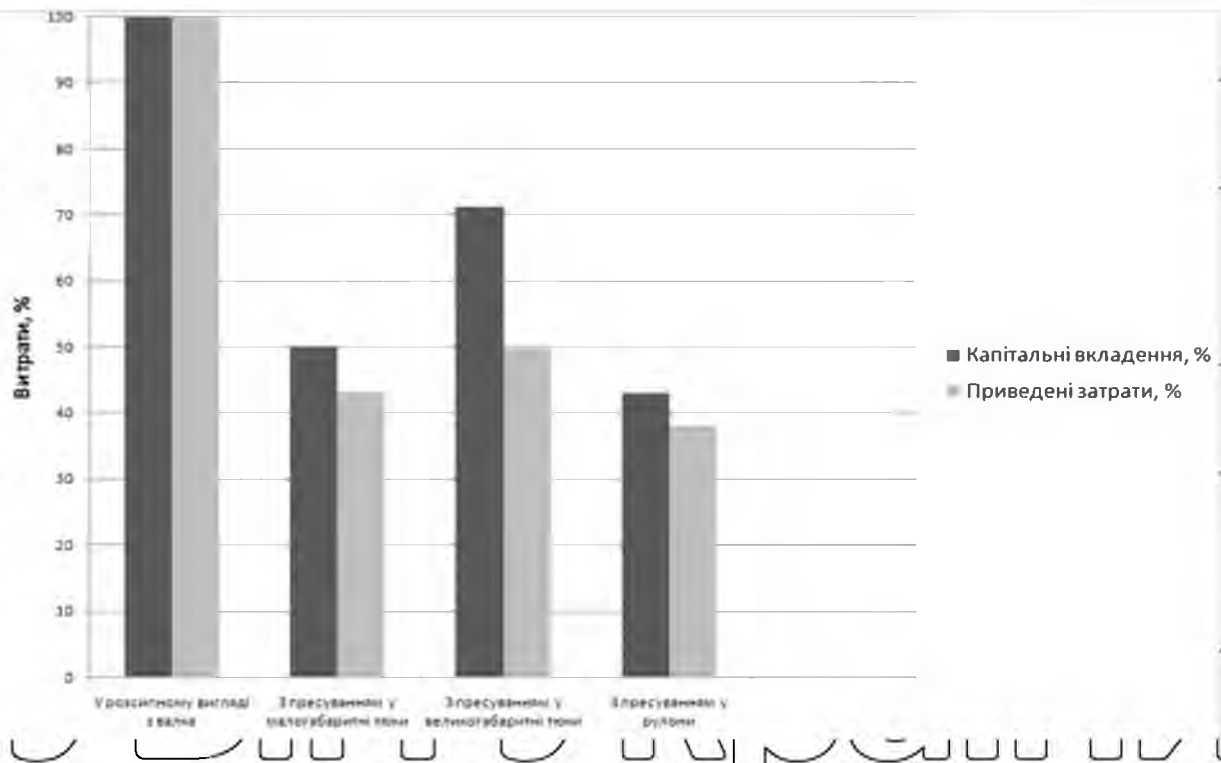


Рисунок 1.6. Порівняльна характеристика технологій збирання незернової частини (соломи) зернових культур

Враховання вищенаведених витрат для визначення вартості соломи зернових культур передбачає нормативний метод. Оскільки солома містить дуже багато калію, то ціна на неї може варіюватись відповідно до вмісту в ній калію і порівняно з відповідними цінами на мінеральні добрива.

Вартість побічної продукції як сировини для виробництва енергії, необхідно обчислювати, порівнюючи з мазутом або газом, прийнявши до уваги, що теплотворна здатність соломи (4,7 кВт/кг) майже вдвічі нижча за теплотворну здатність мазуту та газу (10 кВт/л та 9 кВт/м<sup>3</sup> відповідно). Проте ці методи знайшли більше застосування в зарубіжних країнах, зокрема в Німеччині [8]. В Україні вони не використовуються, так як відсутня відповідна інформаційна та статистична бази для їх обчислення.

**Висновок до розділу.** Вирішення інженерних проблем щодо виробництва й використання біопалив дозволяє отримати досвід, наукові напрацювання та визначити закономірності необхідних конструктивно-технологічних параметрів машин та обладнання, зменшити закупівлі непоновлених викопних видів палива, підвищити рівень зайнятості працівників аграрного комплексу за

рахунок створення додаткових робочих місць для виробництва біологічних видів палива, покращити екологічний стан природного середовища шляхом зменшення викидів токсичних речовин та парникових газів. Це дозволяє підвищити рівень енергетичної незалежності сільського господарства, узгодити взаємозв'язки між суміжними галузями сільськогосподарського виробництва, щодо використання органічної сировини.

## Розділ 2. АНАЛІЗ ОСНОВ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ БІОМАСИ

### 2.1. Фізико-хімічні основи ущільнення зернистих і волокнистих матеріалів

Ущільнення матеріалів під час їх гранулювання здійснюється шляхом пресування, фізична суть якого зводиться до зближення і зчеплення частинок твердої фази, тобто до ущільнення і зміцнення розпушеної біомаси шляхом механічного тиску.

Як характеристика гранулювання біомаси використовується ступінь ущільнення  $K_{CH}$ , що є відношенням об'єму  $V_0$  порції матеріалу для пресування до об'єму  $V_G$  отриманої гранули:

$$K_{CH} = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{V_G \cdot \rho_G}, \quad (1)$$

де  $V_0$  – об'єм порції матеріалу до пресування, м<sup>3</sup>;  $V_G$  – об'єм порції матеріалу після пресування, м<sup>3</sup>; де  $\rho_0$  – щільність порції матеріалу до пресування, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_G$  – щільність порції матеріалу після пресування, кг/м<sup>3</sup>.

Для опису внутрішнього механізму процесу ущільнення і розкриття дійсних причин, що обумовлюють ефект зчеплення частинок в моноліт, існує декілька теорій – каплярна, колоїдна, молекулярна тощо.

Найбільше визнання отримала молекулярна теорія, розроблена В.М. Наумовичем на основі термодинамічної теорії прилипання Б.У. Дерягіна. Згідно останньої, основна причина з'єднання твердих частинок між собою вбачається в явищі прилипання. Згідно цієї теорії наявність сил молекулярного тяжіння між атомами і молекулами приводить до появи сил між макроскопічними тілами, аналогічних силам прилипання. Підвищення тиску сприяє зміцненню моноліту за рахунок усунення повітряних пор і порожнеч та збільшення площі контакт в між частинками, що приводить до зростання сил молекулярного прилипання. При досягненні тілом безпористого стану подальше збільшення тиску стає неефективним.

На рис. 2.1 представлена діаграма Р. Румпфа, що характеризує дію різних форм зв'язків між частинками залежно від їх розмірів.

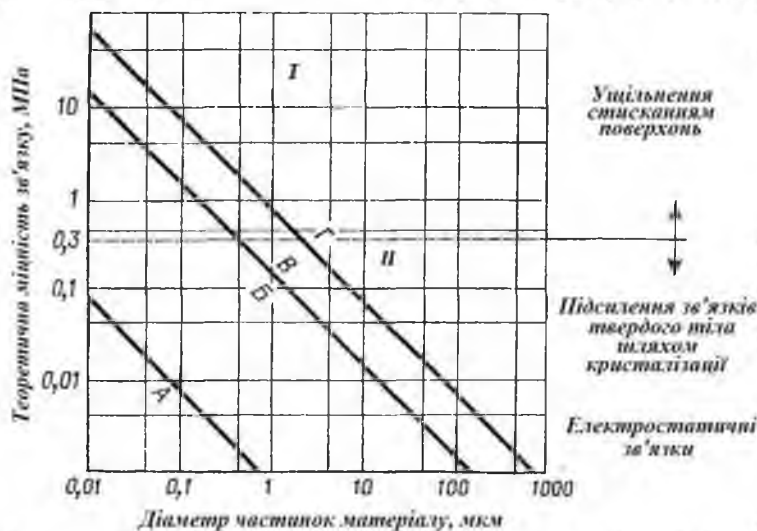


Рисунок 2.1. Теоретична міцність і характер зв'язку частинок залежно від їх розмірів (за Р. Румпфом) [43]

Зона I відображає умови пресування при гранулюванні. Вона характеризує механічні зв'язки, що виникають при стисканні поверхонь і

адгезійні зв'язки від зв'язуючих речовин. У даній зоні міцність зв'язків залежить, головним чином, від прикладеного тиску, а не від розмірів частинок.

В зоні II зв'язки слабші. Вони створюються між твердими частинками містками кристалізації солей з розчинів. Тут міцність зв'язку в деякій мірі зростає при зменшенні розмірів частинок. Ця частина діаграми відображає умови процесу гранулювання вологим способом і окочування, при яких після сушки гранул виникають міцні зв'язки в результаті кристалізації солей.

На ділянці А для частинок діаметром менше 1 мкм міцність зв'язків визначається силами Ван дер Ваальса. Ділянка Б дійсна для сумісної дії вандерваальсових сил і зв'язків від сорбційних плівок вологи. Порівняно вузька ділянка В характеризує міцність зв'язків від капілярних сил, що діють в мікрокапілярах з радіусом від  $10^{-3}$  мкм і менше. На ділянках Г і вище можливі зв'язки, що виникають від спікання або дії в'язких речовин [43].

Гранулюванням називається формування твердих часток (гранул) визначених розмірів і форми з заданими властивостями. Гранулювання може здійснюватись методом окочування, диспергування рідин, пресування та екструзії (рис. 2.2).

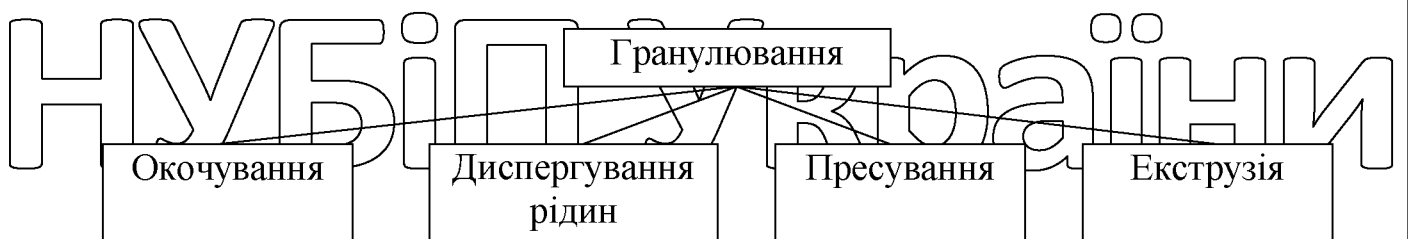


Рисунок 2.2. Класифікація технологій гранулювання

**Окочування** включає наступні стадії:

- змочування часток матеріалу сполучником (водою, сульфітно-спиртовою бардою, сумішами з водою вапна, глини, шлаків та інших в'язких матеріалів), у результаті чого утворюються окремі грудочки-агломерати часток і відбувається нашарування дрібних часток на більші;
- ущільнення агломератів у шарі матеріалу.

**Диспергування рідин (розплавів)** здійснюється на поверхню твердих часток з наступним охолодженням крапель чи кристалізацією тонких плівок рідини на поверхні твердих часток під час сушіння.

**Пресування** – одержання гранул у формі брикетів, плиток, таблеток шляхом ущільнення сухих порошоків.

**Екструзія** – утворення гранул шляхом продавлювання пластично-в'язкої маси за допомогою шнека через голівку екструдера з послідовним розрізуванням чи подрібненням матеріалу.

Подрібнений матеріал обробляють паром чи змішують з водою, подають на обертову перфоровану матрицю, видавлюють через її отвори і розрізають на гранули ножами [44].

Саме екструзією отримуються паливні гранули.

## 2.2. Технологія виробництва пеллет та брикетів із соломи

Такий вид твердого біопалива, як пеллети та брикети, може вироблятися з тирси, стружки, соломи, лушпиння. Технологічні особливості виробництва пеллет та брикетів залежать від виду біомаси, з якої їх виготовляють. Проте основні етапи виробництва є однаковими для всіх видів пеллет (рис. 2.3). До них належать:

- заготівля, транспортування та зберігання біомаси, що буде використовуватися для виробництва пеллет;
- підготовка біомаси (подрібнення, сушіння);
- виготовлення пеллет (пресування подрібненої, висушеної біомаси за допомогою спеціальних грануляторів);
- сепарація та охолодження пеллет;
- пакування пеллет;
- зберігання готової продукції.





Рисунок 2.1. Технологічний процес виготовлення пеллет з соломи

Слід зазначити, що заготівля соломи найбільш ефективно здійснюється із застосуванням пресування в рулони або тюки. Фіксація форми рулонів сіткою полегшує їх транспортування та подальше використання для енергетичних потреб. Солому (якщо це необхідно) спершу підсушують до стандартного рівня вологості, а потім гранулюють.

Енергетична цінність соломи залежить, передусім від її вологості, а також від хімічного складу, що залежить від типу соломи (зернові, ріпак, тритикале тощо) та умов вегетації рослин. Солома містить велику кількість хлору та азоту, тобто елементів, які в процесі спалювання можуть зумовлювати підвищену емісію оксидів азоту. Кремній та калій, що містяться в соломі, посилюють зашкани нагару на колосниках топків котлів. Тому вологість соломи, призначеної для енергетичних цілей, має бути в межах 10-20%. Її енергетична цінність становить 14-15 ГДж/т. Слід зазначити, що перебування соломи на полі після комбайнового збирання зумовлює зниження її вологості, а також сприяє вимиванню хлору та калію, що позитивно впливає на стан ґрунту (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Вплив вологості на теплоту згорання біомаси

Матеріал	Спосіб висушування	Вологість, %	Теплота згорання,
----------	--------------------	--------------	-------------------



			МДж/кг
Солома зернових	одразу після збирання	15-20	12-15
	висушена на повітрі	14-17	14-15
Солома ріпакова	одразу після збирання	30-40	10-12
	висушена на повітрі	17-20	14-15
Стебло кукурудзи	одразу після збирання	45-60	5-8
	висушена на повітрі	15-18	15-17

Важливою характеристикою даного виду біомаси є її щільність. Звичайні сухі біологічні матеріали мають невисоку щільність порівняно, наприклад, з вугіллям. Тому важливо звернути увагу на технологію приготування біомаси до спалювання (табл. 2.2), яка зумовлює конструктивно-технологічне виконання теплотехнічного обладнання та впливає на економічні показники його роботи.

Таблиця 3.2.

### Характеристика твердих видів біопалива в залежності від технології їх приготування до спалювання

Вид соломи	Об'ємна маса (щільність), кг/м <sup>3</sup>	Питомий об'єм, м <sup>3</sup> /т	Питома енергомісткість, МВт/м <sup>3</sup>
Звичайна солома	20-50	20-50	0,7-0,16
Модрібнена солома (січка)	40-60	16-25	0,13-0,19
Великі прямокутні паки	70-130	7,7-14	0,23-0,43
Круглі паки	60-90	11-16	0,19-0,29
В'язанки	50-110	9-20	0,16-0,36
Брикети	300-450	2,2-3,3	0,99-1,48
Пеллети	350-500	1,9-3,0	1,1-1,6

Як свідчать дані табл. 2.2., найбільш вигідним видом твердого палива із соломи є пеллети. Проте необхідно дотримуватися вимог щодо якості сировини та технології приготування, які визначають якість пеллет. Можливість здійснення якісних технологічних перетворень залежить також від конструкційно-технологічних характеристик теплотехнічного обладнання, що

використовується для виробництва пеллет. Тому технології та обладнання слід вибирати особливо ретельно.

Технологічний процес отримання паливної гранули з твердої біомаси рослинного походження

Попереднє подрібнення здійснюється для якісного сушіння сировини та підготовки його до кінцевого подрібнення. Для отримання матеріалу розміром до  $25 \times 25 \times 25$  мм деревину, що подається транспортером 1, послідовно пропускають через дві молоткові дробарки 2 і 3. Після цього зрубки деревини пневмотранспортером 4 подають до бункера звідки вони шнековим та стрічковим транспортерами направляються до барабанної сушарки 7.

Сушіння. Деревні відходи з вологістю понад 15% дуже погано піддаються пресуванню, особливо, якщо прес оснащений круглими матрицями, а гранули з підвищеною вологістю не можна використовувати, оскільки вони не відповідають стандарту якості продукції. Саме тому умовою подальшого пресування сировини є її вологість в межах 8-10%. Після сушіння вирубки сировина пневмотранспортером 8 подається на кінцеве дроблення.

Кінцеве дроблення. У прес-гранулятор сировина повинна заходити з розмірами частинок не більше 4 мм. Тому дробарка 9 подрібнює сировину до необхідних розмірів, після чого вона пневмотранспортером 8 подається в бункер-накопичувач 10.

Змішування, кондиціонування (витримка сировини при додаванні пари).

Умовою отримання якісного продукту є контроль вологості сировини під час пресування, оскільки часточки, які мають показник вологості 8% погано склеюються між собою при отриманні гранул. Сировина через дозатор 11 за допомогою шнекового транспортера 12 подається на шнековий змішувач 24, куди також подається гаряча вода або пара. Після цього суміш подається в прес-гранулятор 13, де відбувається виробництво паливних гранул.

Охолодження і сушіння гранул. У процесі пресування сировина досягає температури  $70-90^{\circ}\text{C}$ . для досягнення якісного результату гранулювання,

необхідно збільшувати зусилля, яке в свою чергу має прямопропорційну залежність з температурою процесу та якістю продукту, який отримується.

Гранули за допомогою норії 15 подаються в охолоджувач 16. Пил, який їх супроводжує, вловлюється системою пилословлювання 17 за допомогою циклона і спрямовується на повторне використання.

Просіювання необхідне для відділення дрібної фракції, яка утворюється при технологічному процесі і переході до заключного етапу гранулювання кінцевого продукту до необхідних якісних показників. Після вібраційного сита 18 некондиційні гранули направляються на повторне використання.

Фасування. Кондиційні гранули за допомогою стрічкового транспортера 19 та норії 20 подаються в бункер готової продукції 21, а звідти йдуть на зважування та фасування в пакувальну машину 23 [14].

Технологія виробництва паливних гранул із сухих матеріалів (соломи) відрізняється від технології виробництва гранул із вологих матеріалів (деревини) відсутністю необхідності видаляти зайву вологу, оскільки вологість соломи становить 10-12%, а тому відпадає потреба в проведенні операції сушіння.

Оскільки виробництво пеллет в Україні є новою галуззю, яка, здебільшого, орієнтована на експорт, поширення набули стандарти виробництва пеллет, прийняті у Німеччині та Австрії (табл. 2.3).

Таким чином, виробництво твердих видів біопалива з органічної сировини рослинницького походження буде ефективним за умови дотримання технологічних вимог до процесу підготовки сировини для переробки та узгодження основних техніко-економічних характеристик усіх елементів лінії гранулювання. Сучасні види обладнання, призначеного для спалювання твердого біопалива, дають змогу використовувати різні способи термічної переробки біопалива (спалювання, газифікація, піроліз). Вибір лінії гранулювання та обладнання для спалювання має здійснюватися у кожному конкретному випадку з урахуванням параметрів устаткування та площі приміщення, для якого воно призначене.

## Вимоги окремих стандартів до якості вироблених пеллет

Норми якості для гранул (пеллет)	Одиниця виміру	Значення згідно із стандартом ONorm M 7135 (Австрія)	Значення згідно із стандартом DIN 51731 (Німеччина)
Діаметр, D	мм	4-10	4-10
Довжина	мм	5xD	<50
Густина (щільність)	кг/дм <sup>3</sup>	>1,12	1,0-1,4
Вміст вологи	%	<10	<12
Вміст золи	%	<0,50	<1,50
Теплота згоряння	МДж/кг	>18	17,5-19,5
Вміст сірки	%	<0,04	<0,08
Вміст азоту	%	<0,3	<0,3
Вміст хлору	%	<0,02	<0,03
Вміст пилу (стирання)	%	<2,3	-
Вміст допоміжних компонентів	%	<2	<2

Дані табл. 2.3 свідчать, що стандарти ONorm M 7135 є жорсткішими за стандарти DIN 51731.

### 2.3 Робочі органи обладнання для ущільнення біомаси на енергетичні цілі

Аналіз конструкцій робочих органів пресуючих машин дозволяє розділити їх на шість основних груп (рис. 2.2): поршневі, ролонні, транспортні, шнекові (екструдери), вальцеві і матричні. Для виробництва біопаливних гранул найчастіше застосовуються матричні преси, які поділяються на преси з круглою матрицею (може розміщуватися вертикально – рис. 2.2, 6 – і горизонтально – рис. 2.2, 7 – та з плоскою матрицею (рис. 2.2, 8). Біопаливні брикети виготовляють на поршневих (рис. 2.2, 1) і шнекових (рис. 2.2, 4) пресах. Вальцеві преси (рис. 2.2, 5) застосовуються для виробництва брикетів з мінерального палива (вугільний пил, відходи нафтопереробки тощо).

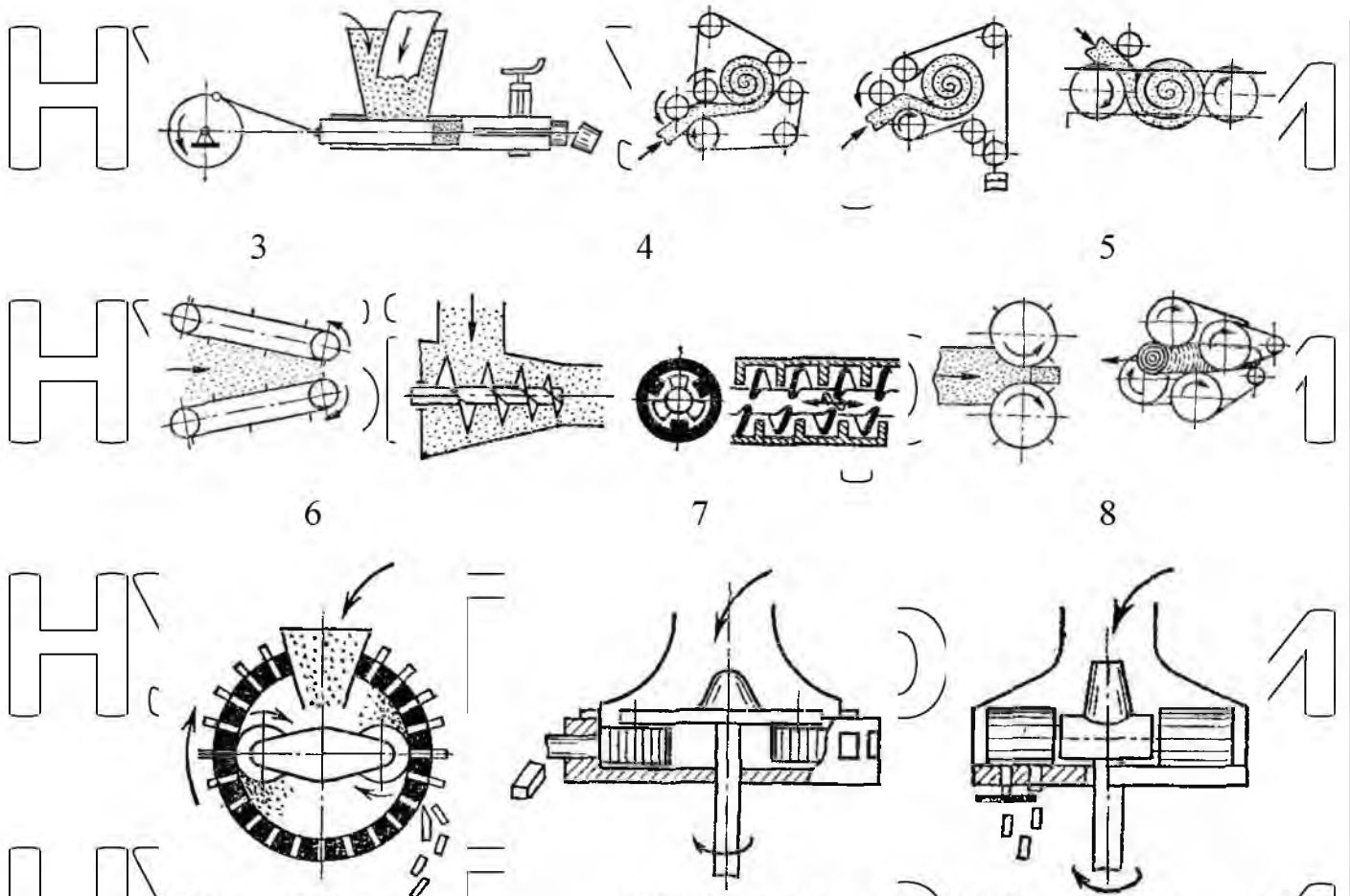
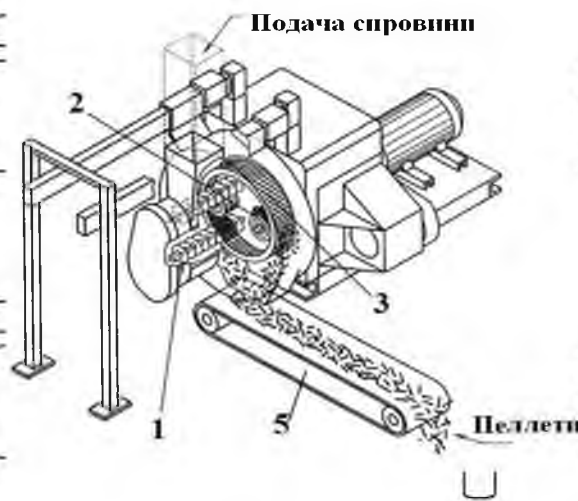


Рисунок 2.2. Типи робочих органів пресів для гранулювання біомаси [71]: 1 – поршневий; 2 – ролонні; 3 – транспортерний; 4 – шнекові; 5 – вальцеві; 6-8 – матричні

Паливні гранули (пеллети) з біомаси виготовляють на прес-грануляторах, основними робочими органами яких є ролик і матриця. Залежно від матриці гранулятори діляться на преси з круглою і плоскою матрицями. Принципова різниця між ними полягає в системі постачання сировини (в пресах з круглою матрицею необхідне примусове постачання сировини в барабан). Важливим питанням є чищення і зміна матриць та катків. Плоскі матриці в будь-яких умовах експлуатації можна прочистити шляхом просвердлювання отворів, а також легко зашліфувати при зносі, чого не можна зробити при іншій конфігурації матриці. Слід зазначити, що матриці (як круглі, так і плоскі) швидко зношуються.

Принцип роботи прес-гранулятора з круглою матрицею полягає в наступному. В круглу матрицю 3, шнеками 1 (рис. 2.3) подається сировина вологістю 8-10%. Матриця є великим кільцем із загартованої нержавіючої сталі з наскрізними отворами спеціальної форми. Вона приводиться в рух за допомогою прямого одноступінчатого зубчатого редуктора від електродвигуна. Усередині матриці розташовані два або три роликів 2, які не мають власного приводу. Вони обертаються навколо своєї осі завдяки руху матеріалу, який затирається між ними і внутрішньою поверхнею матриці.

а)



б)



в)

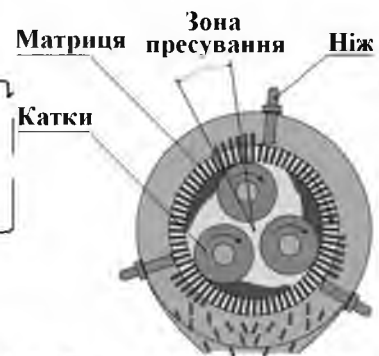


Рисунок 2.3. Принцип роботи прес-гранулятора з круглою матрицею [www.pellets.ru]. а – загальний вигляд прес-гранулятора з круглою матрицею; б – кругла матриця; в – схема роботи круглої матриці; 1 – шнек; 2 – каток; 3 – кругла матриця; 4 – ніж; 5 – стрічковий транспортер

Технологічно сировина потрапляє між внутрішньою поверхнею матриці й роликів та ущільнюється в отворах матриці. Під дією тиску від наступної

порції сировини, що безперервно надходить до камери гранулювання, сировина, яка потрапила в створі матриці, поступово просувається крізь них назовні. В результаті створюваного тиску матеріал в отворі матриці нагрівається до температури 100-120 °С. При такій температурі відбувається розм'якшення лігніну й інших речовин, що містяться в сировині або додаються спеціально (при необхідності). Спресована сировина під тиском проходить наскрізь через отвори матриці і з зовнішнього її боку зрізується нерухомим ножем 4, утворюючи гранули (пелети), що потрапляють на стрічковий транспортер 5 і видаляються.

В грануляторі з плоскою матрицею крутний момент електродвигуна через шнековий привід передається головному валу, з яким з'єднані ролики (рис. 2.4), які котяться нерухомою матрицею (існують варіанти з рухомою матрицею і нерухомими роликами). Ступінь притиску роликів регулюється за допомогою гідравліки або механічно. Сировина самопливом подається на нерухому матрицю, потрапляє в зону пресування під ролик і продавлюється через пресувальний канал. При цьому утворюється безкінечний джгут, із якого за допомогою ножа формується пеллета.

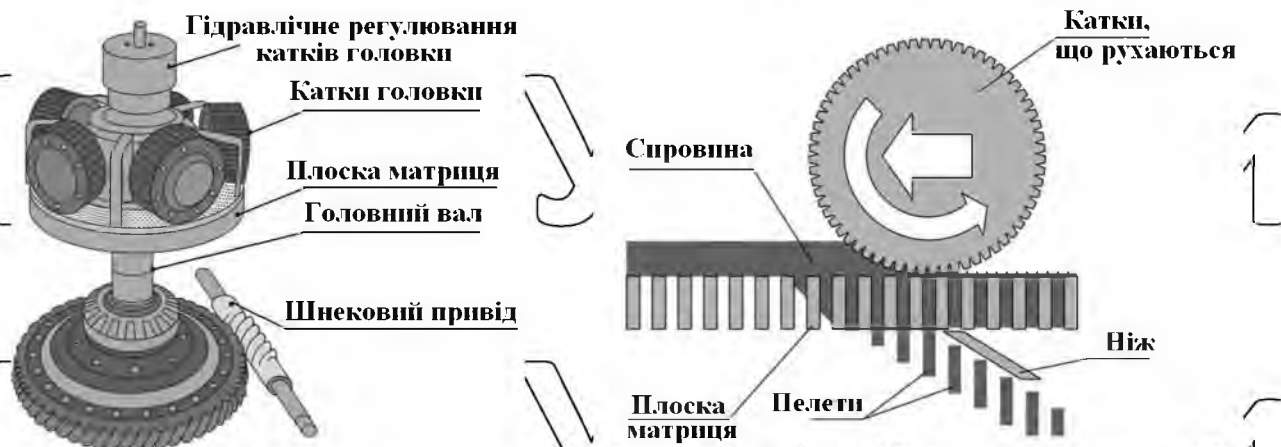


Рисунок 2.4. Принцип роботи прес-гранулятора з плоскою матрицею

[www.pellets.ru]

2.4 Аналіз технологічного обладнання для виробництва твердопаливних гранул



Вітчизняними науковцями розроблено технологічне обладнання для збирання і переробки біомаси. Зазвичай використовуються спеціалізовані установки з гранулювання біомаси (рис. 2.6, 2.7).



Рисунок 2.6. Обладнання ЕКО-БІО-100 для виробництва паливних гранул.

Основним елементом (машинною) лінії грануляції є гранулятор (прес), від характеристик якого залежать техніко-економічні показники всієї лінії (рис. 2.8, а, б, в). Після відповідної підготовки дозуючий шнек транспортує матеріал до преса. Спеціальні роліки, так звані пресувальні вальці, пресують матеріал, пропускаючи його через отвори кільцевої матриці (преса-гранулятора), що обертається. Пресувальні вальці рухаються по плоских матрицях. Шляхом зміни діаметра отворів, довжини каналу матриці преса, відстані між робочою поверхнею матриць та вальців, а також пресувального тиску можна отримати кінцевий продукт, який за якістю відповідає встановленим нормам. Після пропускання через матрицю пелети ріжуться на необхідну довжину, і, оскільки в процесі пресування вони нагріваються, їх охолоджують під дією навколишнього повітря в охолоджувачі. В результаті цього вони набувають необхідної твердості та міцності.



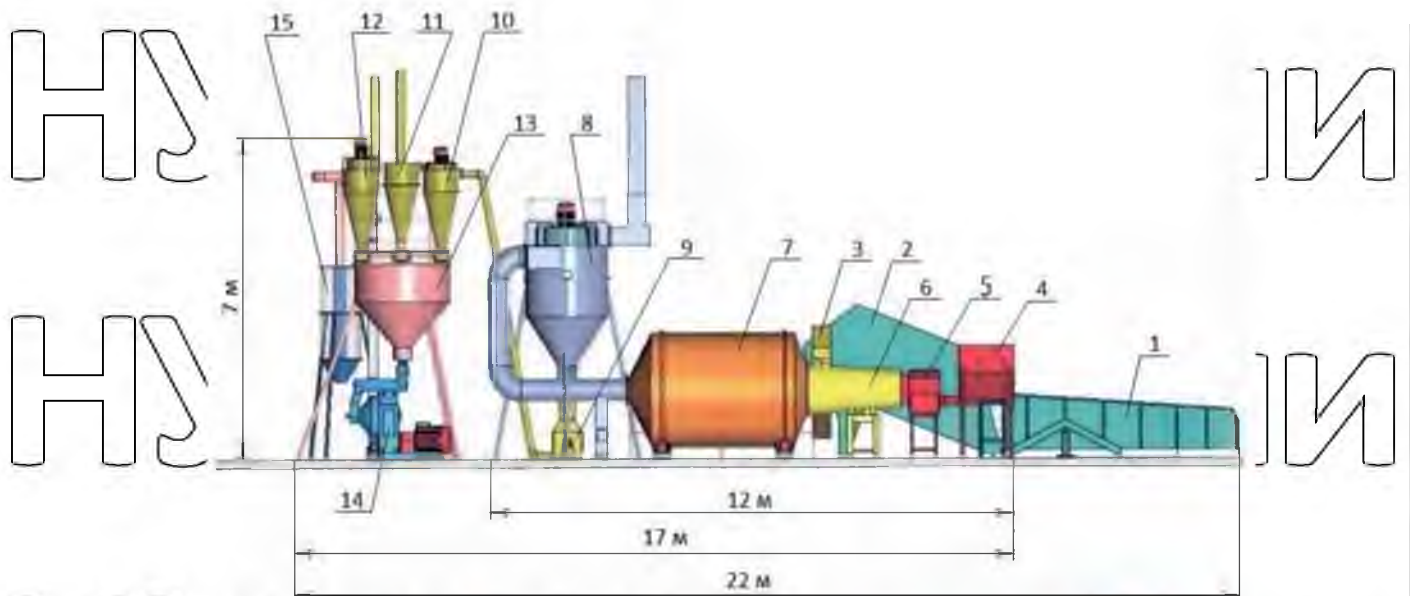


Рисунок 2.7 Лінія грануляції соломи на базі ОГМ-1,5

1 – завантажувач; 2 – поживник; 3 – транспортер; 4 – бункер-наповнювач; 5 – напилля; 6 – теплогелератор; 7 – сушарка; 8, 10, 11, 12 – циклони; 9 – подрібнювач; 13 – бункер-накопичувач; 14 – гранулятор; 15 – охолоджувач.

Машини для пресування біомаси класифікують за типом пресуючого пристрою (рис. 28), що і є головним елементом будь-якого гранулятора чи брикетувальника. За рядом технологічних показників перевагу мають гранулятори з круглою матрицею, гранулятори з плоскою матрицею простіші в експлуатації та очищенні.



а)



б)



в)

Рисунок 2.8. Будова гранулятора:

*а) загальний вигляд; б) пресуюча головка (матриця); в) сепаратор*

Перед пакуванням та складуванням пеллет виконується сепарація, що дозволяє відділити пил, дрібні часточки та пеллети, що не мають достатньої механічної міцності. Пакування пеллет залежить від способу їх подальшого транспортування. Пеллети транспортують: насипом; в мішках по 10-20 кг; в мішках «Big-Bag». Насипом транспортують технологічні гранули, рідше – гранули високої якості. Упаковка в мішки по 10-20 кг є доволі зручною та призначена для власників індивідуальних котлів. Транспортують такі мішки на піддонах. Вміст одного піддона – 1 т. Мішки «Big-Bag» призначені для промислового транспортування сипких речовин. Один такий мішок містить 1-1,5 т пеллет. Вони використовуються для спрощення перевезення і збереження вологості. На ділянці пакування встановлюються бункери для завантаження



двотравяного, бункера з розвальнями пристроями для згущення мішків типу «Big-Bag» та агрегат для наповнення мішків.

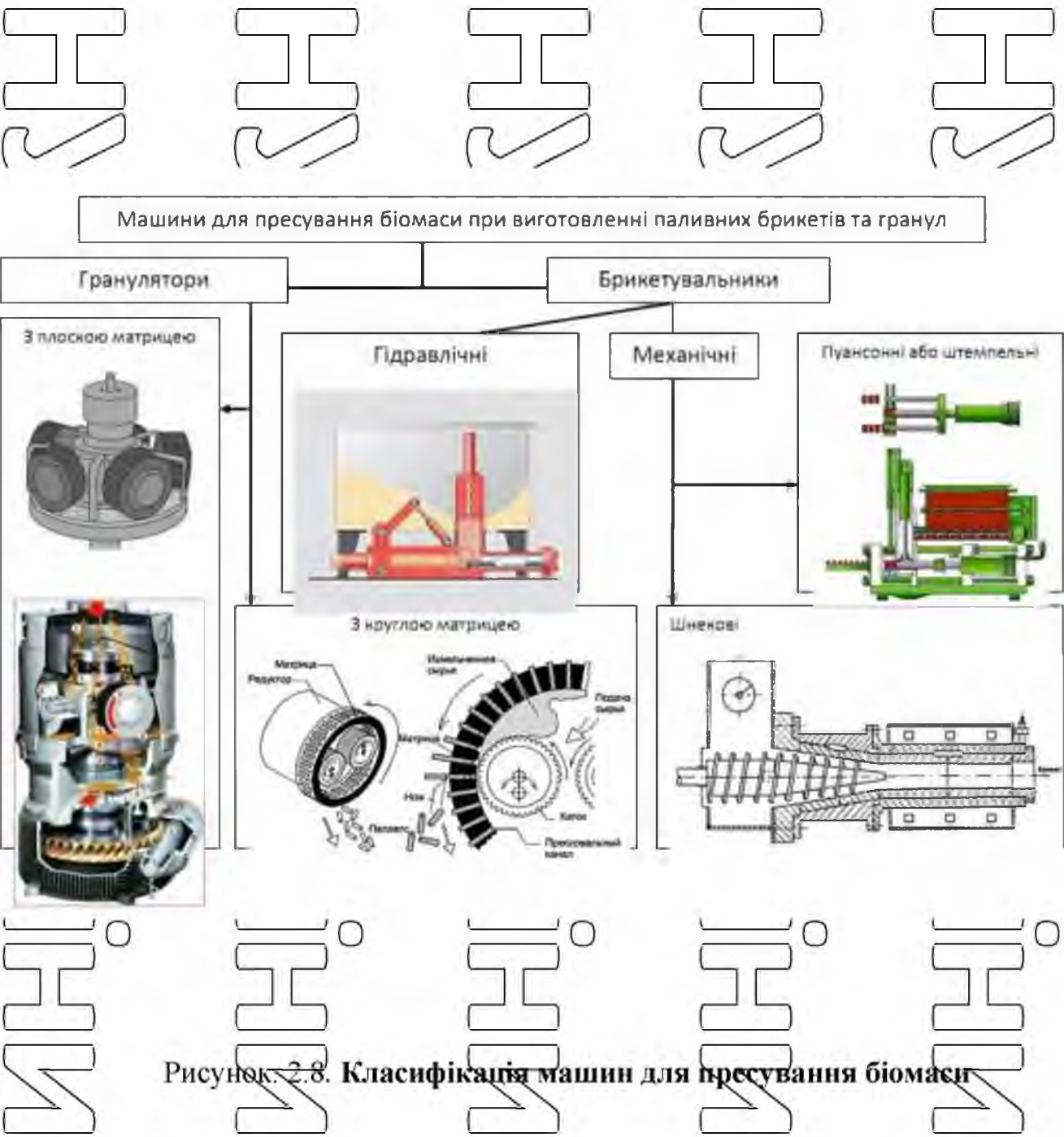


Рисунок 2.8. Класифікація машин для пресування біомаси

лінійного гранулювання біомаси ЕСО-ВЛО-100 (рис. 2.6) призначена для виробництва паливних гранул з деревної тирши, подрібненої соломи, сїна та

іншої біомаси для енергетичного використання.

Лінія гранулювання біомаси включає: живильний бункер із системою регульованої подачі сировини, змішувач, гранулятор, а також сепаратор-охолоджувач гранул. Гранулятор складається з корпусу, в який встановлено плоску матрицю з отворами діаметром 6 мм, що обертається на вертикальному валу, двох пресувальних роликів, що обертаються на нерухомій осі, й приєднаного до корпусу ножа для відрізання гранул. Сепаратор-охолоджувач гранул здійснює охолодження гранульованої маси та відділення гранул від пилу, перед поверненням маси на повторну переробку. Він являє собою теплоізолюваний закритий короб із системою кондиціонування повітря, в якому під кутом до горизонту встановлене циліндричне сито, що обертається.

Таблиця 2.4

Технічна характеристика лінії гранулювання ECO-BIO-100

Параметр	Значення
Тип машини	Пересувна
Діаметр матриці, мм	200
Продуктивність, кг/год	До 100
Габаритні розміри, мм:	
довжина	3250
ширина	720
висота	2250
Конструкційна маса, кг	310
Показники якості роботи	
Характеристика гранул	
довжина, мм	12,3
діаметр, мм	6,0
насіпна щільність, кг/м <sup>3</sup>	603
рішчність, %	2,7
Енергетичні показники	
Споживана потужність, кВт	8,25

Питомі витрати електроенергії  
кВт·год/т

103,1

# НУБІП України

На сьогоднішній день існує два основні види грануляторів – це гранулятори з плоскою та циліндричною матрицею.

У грануляторах з плоскою матрицею (рис. 2.9) пресуючі ролики можуть бути конічними і циліндричними з активним і пасивним приводом. Преси з циліндровими вальцями характеризуються нерівномірним зношуванням

вальців, що пов'язано з різницею колових швидкостей, що призводить до нерівномірного зношування матриці й вальців. Ще одним недоліком цієї групи пресів є нерівномірне навантаження на робочу поверхню, яке створюється при певній коловій швидкості під дією відцентрових сил до периферії матриці.



Рисунок 2.9 Гранулятор з плоскою матрицею

# НУБІП України

При використанні для процесу гранулювання плоских матриць, приводними є ролики, а матриця, як правило закріплюється стаціонарно.

Сировина для гранулювання надходить зверху, падає на матрицю, на нього наконується ролик, в результаті чого сировина продавлюється крізь створи в матриці.



Притискувальні ролики мають зубчасту поверхню, що створює контактне напруження змінання сировини на матриці, тому через отвори матриці сировина продавлюється та обрізується ножами.

В конструкціях можуть використовуватися два, три або чотири ролики.

Розміри притискувальних роликів повинні відповідати робочій площині матриці з отворами.

Гранулятори з циліндричною матрицею (рис. 2.10) найчастіше застосовуються у стаціонарних промислових установках. Дані гранулятори являють собою перфорований циліндр, що закріплений нерухомо. У просторі між матрицею розміщені пресувальні ролики, які обертаються і притискають суху біомасу до матриці і формують гранулу.

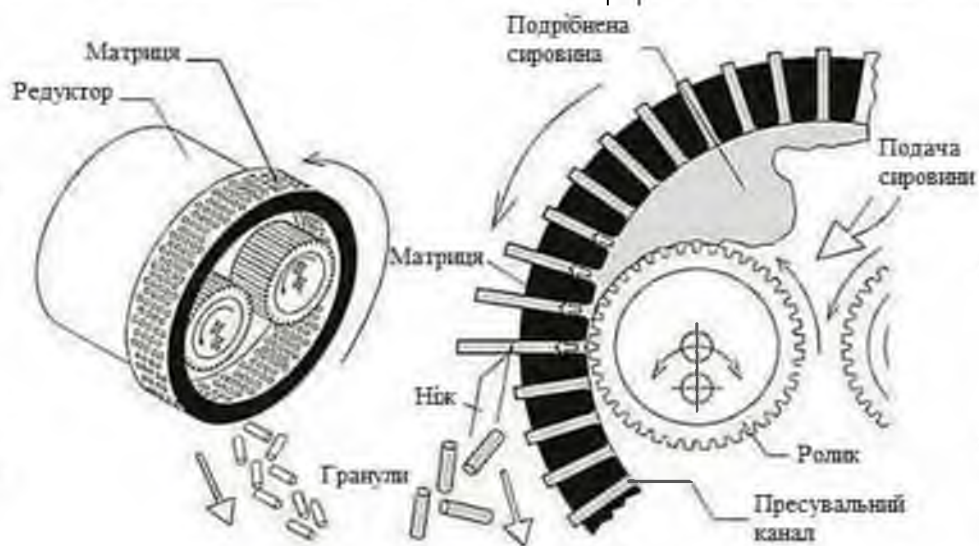


Рисунок 2.10 Вузел пресування гранулятора з циліндричною матрицею

Основними робочими органами будь-якого гранулятора є матриця та ролики.

Ролик призначений для того, щоб подана в камеру пресу-гранулятора сировина, затягувалася між матрицею, що обертається, і пресувальними роликками (вальцями) і продавлювалася в радіальні отвори матриці, де під дією великого тиску формуються гранули. Ролик складається з обичайки, що обертається

навколо ексцентрикової осі на двох роликових підшипниках, які запресовуються в обичайку. Обичайка ролика представляє з себе кільце виготовлене із сталі. Зовнішня поверхня виготовляється з поперіжніми шлицями або рівномірними циліндричними поглибленнями. Внутрішня частина обичайки оброблена для запресовування валу з двома підшипниками. Обичайки роликів найчастіше виготовляються із зовнішніми діаметрами 180, 190, 195, 220, 310 мм.



Рисунок 2.11 Ролики гранулятора

Плоска матриця являє собою плоский металевий диск з високоякісної сталі діаметром від 100мм до 1250мм і завтовшки від 20мм до 100мм. Сталь з якої виготовляється матриця, повинна бути якісною, мати показники підвищеної зносостійкості з можливістю загартування в межах 60 одиниць за шкалою твердості Роквелла. Прикладами такої сталі є вітчизняна 40Х, шведська HARDOX 500, сталь 20сптн або іншої марки. Циліндричні матриці виготовляються з тієї ж сталі, що й плоскі. Мають вигляд перфорованого циліндра. Продуктивність гранулятора та час гранулювання залежить від діаметру матриці.

Гранулятори з матрицею діаметром 1250мм можуть мати потужність до 3 тис. кВт та виробляти до 3 тис. тонн гранулату на годину. Флагманом у виробництві високоякісних та



високопродуктивних грануляторів є німецька фірма KAN. Вартість такого гранулятора і периферійного устаткування до нього досить висока.

Для того, щоб отримати високоякісну паливну гранулу необхідно дотримуватися чіткої послідовності виконання технологічного процесу.

Весь технологічний процес виробництва паливних гранул включає такі операції:



Рисунок 2.12 Плоскі та циліндрична матриці

Подрібнення сировини. Дробарки (рис.2.13) подрібнюють сировину до фракції з розмірами не більше 25x25x2 мм для подальшого сушіння. Найкраще для зниження енерговитрат на сушіння подрібнювати сировину до більш дрібної фракції.





Рисунок 2.13 Машини для подрібнення деревини на щепу

Солому, яка надходить на виробництво у вигляді тюків, подрібнюють цю розмірів 5–25 мм за допомогою спеціального приладу соломорізки-подрібнювача тюків (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 Соломорізка-подрібнювач тюків

Переважає більшість подрібнювачів тюків подрібнюють як циліндричні, так і прямокутні тюки. В конструкції цих пристроїв передбачено вловлювання сторонніх домішок (каменів і т. ін.). Матеріал, яким перев'язано тюк, перед початком подрібнення знімається.

Соломорізка-подрібнювач агроцилиндрів Tomahawk 505M (рис. 2.14) — це подрібнювач легко перероблюваної сировини, а саме соломи, сіна, очерету, міскантусу та ін. Це компактна соломорізка, яка може працювати з тюками (любого розміру) і досягати продуктивності більше 2,5 т/год. При вологості сировини до 30%.

Подрібнювач комплектується в лінію, автоматичним столом подачі соломи, а також молотковою дробаркою яка до подрібнює солому в дрібну фракцію 1-5 мм.

Таблиця 2.5

Технічна характеристика соломорізки-подрібнювача Tomahawk 505M

Показник	Значення
Матеріал	солома, сіно, очерет
Вологість, %	до 30
Розміри матеріалу, м	круглі тюки: 1,20-1,50 малі тюки: 2,0x1,30x1,20 квадратні тюки: 2,5x1,30x1,20
Продуктивність з завантажувальним столом, т/год	до 2,5
Потужність привода, кВт	37 та 45
Розміри д-ш-в, м	3,80x2,0x2,70
Вага, кг	4360
Кількість обслуговуючого персоналу, чол	1

Подрібнювач соломи складається з жолоба ротора і барабана. Двигун обертає ротор, він ріже солому і інший стебловий матеріал, подрібнений продукт через жолоб може безпосередньо подаватися в лоток гранулятора або брикетування. На виході фракція сировини і продуктивність залежать від діаметра сита яке встановлено на соломорізку. Пристрій відрізняється простотою і надійністю. Крім того, є додатковий привід для обертання самого барабана, так система може працювати максимально ефективно.

Сушка. Оскільки часто сировина перед пресуванням занадто волога (а повинна мати вологість  $10\% \pm 2\%$ ), то її досушують до необхідних показників, використовуючи спеціальні сушарки. Найпоширенішими сушарки є: барабанні і стрічкові (рис. 2.15).

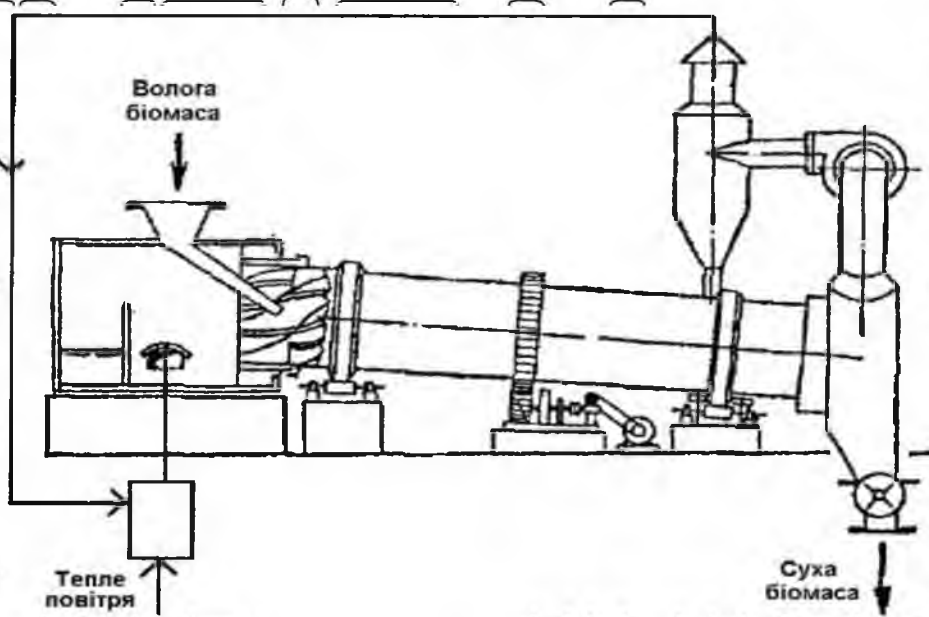
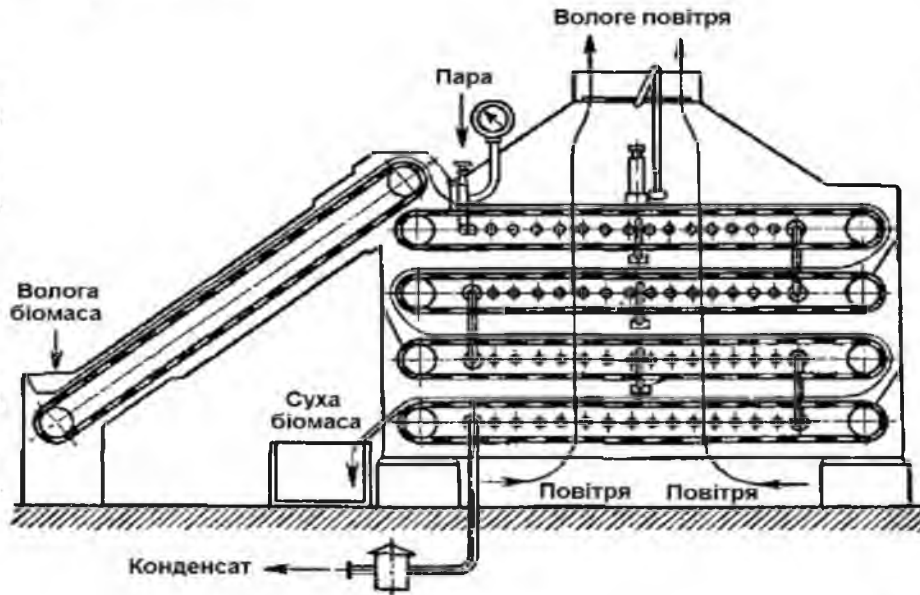


Рисунок 2.15 Сушарки біомаси: а) стрічкова; б) барабанна

Найчастіше використовуються барабанні сушарки (рис. 2.15, б). Процес висушування в цих пристосуваннях відбувається в середовищі нагрітого повітря або повітря в суміші з димовими газами. Основними перевагами

барабанних сушарок для біомаси є відносна компактність, висока продуктивність, здатність висушувати сировину з різними показниками вологості, невибагливість до фракційного складу сировини та зручність регулювання її роботи. При використанні необхідно пам'ятати, що ці пристрої досить пожежонебезпечні, оскільки температура сушильного агенту на початку процесу є досить високою.

Цей пристрій представляє собою пустий зварний циліндр з листової сталі, до стінок якого з внутрішнього боку приварені ланцюгові насадки (навіски).

Барабан встановлюється на двох бандажах і обертається по двох парах котків за допомогою електродвигуна та редуктора через привідну вільову шестерню, розташовану на його зовнішній поверхні. Ланцюгова насадка потрібна для запобігання забрудненню барабана й рівномірному перевертанні сировини, що сушиться.

Сировина, яка містить вологу потрапляє у барабан по завантажувальному лотку, а потім просувається завдяки обертанням барабана, який розташований і під нахилом до горизонту під кутом 3-5°.

Поступово сировина висушується під дією гарячих газів й нагрітою внутрішньою поверхнею барабана. Висушена сировина видаляється з барабана через розвантажувальну камеру. Очищення димових газів, які уже відпрацювали, відбувається у батарейному й вологому пилоловлювачах. Після їх очищення газів повертають в атмосферу.

Термін висушування сировини, в середньому, знаходиться у межах 15-40 хв. Прискорити процес висушування й підвищити ефективність роботи сушильних пристроїв можна за рахунок підвищення температур і швидкостей руху сушильного агенту, а також за рахунок посилення герметизації сушильних апаратів з метою виключення потрапляння повітря до камери висушування.

Ще однією досить поширеною технологією використання для висушування сировини є стрічкових сушарок (рис. 2.15, а). Висушування в них здійснюється з використанням нагрітого повітря, нагрівання якого може відбуватись як спалюванням палива, так і паром у відповідних нагрівачах.



Позитивними моментами при використанні таких сушильних агрегатів є відсутність прямого контакту з димовими газами та низькі температури, які значно зменшують ризик пожежі.

Якщо аналізувати недоліки, то до них слід віднести масивність, порівняно з барабанними сушарками, та вища вартість такого обладнання.

Робочою частиною стрічкової сушарки є горизонтальна стрічка, яка постійно рухається в камері. Сировина надходить з одного кінця стрічки й у висушеному стані виходить з іншого її кінця. Стрічка натягнута між приводною зірочкою і веденою зірочкою, яка служить для натягнення стрічки. Стрічки можуть бути виготовлені суцільними (з тканини) або сітчастими (з металевої сітки).

Подрібнення сухого матеріалу. Для безперервної роботи преса фракція вхідної сировини не має перевищувати розміри в 4 мм. Необхідний розмір досягається використанням молоткової дробарки.

На рисунку 2.16 показано молоткову дробарку DP-22, яка використовується для необхідного подрібнення сировини. Для досягання якісного подрібнення, сировина повинна мати вологість не більш як 8 %.

Використання більш вологої сировини призводить до блокування робочих органів подрібнювача.



Рисунок 2.16 Молоткова дробарка DP-22

Молоткова дробарка DP-22 (рис. 2.16) – призначений для подрібнення щепи, стружки, соломи та ін. сировини з середньою твердістю до 7 одиниць за шкалою Мооса і температурою плавлення не менше 250°C, з вологістю до 8%, при якій не відбувається залипання перфорованої решітки. Доподрібнювач може бути встановлений, як в приміщенні, так і на відкритому майданчику під навісом.

Будова і принцип роботи дробарки. Вал на якому закріплені молотки дробарки, приводиться в обертовий рух через муфту від електродвигуна. На валу зібраний ротор з дисків, на яких шарнірно підвішені молотки. У верхній частині подрібнювача знаходиться завантажувальне бункер через який вихідний матеріал безперервно подається до робочої камери дробарки. Подрібнення відбувається за рахунок удару сировини об молотки. Готовий продукт проходить через отвори в решітці і через вивантажувальне лоток виводиться із подрібнювача.

Таблиця 2.6  
Технічна характеристика молоткової дробарки DP-22

Параметр	Значення
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	2-3,5
Число молотків, штук	64
Діаметр ротора, мм	443
Розмір деревини (діаметр) для подрібнення, мм	7-25
Розмір фракції щепи на виході (довжина/ширина), мм	0,5-3
Тип електродвигуна	AIP180S4
Потужність електродвигуна, кВт	30
Напруга живлення, В	380
Габаритні розміри, мм	800x2050x1500
Вага, кг	440

• Водопідготовка. Після подрібнення сировини до необхідних розмірів, вона подається за допомогою системи пневмотранспорту до



розвантажувального бункера, який має механічний перекидач, для запобігання зависання подрібненого матеріалу. Звідти сировина надходить у завантажувальний шнек кондиціонера, який знаходиться безпосередньо над пресом гранулятором. Кондиціювання, що відбувається в цьому пристрої, полягає в додаванні пари або гарячої води для нагрівання та зволоження сировини, що створює умови для його розм'якшення. Пар використовують для зниження міцності і збільшення пластичності деревної сировини твердих порід. Час перебування матеріалу в кондиціонері визначається його розмірами та швидкістю руху транспортувального органу для забезпечення якісного підігріву та рівномірного зволоження. Об'єм води або пари може становити до 80 кг на тону сировини. Для гранулювання соломи зернових додавання пари потрібне в кількості 4 % до маси сировини.

При виробництві пелет необхідно враховувати, що технологічні вимоги до гранулювання сировини сільськогосподарського походження відрізняються від вимог до гранулювання деревини. А саме, наприклад, допустимий рівень вологості сільськогосподарської сировини перед гранулюванням може бути дещо вищий, ніж для деревини (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Вологість сировини за типами	
Сировина	Діапазон вологості, %
Деревина в середньому	5-10
Бук	6-10
Ялина	10
Сосна	6-8
Аграрна біомаса загалом	10-20
Солома зернових загалом	10-15
Житня солома	19-23
Пшенична солома	15
Стебла кукурудзи	10

# НУБІП УКРАЇНИ

Пресування. Це наступна і найбільш важлива стадія виробництва пелет. Процес пресування (гранулювання) здійснюватися на пресах різних конструкцій. Під час проведення пресування необхідною умовою отримання якісного продукту є витримка пресованої сировину у формуючій порожнині під тиском протягом необхідного часу, для процесу склеювання речовини, а також утворення плівки на поверхні паливних гранул. Оптимальна температура гранулювання становить в межах 90 –120°С, оскільки плавлення лігніну відбувається при 90°С й також забезпечується відсутність утворення водяної пари.

# НУБІП УКРАЇНИ

На якість виконання процесу гранулювання сировини впливає ціла низка виробничих чинників (табл. 2.7).

# НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 2.7

Вплив різних чинників на виробничий процес гранулювання

Чинники 1	Характер впливу 2	Примітки 3
Температура	Поліпшення міцності гранул за підвищення t° до 90°С	Вище 90°С подальшого покращення немає
Розмір часток	Різномірний характер впливу у дослідженнях	Для забезпечення міцності пелет, кількість частинок сировини менших за 0,5 мм не повинна перевищувати 10-20% загальної маси
Тиск пресування	Зростання показника тиску призводить до зростання щільності й механічної міцності.	Підвищення показника тиску несе за собою збільшення питомих енерговитрат.
Співвідношення довжини отвору матриці та його діаметра	Підвищення співвідношення приводить до збільшення щільності та механічної міцності	Підвищення співвідношення приводить до зростання питомих енерговитрат.
Швидкість обертання	Зменшується для сировини з нижчою насипною	

матриці

щільністю

та

меншою

вартістю

- Охолодження та просіювання гранул. Готові пелети, отримані в

прес-грануляторі, мають високу температуру (іноді до 130°C) та м'яку

консистенцію, тому далі вони за допомогою елеватора надходять для

охолодження в протиточкові охолоджувачі. Повітря, яке проходить через шар

продукту в протиточковому напрямку, охолоджується до температури 20 – 25°C.

У результаті охолодження, пелети стають твердими, міцними та втрачають

близько 2% вологості.

Протиточні охолоджувачі Грантех ГТО (рис. 2.17), призначені для

охолодження гранул, що подаються з прес-гранулятора, і мають такі частини:

корпус охолоджувача, вентилятор й циклон зі шлюзовим затвором. Гранули

після прес-гранулятора самостійно надходять в охолоджувач і рівномірно

розподіляються по площі охолоджувача, для чого у верхній частині

встановлено спеціальний розподільник. Для запобігання надходження повітря

через завантажувальне вікно, існує спеціально встановлений шлюзовий затвор,

привід якого здійснюється за допомогою мотор-редуктора.

Переваги агрегатів серії ГТО:

- висока ефективність і рівномірність охолодження гранул;

- відсутність «теплого удару»;

- під час охолодження відбувається мінімальний механічний вплив на ще гарячі не достатньо міцні гранули

- підтримка високих санітарно-гігієнічних параметрів обладнання і охолоджуваного продукту, оскільки конструкція зони охолодження і

- византажуючого пристрою з самоочищенням рухомих вузлів, що виключає утворення зон засмічення і зависання гранул.

- Досить низький рівень енергоспоживання й, відповідно, поточних витрат на технічне обслуговування.



Рисунок 2.1 Протиточний охолоджувач Грантех ГТО

Таблиця 2.8

Технічна характеристика протиточних охолоджувачів ГТО

Модель	Площа зони охолодження, м <sup>2</sup>	Встановлена потужність приводу, кВт	Габаритні розміри, мм
7×8	0,56	0,6	1050×980×2100
10×14	1,4	2,2	2045×1915×2950
19×19	3,6	2,2	2530×2000×3030
22×26	5,72	2,6	2600×3000×3420

Фасування. Після охолодження паливні гранули зберігаються у відповідних бункерах і можуть транспортуватися насипом. Однак для збереження якості продукту необхідно проводити їх фасування. Для приватного споживання паливні гранули фасують у поліетиденові мішки місткістю 15–25 кг.



Останнім часом почали виготовлятися мобільні агрегати для виробництва паливних гранул з сільськогосподарської сировини безпосередньо в полі. До таких агрегатів відносяться Krone Premos 5000 та Schaidter Pelletec D 8.0.

Krone Premos 5000 (рис. 2.18) – це перший в світі мобільний агрегат для заготівлі пелет. Він може виробляти пелети прямо на полі з стеблових культур безпосередньо з валка в полі.



Рисунок 2.18 Мобільний заготівельник пелет Krone Premos 5000

У 2015 році компанія Krone представила на ринку перший у світі мобільний заготовщик пелет під маркою Krone Premos 5000. Повторити успіх вирішила австрійська компанія Schaidter. І представила свого конкурента - Pelletec D 8.0-рис. 2.19.



Рисунок 2.19 Мобільний заготівельник пелет Schaidter Pelletec D 8.0  
Даний агрегат працює таким чином.

На передній навісці трактора встановлено підбирач з подрібнюючим механізмом де відбувається попереднє подрібнення сировини. Потім вона переходить через лінію транспортування матеріалу до дрібного подрібнювача, що забезпечує подальше подрібнення – яке відповідає бажаному діаметру гранул. У гранулювальній машині, що приводиться в рух промисловим двигуном 447 кВт, матеріал спочатку використовується для попереднього нагріву і кондиціонування. Відпрацьоване тепло двигуна використовується для попереднього нагріву матеріалу до 70°C. Екран гранулятора відокремлює отриману пил від готових гранул. Продуктивність даного агрегату може становити 8 т/год, а необхідна потужність трактора з яким його агрегатують становить 200 к.с.

## 2.5. Розрахунок основних параметрів матриці гранулятора твердого біопалива

Вихідними даними для конструктивно-технологічного розрахунку гранулятора з круглою матрицею є вимоги до якості отриманих гранул, представлені у відповідних стандартах. Розрахунок проводиться на задану продуктивність і виконується в наступній послідовності.

1. Визначається максимальний осьовий тиск пресування за основним рівнянням пресування [46]:

$$P_{\max} = C \cdot (e^{a \cdot (\rho_G - \rho_S)} - 1), \quad (2.2)$$

де  $P_{\max}$  – максимальний осьовий тиск пресування, МПа;  $e$  – основа натурального логарифму;  $C$  – параметр матеріалу, який визначає опір матеріалу стисненню і залежать від його структурно-механічних властивостей, що визначається експериментально, МПа;  $a$  – параметр матеріалу, який визначає опір матеріалу стисненню і залежать від його структурно-механічних властивостей, що визначається експериментально, м<sup>3</sup>/кг;  $\rho_G$  – максимальна щільність гранул, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_S$  – щільність сировини, кг/м<sup>3</sup>.

Значення параметра  $C$  для соломи вологістю 12,6% при температурі



пресування  $100^{\circ}\text{C}$  становить  $0,53$  МПа, параметра  $a - 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$  [47].  
Насипна щільність подрібненої соломи становить  $80-120 \text{ кг}/\text{м}^3$ , деревної тирси –  $200-350 \text{ кг}/\text{м}^3$  [48].

При проштовхуванні спресованого матеріалу вздовж фільтри у зв'язку із зменшенням опору проштовхуванню її частини, що залишилися, відбувається розширення матеріалу і відповідно зменшення його щільності. Тому щільність матеріалу, що знаходиться в каналі, є максимальною і становить [49]:

$$\rho_G = b \cdot \rho_1, \quad (2.3)$$

$b$  – коефіцієнт;  $\rho_1$  – задана щільність гранул,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Щільність паливних гранул з різних матеріалів за ДІН 51731 повинна становити  $1000-1400 \text{ кг}/\text{м}^3$  (див. табл. 2.1).

Коефіцієнт  $b$  для гранул становить  $1,1-1,4$  [49].

Максимальна щільність гранул  $\rho_G$  визначається за формулою (2.3), в якій коефіцієнт  $b$  для гранул становить  $1,1-1,4$  (для розрахунків приймаємо  $1,15$ ).

Тоді:

$$\rho_G = 1,1 \cdot 1400 = 1540 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Тоді максимальний осьовий тиск пресування  $P_{max}$  за формулою (2.2) буде:

$$P_{max} = 0,53 \cdot (e^{4,6 \cdot 10^{-3} \cdot (1540 - 115)} - 1) = 1058 \text{ МПа.}$$

2. Діаметр каналу пресування матриці  $d_{кан}$  дещо менший діаметра гранул  $d_1$ , які утворюються шляхом продавлювання матеріалу через нього, оскільки при виході спресований матеріал дещо розширюється:

$$d_{кан} = \frac{d_g}{\epsilon}, \quad (2.4)$$

де  $d_{кан}$  – діаметр каналу пресування матриці, м;  $d_g$  – діаметр гранул, м;  $\epsilon$  – коефіцієнт, що враховує розширення спресованого матеріалу після виходу із каналу пресування.

Стандартні діаметри паливних гранул становлять  $6$  або  $8$  мм [48].  
Коефіцієнт, що враховує розширення спресованого матеріалу після виходу із

каналу пресування  $s$ , для міцних гранул становить 1,1-1,15. Цим коефіцієнт  $S$  нижчий, тим гранули менш міцні [46].

Визначаємо діаметр каналу пресування матриці  $d_{кан}$  за формулою (4.4), приймаючи значення коефіцієнта  $s$ , що враховує розширення спресованого матеріалу після виходу із каналу пресування, рівним 1,1:

$$d_{кан} = \frac{0,08}{1,1} = 0,073 \text{ м} = 7,3 \text{ мм}$$

3. Визначається площа перерізу каналу пресування матриці за відомою формулою:

$$S_{кан} = \frac{\pi \cdot d_{кан}^2}{4} \quad (2.5)$$

де  $S_{кан}$  – площа перерізу каналу пресування матриці,  $\text{м}^2$ ;  $d_{кан}$  – діаметр каналу пресування матриці, м.

Визначаємо площу перерізу каналу пресування матриці за формулою (2.5):

$$S_{кан} = \frac{3,14 \cdot 0,073^2}{4} = 0,00042 \text{ м}^2.$$

4. Визначається довжина каналу пресування за допомогою емпіричної формули [50]:

$$l = \frac{d_{кан}}{4 \cdot \xi \cdot f} \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - \frac{1}{m-1} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{m-1}} \right)} \right), \quad (2.6)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт бокового тиску (бокового розпору) матеріалу;  $f$  – коефіцієнт тертя матеріалу об стінки каналу пресування;  $m$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу.

Коефіцієнт бокового тиску  $\xi$  залежить від вологості матеріалу. Так, для соломи вологістю 8%  $\xi=0,36$ , вологістю 12,5%  $\xi=0,38$ , вологістю 16,4%  $\xi=0,4$

[50]. Для деревини коефіцієнт бокового тиску  $\xi=0,3-0,9$  [51]. Коефіцієнт тертя матеріалу об стінки каналу пресування  $f$  для соломи при температур пресування  $100^\circ\text{C}$  становить  $0,08-0,1$  [46], для деревини  $-0,25-0,53$  [9].

Коефіцієнт  $m$  Ю.В. Подкользін в роботі [50] рекомендує приймати рівним  $3,426$ .

За формулою (2.6) визначаємо довжину каналу пресування, приймаючи коефіцієнт бокового тиску  $\xi$  рівним  $0,38$ , коефіцієнт тертя матеріалу об стінки каналу пресування  $f=0,1$ , коефіцієнт  $m=3,426$ .

$$l = \frac{0,073}{4 \cdot 0,38 \cdot 0,1} \cdot \ln \left[ \frac{1}{1 - \frac{1}{3,426 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\left( \frac{1400}{115} \right)^{2,426 - 1}} \right)} \right] = 0,025 \text{ м} = 25 \text{ мм}.$$

5. Визначається площа робочої поверхні матриці [46; 47]:

$$S_2 = \frac{q \cdot t}{K_{per} \cdot c \cdot \rho_G \cdot l} \cdot X, \quad (2.7)$$

де  $S_2$  – площа робочої поверхні матриці,  $\text{м}^2$ ;  $q$  – продуктивність гранулятора,  $\text{кг/с}$ ;  $t$  – час перебування гранул в каналі пресування,  $\text{с}$ ;  $K_{per}$  – коефіцієнт перфорації матриці;  $c$  – коефіцієнт, що враховує розширення спресованого матеріалу після виходу із каналу пресування;  $l$  – довжина каналу пресування,  $\text{м}$ ;  $X$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу матеріалу по поверхні матриці.

Продуктивність гранулятора  $q$  задається перед початком розрахунків. Час перебування гранул в каналі пресування  $t$  становить  $16-18$   $\text{с}$  [46; 47]. Коефіцієнт перфорації матриці гранулятора  $K_{per}$  становить  $0,5-0,6$  [47].

Вибір величини коефіцієнта  $X$  визначається конструкцією живильних пристроїв преса. При використанні спеціальних живильників, що забезпечують

рівномірний розподіл матеріалу по поверхні матриці,  $X=1-1,5$  при використанні лоткової системи живлення і розподільних лопаток  $X=1,5-2,5$  [49].

За формулою (4.7) визначаємо площу робочої поверхні матриці. При цьому, час перебування гранул в каналі пресування  $t$  приймаємо рівним 10 с, коефіцієнт перфорації матриці гранулятора  $K_{per} = 0,6$ . Передбачається використання спеціальних живильників, що забезпечують рівномірний розподіл матеріалу по поверхні матриці, тому коефіцієнт  $X$  приймаємо рівним 1. Продуктивність обираємо 2 т/год, або 0,56 кг/с. Отже:

$$S_2 = \frac{0,56 \cdot 10}{0,6 \cdot 1,1 \cdot 1610 \cdot 0,025} \cdot 1 = 0,211 \text{ м}^2.$$

6. Вибирається кількість роликів  $z$  в грануляторі. При збільшенні числа роликів гранулятора зростає його продуктивність відповідно до формули:

$q = 2H\pi z R_{mat} d_{km} \rho_2 n_m Z$ , де  $H$  – висота шару сировини, що захоплюється роликом під час пресування, м;  $R_{mat}$  – внутрішній радіус матриці, м;  $Z$  – кількість каналів пресування, шт.;  $z$  – кількість вальців, шт.;  $n_m$  – частота обертання матриці,  $\text{с}^{-1}$ .

Найчастіше зустрічаються дво- чи тривальцеві гранулятори.

Для запресовування соломи вибираємо систему із двох роликів.

7. Визначається внутрішній радіус матриці [49]:

$$R_{mat} = \sqrt{\frac{S_2}{2 \cdot \pi \cdot \psi_1 \cdot \psi_2}}, \quad (2.8)$$

де  $R_{mat}$  – внутрішній радіус матриці, м;  $\psi_1$  – відношення радіусів ролика і матриці;  $\psi_2$  – відношення ширини ролика до радіусу ролика.

Відношення радіусів ролика і матриці  $\psi_1$  для двовальцевого преса становить 0,42-0,45, для тривальцевого – 0,4-0,42 [46]. Відношення ширини ролика до радіусу ролика  $\psi_2$  становить 1-1,6 [49].

Визначаємо внутрішній радіус матриці  $R_m$  за формулою (8). При цьому відношення радіусів ролика і матриці  $\psi_1$  приймаємо рівним 0,43, а відношення ширини ролика до радіусу ролика  $\psi_2$  – 1,3. Тому:

$$R_m = \sqrt{\frac{0,211}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,43 \cdot 1,3}} = 0,245 \text{ м} = 245 \text{ мм.}$$

8. Визначається зовнішній радіус ролика гранулятора  $r_p$  із залежності:

$$r_p = \psi_1 \cdot R_m, \quad (2.9)$$

де  $r_p$  – зовнішній радіус ролика, м.

Визначаємо зовнішній радіус ролика гранулятора  $r_p$  за формулою (4.9):

$$r_p = 0,43 \cdot 0,245 = 0,105 \text{ м} = 105 \text{ мм}$$

9. Визначається робоча ширина ролика і матриці. Ширина ролика гранулятора обумовлена розмірами підшипника, що впресовується в обичайку.

Відношення ширини ролика  $B_p$  до радіусу ролика  $r_p$  становить 1-1,6 і позначається символом  $\psi_2$  [6], тобто ширина ролика становить:

$$B_p = \psi_2 r_p \quad (2.10)$$

де  $B_p$  – ширина ролика, м.

За формулою (2.10) визначаємо робочу ширину ролика. Приймаємо, що

$\psi_2 = 1,3$ . Тоді:

$$B_p = 1,3 \cdot 0,105 = 0,136 \text{ м} = 136 \text{ мм.}$$

Ширина матриці  $B_m$  приймається рівною ширині ролика [49].

і становить 136 мм.

9. Визначається кількість каналів пресування за формулою:

$$Z = \frac{S_2 \cdot K_{per}}{S_k} \quad (2.11)$$

де  $Z$  – кількість каналів пресування.

Визначаємо кількість каналів пресування за формулою (2.11):

$$Z = \frac{0,211 \cdot 0,6}{0,000042} = 3014$$

10. Вибирається частота обертання матриці відповідно до умови  $n_{\min} < n_m < n_{\max}$  [46].

Мінімальна частота обертання матриці визначається за формулою [46]:

$$n_{\min} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{R_{\max} \cdot \sin \phi}} \quad (2.12)$$

де  $n_{min}$  – мінімальна частота обертання матриці,  $c^{-1}$ ;  $\varphi$  – кут тертя матеріалу об поверхню ролика, рад.

Для переведення кута тертя матеріалу об поверхню ролика  $\varphi$  із градусів в радіани необхідно його помножити на число  $\pi$  і розділити на 180.

Максимальна частота обертання матриці визначається за формулою [49]:

$$n_{max} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\sigma_p}{\sqrt{2 \cdot d_1 \cdot (1 + R_{mat}) \cdot \rho_g}} \quad (2.13)$$

де  $n_{max}$  – максимальна частота обертання матриці,  $c^{-1}$ ;  $\sigma_p$  – міцність гранул на розрив, Па.

Міцність гранул на розрив  $\sigma_p$  повинно становити 1,3-1,7 кПа [6].

Вибираємо частоту обертання матриці відповідно до умови

$$n_{min} < n_m < n_{max}$$

При цьому мінімальна частота обертання матриці визначається за формулою (2.12) і становить:

$$n_{min} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \cdot \sqrt{\frac{9,8}{0,245 \cdot \sin 0,436}} = 1,55 \text{ c}^{-1}$$

Максимальна частота обертання матриці визначається за формулою (2.13). Міцність гранул на розрив  $\sigma_p$  приймаємо рівною 1500 Па. Тому:

$$n_{max} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \cdot \sqrt{\frac{1500}{2 \cdot 0,008 \cdot (0,025 + 0,245) \cdot 1610}} = 2,33 \text{ c}^{-1}$$

Із умови  $n_{min} < n_m < n_{max}$  приймаємо частоту обертання матриці  $n_m$  рівною  $2 \text{ c}^{-1}$  (120 об/хв.).

11. Визначається висота шару сировини, що захоплюється роликом під час пресування:

$$H = \frac{q}{2\pi R_{mat} d_{kan} n_m Z z \rho_g} \quad (2.14)$$

де  $H$  – висота шару сировини, що захоплюється роликом під час пресування, м.

Визначаємо висоту шару сировини, що захоплюється роликом під час пресування за формулою (2.14):



$$H = \frac{0,56}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,245 \cdot 0,0073 \cdot 2 \cdot 3014 \cdot 2 \cdot 115} = 0,000035 \text{ м.}$$
 12. Визначається швидкість проходження спресованого матеріалу через канали матриці  $v_{np}$  [49]:

$$v_{np} = \frac{n_m Z H \rho_g}{P_G}, \quad (2.15)$$

де  $v_{np}$  – швидкість проходження спресованого матеріалу через канали матриці, м/с.

Визначаємо швидкість проходження спресованого матеріалу через канали матриці  $v_{np}$  за формулою (2.15):

$$v_{np} = \frac{2 \cdot 3014 \cdot 0,000035 \cdot 115}{1610} = 0,015 \text{ м/с.}$$
 13. Визначається фактичний час перебування спресованої порції матеріалу в каналі матриці  $t$  [49]:

$$t = \frac{l}{v_{np}}, \quad (2.16)$$
 де  $t$  – час перебування спресованої порції матеріалу в каналі матриці, с.

Визначаємо фактичний час перебування спресованої порції матеріалу в каналі матриці  $t$  за формулою (4.16):

$$t = \frac{0,025}{0,015} = 1,7 \text{ с.}$$
 14. Визначається сила тертя при русі моноліту по каналу  $F$  [46]:

$$F = f \cdot \xi \cdot P_{yn} \cdot \Pi_{kan} \cdot l, \quad (2.17)$$

де  $F$  – сила тертя при русі моноліту по каналу, Н;  $f$  – коефіцієнт тертя матеріалу об стінки каналу пресування;  $P_{yn}$  – тиск на упорі, Па;  $\Pi_{kan}$  – периметр каналу пресування, м;

Тиск на упорі  $P_{yn}$  (див. рис. 2. 4) становить 0,4-0,45 від максимального [46]:

$$P_{yn} = (0,4 \dots 0,45) \cdot P_{max}, \quad (2.18)$$
 де  $P_{yn}$  – тиск на упорі, МПа.

Периметр каналу  $\Pi_{kan}$  пресування визначається як:

$$\Pi_{kan} = \pi \cdot d_{kan}. \quad (2.19)$$

Визначаємо силу тертя при русі моноліту по каналу  $F$  за формулою (2.17)

При цьому тиск на упорі  $P_{уп}$  за формулою (2.18) буде:

$$P_{уп} = 0,425 \cdot 1058 = 450 \text{ МПа},$$

а периметр каналу пресування  $\Pi_{kan}$  за формулою (2.19):

$$\Pi_{kan} = 3,14 \cdot 0,0073 = 0,023 \text{ м}.$$

Тоді сила тертя при русі моноліту по каналу  $F$  за формулою (2.17) буде:

$$F = 0,1 \cdot 0,38 \cdot 450 \cdot 0,023 \cdot 0,056 = 21352 \text{ Н}.$$

15. Визначається потужність, необхідну для здійснення робочого процесу пресування, яка є сумою потужностей, необхідних для скидання матеріалу з перемичок між каналами  $N_{ск}$ , стискання його роликком  $N_{см}$  і прошовування спресованого матеріалу по каналу матриці  $N_{пр}$ .

Потужність, необхідна для прошовування спресованого матеріалу  $N_{пр}$ , визначається як [46]:

$$N_{пр} = 10^{-3} \cdot F \cdot v_{пр} \cdot Z_{kan}, \quad (2.20)$$

де  $N_{пр}$  – потужність, необхідна для прошовування спресованого матеріалу, кВт;  $Z_{kan}$  – число каналів, в яких проводиться пресування одночасно, тобто на дузі захвату.

Число каналів, в яких проводиться пресування одночасно  $Z_{kan}$ , визначається за формулою [46]:

$$Z_{kan} = \frac{Z \cdot z \cdot \alpha}{360}. \quad (2.21)$$

де  $\alpha$  – кут пресування.

Кут пресування  $\alpha$  визначається за формулою [46]:

$$\alpha = \frac{\beta \cdot r_p}{R_{mat}}. \quad (2.22)$$

де  $\beta$  – кут нахилу направляючих до горизонту.

Кут нахилу направляючих до горизонту  $\beta$  визначається за формулою

[46]:

$$\beta = \frac{\varphi}{1 - \psi_1} \quad (2.23)$$

Методика розрахунку потужностей, необхідних для скидання матеріалу з перемичок між каналами  $N_{ck}$  і стискання його роликком  $N_{cm}$ , що представлена в [47], досить складна. Однак із [47] встановлено, що потужність, необхідна для стискання матеріалу роликком і скидання його з перемичок між каналами становить близько 15% від загальної потужності (тобто, від потужності, що затрачається на стискання матеріалу роликком, скидання його з перемичок між каналами і проштовхування спресованого матеріалу). Із вищезазначеного випливає, що загальна потужність гранулятора становить  $N_{np}/0,85$ .

Однак при цьому необхідно враховувати коефіцієнт корисної дії привода та можливу втрату потужності на буксування роликів [47]:

$$N = \frac{K_s \cdot N_{np}}{0,85 \cdot \eta} \quad (2.24)$$

де  $N$  – загальна потужність привода гранулятора, кВт;  $K_s$  – коефіцієнт, що враховує втрату потужності на буксування роликів;  $\eta$  – ККД привода гранулятора.

Визначаємо потужність, необхідну для здійснення робочого процесу пресування, яка є сумою потужностей, необхідних для скидання матеріалу з перемичок між каналами  $N_{ck}$ , стискання його роликком  $N_{cm}$  і проштовхування спресованого матеріалу по каналу матриці  $N_{np}$ .

Для визначення потужності, необхідна для проштовхування спресованого матеріалу  $N_{np}$ , за формулою (2.20) необхідно за виразом (2.24) визначити Число каналів, в яких проводиться пресування одночасно  $Z_{kan}$ , для чого із (2.22) треба знати кут пресування  $\alpha$ , який залежить від кута нахилу направляючих до горизонту  $\beta$ , що визначається за формулою (2.23):

$$\beta = \frac{25}{1 - 0,432} = 44^\circ$$

Тоді кут пресування  $\alpha$  за формулою (2.22) буде:

$$\alpha = \frac{44 \cdot 0,105}{0,245} = 19^\circ$$

Кількість каналів, в яких проводиться пресування одночасно  $Z_{kan}$ , за формулою (2.20) буде:

$$Z_{\eta} = \frac{3014 \cdot 2 \cdot 19}{360} = 318$$

### Розділ 3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ПО ГРАНУЛЮВАННЮ БІОМАСИ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

#### 3.1 Вибір напрямку досліджень

Після ознайомлення з деякими дослідженнями а саме :

➤ визначення оптимальних техніко-технологічних параметрів

процесу гранулювання;

➤ дослідження впливу температури матеріалу на якість;

➤ закономірностей впливу температури сировини в каналі прес-

матриці на якість, та інші;

➤ визначення оптимального ступеню подрібнення.

Ми прийняли рішення, що потрібно ще провести дослідження впливу вологості вихідної сировини на якість твердопаливних гранул. На основі проведення аналізу літературних джерел та теоретичних досліджень було встановлено, що найвагомішими параметрами при визначенні вологості є час проведення дослідження та температура при якій ми проводимо дане дослідження.

Основні джерела похибок при визначенні вмісту води в продукті обраним нами методом є:

порушення параметрів висушування (часу та температури), особливо при використанні прискорених методів де використовується досить висока температура,

неоднорідність об'єкту висушування.

Даний метод часто використовується на виробництві так як він простий і не потребує складного обладнання та хімічних реактивів. Однак точність даного методу є не найвищою у порівнянні з більш складними методами.

### 3.2 Необхідні матеріали та обладнання для проведення дослідження по визначенні вологості сировини

Для визначення вологості нашої сировини (рис. 3.1) нам необхідне наступне обладнання, яке ми будемо використовувати це: алюмінієві бюкси (рис. 3.2), електронні аналітичні ваги AXSI/ANG 100 (рис. 3.3) та муфельну піч SNOL 7,2/1100 (рис. 3.4).





Рисунок 3.1 Сировина яку використовуємо під час дослідження (тирса, подрібнена солома та полоза)



Рисунок 3.2 Алюмінієві бюкси



Рисунок 3.3 Електронні аналітичні ваги AXSI ANG 100

Таблиця 3.1

Технічна характеристика електронних аналітичних ваг AXSI ANG 100

Параметр	Значення
Найбільша границя значення, г	100
Найменша границя значення, г	0,02

Дискретність відліку, г	0,00050
Вибірання маси тари, г	100
Клас точності	2
Тип індикатора	Графічний з підсвіткою
Робочий діапазон температури, °С	+18...30
Діаметр зважувальної шальни, мм	90
Габаритні розміри, мм	235x345x150



Рисунок 3.4 Муфельна піч SNOL 7,2/1100

Електрична муфельна піч SNOL 7,2/1100 призначена для проведення аналітичних робіт та різних видів термообробки у всіх галузях промисловості при температурі 1100 оС. Камера (муфель) печі SNOL може бути виготовлена з керамічного матеріалу або з високоефективного теплоізоляційного волокна. Муфельні печі SNOL можуть комплектуватися аналоговими або мікропроцесорними регуляторами температури. Корпус кожного виробу вкритий полімерним покриттям для захисту печі від дії корозії. Нагрівання камери відбувається з чотирьох сторін спеціальними нагрівачами, які розташовані в пазах робочої камери.

Таблиця 3.2

## Технічна характеристика муфельної печі SNOL 7,2/1100

Параметр	Значення
Об'єм камери, л	7,2
Максимальна температура, °C	1100
Матеріал робочої камери	Кераміка
Розмір робочої камери, мм	200x300x130
Потужність, кВт	3,3

При виконанні теоретичних досліджень нами виконано порівняльний аналіз використання рослинної біомаси в якості палив та порівняння їх із звичайними викопними паливами.

Таблиця 3.3

### Порівняння властивостей рослинної біомаси з іншими видами палива

Вид палива	Нижча теплотворна здатність (МДж/кг)	Калорійність (ккал)	% золи	% сірки
Дрова	10	2400	2	0
Палети солом'яні	15,5	3700 – 3800	2,2	0,1
Палети дерев'яні	18,4	4400 – 4500	2,5	0,1
Кам'яне вугілля	15 – 20	3600 – 4800	10 – 35	1 – 3
Буре вугілля	14 – 22	3350 – 5250	10 – 35	1 – 3
Торфобрикети	14,9	3560	23	1 – 3
Природний газ	35 – 38 МДж/м <sup>3</sup>		0	0

Аналіз показує, що по теплотворній здатності паливні гранули із рослинної біомаси відповідають викопному вугілля. Проте паливні гранули з біомаси містять значно меншу кількість золи, що робить їх досить привабливим джерелом енергії для котельних установок.



Покращити використання відходів деревини та сільського господарства можна шляхом підвищення жаропродуктивності, яка є важливою теплотехнічною характеристикою палива [6]. Жаропродуктивність відображає якість палива і свідчить про можливість його використання для проходження високотемпературних процесів. Чим більша величина жаропродуктивності палива, тим вища їх.

Жаропродуктивність палива в основному залежить від двох чинників: вологості та зольності. Вплив вологості та зольності на жаропродуктивність біомаси представлено в рис. 3.5.

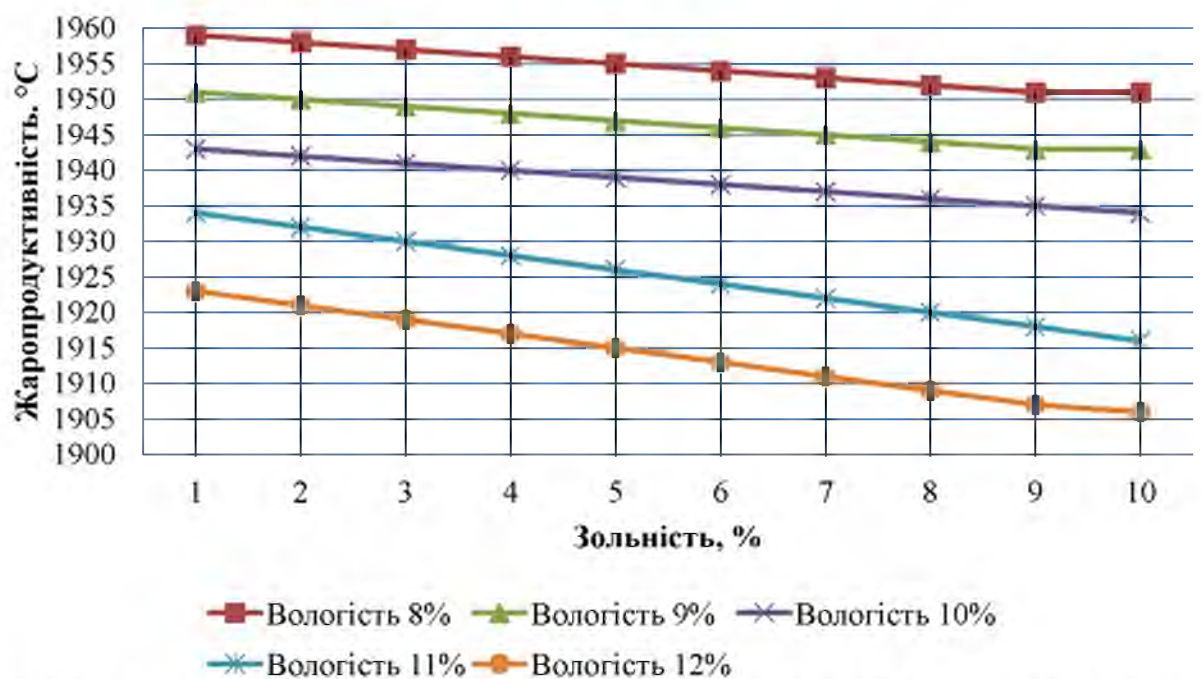


Рисунок 3.5 Залежність жаропродуктивності від вологості та зольності сировини

Жаропродуктивність біомаси з вологістю 12% при зольності 5% складає 1915°C, а біомаса з вологістю 8% має жаропродуктивність 1955°C. Водночас зменшення зольності сировини з 5 до 3% (при вологості 10%) приводить до зростання жаропродуктивності лише на 2°C. Це свідчить про те, що зольність деревини слабо впливає на жаропродуктивність порівняно з вологістю. Отже, на величину жаропродуктивності деревини найбільший вплив має вологість.

Також виконано аналіз екологічних показників використання біомаси

Солома, як і біомаса в цілому, є CO<sub>2</sub> – нейтральне паливо, тобто споживання CO<sub>2</sub> з атмосфери в процесі росту злакових культур відповідають емісії CO<sub>2</sub> в атмосфері при спалюванні соломи. З огляду на додаткові викиди CO<sub>2</sub>, які відбуваються при зборі, транспортуванні та підготовці соломи для спалювання, зниження емісії CO<sub>2</sub> при заміні вугілля, що спалюється в котлі, на солому становить близько 90%. Однак, в соломі містяться небажані елементи, % (мас): азот – 0,45-1,13, калій – 0,5-1,7, хлор – 0,11-0,77. Вміст сірки в соломі різних культур коливається від 0,10 до 0,77% (мас). Найменша концентрація сірки спостерігається в соломі озимого жита (~ 0,16% (мас)) і озимої пшениці (~ 0,18% (мас)), найбільша - у соломі ріпаку (~ 0,56% (мас)).

Найважливішими критеріями з погляду властивостей пелети як палива є: вологість, зольність, теплотворна здатність, насипна щільність та щільність як матеріалу, матеріальна міцність, брак фракції.

На основі проведеного порівняння можна зробити висновки, що паливні гранули із соломи мають такі основні переваги:

Наявність значної кількості соломи, яка не використовується в подальшому і вимагає утилізації, в зв'язку з цим, відносно невисока її вартість.

Солома є нейтральним паливо (при спалюванні і при природному розкладанні виділяється рівну кількість CO<sub>2</sub>) і не впливає на посилення парникового ефекту.

Висушена в природний спосіб солова не вимагає використання дорогого сушильного обладнання перед її гранулюванням.

Таблиця 3.4

Характеристика якості зразків паливних гранул України [1]

Параметри	Паливні гранули деревні	Паливні гранули з лущиння соняшнику	Паливні гранули з соломи
	1	2	3
Мета використання	Для побутових споживачів	Для котелень (тепло та електростанцій)	Для котелень (тепло та електростанцій)
Сировина	Хвойні породи,	Лущиння	Солома пшениці,



	дуб, бук, осика, тополя	соняшнику	проса, гречки
Діаметр, мм	6; 8	6; 8	6; 8
Довжина, мм	<50	10 – 50	10 – 50
Щільність, кг/дм <sup>3</sup>	>1,12	1 – 1,14	1 – 1,12
Вміст вологи, %	<10	<10	<10
Зольність, %	<0,04	<0,01	відсутній
Теплота згорання, МДж/кг	>18	17,9 – 19,9	15 – 19,8
Насипна щільність, кг/дм <sup>3</sup>	0,65	0,6 – 0,64	0,585

### 3.3 Методика проведення експериментальних досліджень по визначенню вологості сировини

При проведенні дослідження першим нашим кроком було відкалібрування аналітичних ваг. Потім ми зважили наші порожні бюкси та записали отримані значення в таблицю 3.3. Після цього заповнили наші бікси сировиною по три на кожний вид досліджуваного матеріалу та знову зважили їх. Наступним кроком нашого дослідження було те, що ми висушували наважку продукту в бюксах за допомогою муфельної печі при температурі 105 оС протягом п'яти годин. Коли завершився процес сушіння ми дістали наші бюкси з муфельної печі і охолодили їх та зважили на аналітичних вагах. Визначили масову частку вологи за допомогою формули 3.1.

$$W = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100; \quad (3.1)$$

де: W – масова частка вологи, %;

G1 – поточна маса продукту, г;

G2 – кінцева маса продукту після висушування, г.

Таблиця 3.3

Результати проведеного дослідження

Параметр	Номер б'юкса								
Матеріал	тирса			солома			полова		
Вага порошку, г	0,73	0,61	0,87	1,1	3,1	4,96	0,73	0,61	0,87
Вага заповненого, г	0,75	9,86	0,2	9,45	9,65	7,17	2,5	2,45	2,55
Вага після висушування, г	9,99	9,05	9,38	8,82	9,09	6,4	2,08	1,78	2,1
Вологість, %	,47	,03	,71	,14	,88	,07	,86	,06	,99

При проведенні експериментів приймали трикратну повторність дослідів.

Метою проведення експерименту було встановлення залежності вологості сировини на якість отриманих паливних гранул. На основі проведення аналізу літературних джерел та теоретичних досліджень було встановлено, що найвагомим параметром, який безпосередньо впливає на якість гранули є відносна вологість початкового матеріалу.

Під час проведення експерименту по визначенню впливу вологості сировини на якість готової продукції ми використали три різних види матеріалу, а саме тирсу соломі та полову з вологістю 8-12% [3]. За результатами дослідження було встановлено, що при вологості сировини 10% паливні гранули є найбільш однорідними, міцними, мають гладеньку дзеркальну поверхню та не руйнуються від дії зовнішніх сил. Нами було встановлено, що при вологості 10% в рослинній сировині під час процесу гранулювання найактивніше виділяється така речовина, як лігнін завдяки якій гранули є міцними та зберігають свою форму досить тривалий час. При більшій

вологості наші гранули після охолодження мають неоднорідну форму і швидко руйнуються, також при більшій вологості дані гранули мають нижчу енергоефективність. Коли вологість сировини становила 18% наші гранули виходили неоднорідними і швидко руйнувалися за рахунок недостатньої кількості лігніну який виділявся з пресуючого матеріалу. При проведенні експериментів приймали трикратну повторність дослідів.

### 3.4 Дослідження взаємозв'язку характеристик сировини на товщини матриці гранулятора

Робочий процес вальцового преса має свої специфічні особливості, які пов'язані з безперервною дією кільцевої або плоскої матриць, робочі органи яких здійснюють обертальний рух.

Кільцева матриця 1 (рис. 3.6) з радіально розташованими каналами 2 обертається за годинниковою стрілкою. З внутрішньою поверхнею матриці стикається пресуючий валець (ролик) 3, який обертається в тому ж напрямку. У зону 4 захвату між внутрішньою поверхнею матриці і зовнішньою поверхнею ролика, які наближуються, подається сировина, яка спочатку ущільнюється, а потім подається в канали 2 матриці і проштовхується через них. Моноліти 7, які виходять з каналів, при зустрічі з нерухомим ножем 8 руйнуються, формуючи готові гранули.

Для пресів великої потужності матриці мають значні розміри, саме тому їх нерухомо закріплюють. Активно роботу виконують ролики, які приводяться в рух електродвигуном через водило. Ніж обертається із зовнішнього боку матриці.

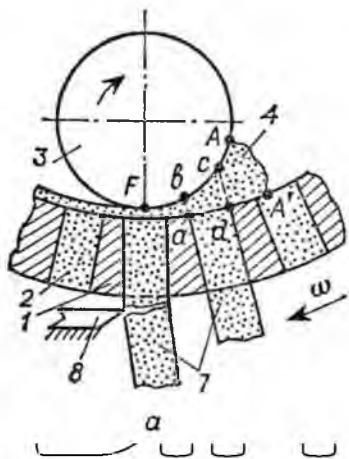


Рисунок 3.6. Схема утворення моноліту в відкритому каналі з

рухомим упором кільцевої матриці [46]

Таким чином, у вальцовому пресі з кільцевою (або плоскою) матрицею стадії пресування сировини передує стадія зіштовхування його з майданчиків перемичок, сумарна площа яких в грануляторах сягає 50-60% від всієї площі робочої поверхні матриці. Під час виконання цього процесу відбувається технологічне (подрібнення), що грає важливу роль в енергетичному відношенні.

В круглій матриці "пуансоном" стає стовпчик  $abcd$  пресованої сировини, який розміщений над каналом. Коли сили, які прикладаються на виконання роботи з боку цього стовпчика перевернуть протидію моноліту в каналі, він, в свою чергу зрушить з місця, почнеться стадія проштовхування, і стовпчик  $abcd$  з камери стискування переміститься в канал. Із зменшенням протидії тиску (тертя спокою змінилося тертям руху) напруженість в камері стискування також зменшується, і сировина із цілини від створюючої  $F$  самостійно "перетікає" в канал для пресування. Потрапляння сировини в канал й проштовхування її по самому каналу відбувається доти, поки відстань між роликсом й матрицею над самим каналом не досягає мінімального значення даної величини. Для грануляторів відстань має становити в межах 0,3-0,5 мм. Значна відстань небажана, оскільки це може призвести до надмірних витрат енергії на повторні стискування шару при подальших циклах пресування, розташованого на внутрішній поверхні матриці.

В результаті планування експерименту нами розроблена плоска матриця яка була розбита на 11 секторів в якій було пресвердлено отвори із різним діаметром від 6 мм до 8 мм із кроком 0,2 мм. Начальна довжина каналу пресування становила 30 мм. Під час роботи спостерігалось чи працюють відповідні канали, поступово зменшуючи довжину каналу пресування за рахунок виконанні фрезерування матриці, визначали момент і довжину коли отвори відповідного діаметру переставали формувати гранулу. Отримані дані заносили в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6

Вплив діаметру каналу пресування на його довжину (товщину матриці)

Назва параметра	Позн	Значення										
Діаметр каналу, м	$d_k$	0,06	0,062	0,064	0,066	0,068	0,07	0,072	0,074	0,076	0,078	0,08
Довжина каналу пресування, м	$l$	0,201	0,22	0,223	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28

Виконавши аналіз таблиці 3.6 побудуємо графік впливу на товщину матриці діаметру каналу пресування.

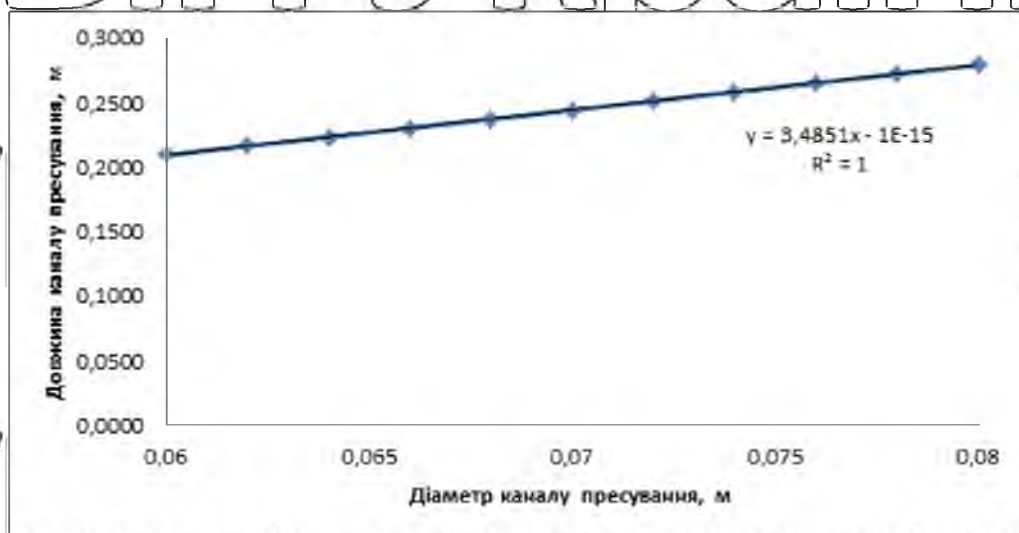


Рисунок 3.7. Залежність довжини каналу пресування (товщини матриці) від його діаметру

З графіка походить, що діаметр каналу пресування впливає товщину матриці, за лінійною залежністю.

$$l = 3,4852 d_k \quad (3.2)$$



Також ми провели дослідження насипної щільності сировини на довжину каналу пресування та якість паливної гранули. Результати проведених експериментальних досліджень дослідження впливу насипної щільності матеріалу на довжину каналу пресування представлено на рис. 3,8.

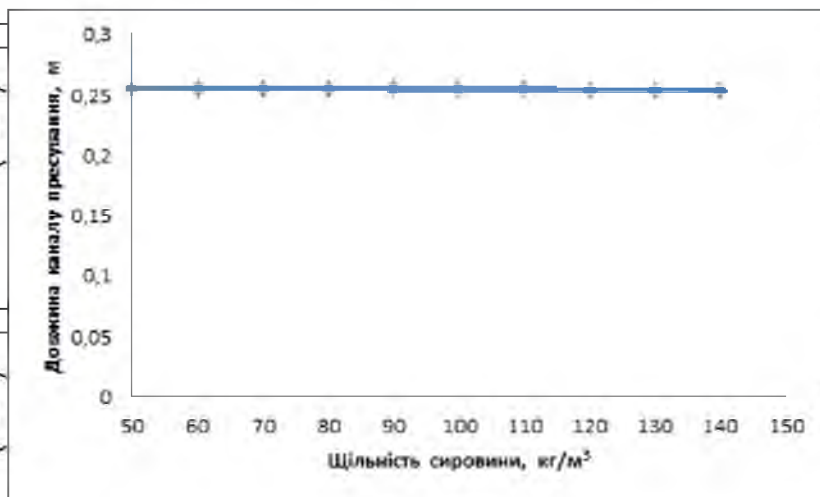


Рисунок 3.8. Залежність довжини каналу пресування (товщини матриці) від насипної щільності матеріалу пресування.

Проведені дослідження показали що насипна щільність не впливає на довжину каналу пресування.

**Висновки до розділу** Таким чином можна зробити висновок про вплив на товщину матриці діаметру пресування, при збільшенні діаметра пресування товщина матриці зростає лінійно, а при збільшенні коефіцієнту тертя соломи об матеріал матриці, товщина матриці зменшується згідно поліноміального закону 2-го ступеня.

## ВИСНОВКИ

Згідно із завданням до магістерської роботи в ній було розраховано та запропоновано технологічну лінію для виробництва твердопаливних гранул з сільськогосподарської сировини. За результатами дослідів та розрахунків була доведена техніко-технологічна доцільність впровадження твердопаливного виробництва на базі сільськогосподарського

1. Слід зазначити, що за загального дефіциту гумусу в більше 67 кг/га, використання соломи на теплові потреби неможливе через недотримання умови позитивного балансу гумусу. Граничний обсяг соломи, яку можна використовувати на теплові потреби, за нульового балансу гумусу, становить близько 40 %.

2. Становлено що виробництво твердих видів біопалива з органічної сировини рослинницького походження буде ефективним за умови дотримання технологічних вимог до процесу підготовки сировини для переробки та узгодження основних техніко-економічних характеристик усіх елементів лінії гранулювання. Сучасні види обладнання, призначеного для спалювання твердого біопалива, дають змогу використовувати різні способи термічної переробки біопалива (спалювання, газифікація, піроліз). Вибір лінії гранулювання та обладнання для спалювання має здійснюватися у кожному конкретному випадку з урахуванням параметрів устаткування та площі приміщення, для якого воно призначене.

3. Досліджено і обґрунтовано оптимальні параметри вологості сировини, як однієї з основних вимог до якості паливних гранул. Це дає можливість отримувати продукцію найвищої якості та бути конкурентним на ринку. Встановлено що, зольність та вологість має досить суттєвий вплив, на характеристики гранули як палива.

4. Було встановлено, що існує залежність між діаметром каналу і його довжиною, якщо канал не буде мати відповідної довжини формування якісної гранули не відбувається. Дослідження показали, що із збільшенням діаметру каналу пресування його товщина збільшується лінійно.

## Список використаних джерел

1. Альтернативна енергетика. [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнев, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К.: «Аграр Медіа Груп», 2011. – 612 с.

2. Альтернативна енергетика: [навч. посібник] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, С.М. Кухарець [та ін.] // К.: «Аграр Медіа Груп», 2012. – 244 с.

3. Альтернативна енергетика: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / [М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко та ін.] - К.: Аграр Медіа Груп, 2011. - 612 с.

4. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії : монографія / О. Адаменко, В. Височанський, В. Льотко, М. Михайлів. – Івано-Франківськ: ІМЕ, 2001. – 432 с.

5. Андрійчук В. Г. Економіка аграрних підприємств. — К.: КНЕУ, 2000.

6. Батіг А.І. Планування та організація діяльності аграрного підприємства. - К.: Аграрна освіта, 2002.

7. Березівський П. І. Організація виробництва в аграрних формуваннях - К.: Центр навчальної літератури, 2005.

8. Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад. Науково-методичні рекомендації / В.О. Дубровін, М.Д. Мельничук, Ю.Ф. Мельник та ін. – К.: НУБіП України, 2009. – 122 с.

9. Бородіна О.М. Державна підтримка сільського господарства: концепція, механізми, ефективність / О.М. Бородіна // Економіка і прогнозування. – 2006. – №1. – С. 109-126

10. Варламов Г.Б. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії: підручник / Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, В.А. Маляренко. – К.: ІВЦ «Вид-во "Політехніка"», 2003. – 232 с.

11. Викиди шкідливих речовин стаціонарними джерелами у повітря Житомирщини за 2009 рік : стат. бюлетень / Гол. упр. статистики у Житомир. обл. – Житомир, 2010. – 22 с.

12. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, Ю. Б. Матвеев, М. М. Жовнір // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 2. – С. 85–93.

а. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна, Б.Ю. Матвеев, М.М. Жовнір // Пром. теплотехника. – 2006. - Т. 28, №2. – С. 85-93.

13. Виробництво пеллет [Електронний ресурс]: Офіційний сайт компанії «Біоресурси Україна». - Режим доступа: <http://bioresource.com.ua>.

14. Войтов В. А. Физико-химическая модель биомассы как объекта гранулирования / В. А. Войтов, М. В. Бондаренко, В. А. Бунецкий // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2014. - Вип. 147. - С. 158-167.

15. Гавриш В. І. Альтернативні паливно-енергетичні ресурси в агробізнесі / В. І. Гавриш // Економіка АПК. – №7. – 2007. – С. 55–61.

а. Гелетуха Г.Г. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 6. – С. 3–11

16. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні / Аналітична записка Біоенергетична асоціація України №7. - 2014.

17. Половков С. И., Коперия И. Ф., Найденов В. И. Энергетическое использование древесных отходов.-М.: Лесн.пром-сть, 1987. - 220 с.

18. Гордієнко О.В. Організація виробництва: Навчальний посібник/ Гордієнко О.В., - К.: Агарна освіта, 2010.

19. Гуков Я. С. Використання поновлюваних джерел енергії в сільському господарстві [Електронний ресурс] / Я. С. Гуков // II-Международный форум по вопросам ведения рентабельного высокоэффективного



сільськогосподарського виробництва. ІнтерАгро 2006 : науч.-практ. конф. –

Режим доступу: <File://H:/f/Научно-практическая конференция/Разделы.htm>.

20. Дацишин О.В., Ткачук А.І., Гвоздев О.В. та ін. Технологічне обладнання деревообробних та олійних виробництв / За ред. О.В. Дацишина.

Навчальний посібник. - Вінниця: Нова Книга, 2008. – 488 с.

21. Дзяди́кевич Ю. В., Гевко Р. Б., Розум Р. І., Буряк М. В. Підвищення ефективності використання твердого біопалива (огляд) // Вісник інженерної академії України. Київ. 2010. – № 3 – 4, С. 213 – 219.

22. Дзяди́кевич Ю. В., Розум Р. І., Буряк М. В. Управління енергозабезпеченням шляхом використання вторинних енергоресурсів.

Всеукраїнський науково-виробничий журнал Інноваційна економіка. - №2 Тернопіль, 2010 р.

23. Дячун О. В. Організація і нормування та оплата праці - Л.: Афіша, 2004.

24. Екологія відходів: наук. монографія / В.А. Бурлака, І.Г. Грабар, І.І. Хом'як [та ін.] під заг. ред. В.А. Бурлаки. - Житомир: Ви-во «Рута», 2007. – Кн. 1. – 512 с.

25. Енциклопедія бізнесмена, економіста, менеджера / за ред. Р.М. Дякіна. – К.: Міжнародна економічна фундація, 2002. – 704 с.

26. Жовнір М. Солома обігріє села / М. Жовнір, Є. Олійник, С. Чаплигін // Агросектор. – 2007. - №5. – С. 28-31

27. Закон України "Про альтернативні види палива" від 14.01.2000 року № 1391-XIV.

28. Іванюта В.Ф. Методологічне забезпечення розвитку аграрного виробництва регіону автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора екон. наук.: 08.00.05 / В.Ф. Іванюта. – Київ, 2009. – 39 с.

29. Калетник Г.М. Розвиток ринку біопалив в Україні: монографія / Г.М. Калетник. – К.: Аграр. наука, 2008. – 464 с.

30. Калетник Г.М. Формування ринку біосировини для виробництва біопалива / Г.М. Калетник // Вісн. аграр. науки. – 2008. - №7. – С. 64-66.



31. Кафлевська С.Г. Економічна оцінка енергетичної продуктивності сільськогосподарських культур / С.Г. Кафлевська, О.Ф. Томчук, О.П. Красняк // Вісн. наук. пр. Вінницького НАУ. – 2010. – Вип. 42, т. 1. – С. 27-31.

32. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси / Г. Гелетеха, В. Крамар, О. Епик, Т. Антошук, В. Тітков – Київ 2016. – 334с.

а. Кухарець В.В. Потенціал сільськогосподарської органічної сировини рослинного походження для енергетичних потреб / В.В. Кухарець // Вісн. Житомир. агрокол. ун-ту. – 2009. - № 2, т. 2 – С. 359-365.

33. Лакемеєр Е. Виробництво біоенергії в Україні / Е. Лакемеєр // Пропозиція. 2007. №11. С. 30

34. Лакемеєр Е. Виробництво біоенергії в Україні: конкурентоспроможність сільськогосподарських культур та іншої сільськогосподарської та лісогосподарської сировини: (консультативна робота № 11) [Електронний ресурс] / Е. Лакемеєр. – Режим доступу: <http://ierpc.org/ierpc/papers>.

35. Лакида П.І. Енергетичний потенціал біомаси в Україні / [Лакида П.І., Гелетуха Г.Г., Васишин Р.Д., та ін.], відповід. наук. ред. д.с.-г.н., проф. П.І. Лакида; Навчально-науковий інститут лісового і садово-паркового господарства НУБіП України. - К: Видавничий центр НУБіП України, 2011. - 28 с. ISBN 9784966480064838.

36. Маньківський А. Є. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції.- М.: ВКП Аспект, 2002.

37. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін.; За ред. С.С. Яцуна. - К.: Мета, 2003.-448с.

38. Наукове забезпечення автоматичної автономізації агропромислового виробництва на основі використання біопалива / Квак В.М. – К: Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН 2017. – 197 с.

39. Новітні технології біоконверсії: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелету́ха, І.Н. Григорюк, В.О. Дубровін, А.П. Смедь, Г.М. Забарний, Г.М. Калетник та ін. – К. «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.

40. Основи землеробства: підручник / [О.Ф. Смаглій, М.Ф. Рибак, Є.М. Данкевич та ін.]; за ред. О.Ф. Смаглія. – Житомир: Вид-во ВДНЗ «Держ. агрокол. ун-т», 2008. – 514 с.

41. Основи технологій виробництва в галузях народного господарства навч. посібник / Є.П. Желі́ко, Д.В. Анопко, В.М. Буслик [та ін.]. – К.: Кондор, 2005. – 716с.

42. Особливості виробництва полет в Україні. Економічні аспекти / В. Бунецький – Київ, 2016.

43. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні / Г.Г. Гелету́ха, Т.А. Жбе́зна, М.М. Жовмір [та ін.] // Промислова теплотехніка. - 2010. - Т.32, №6.-С. 58-65.

44. Пархомченко В.В. Эколого-экономический анализ использования возобновляемых источников энергии в Сумской области / В.В. Пархомченко, Е.В. Шкарупа // 36. наук. пр. ПДАТУ. – 2009. – Спец.вип. – С. 73-75.

а. Пархомчук О.С. Конверсія в контексті системної еволюції міжнародних відносин: автореферат дис. ... д-ра політ. наук: 23.00.04 / О.С. Пархомчук. – К., 2006. – 38 с. – укр.

45. Перспективи вирощування міскавусу гігантського на Заході та Півночі України / Квак В.М. – К: Інститут біоенергетичних культурі цукрових буряків НААН 2016. – 122 с.

46. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / В. О. Дубровін, Л. Д. Романчук, С. М. Кухарець [та ін.]; відп. ред. О. В. Скидан. – К. : Центр учбової літератури, 2014. – 335 с.

47. Перспективы экологической конверсии сельскохозяйственного производства / В.Н. Писаренко, П.В. Писаренко, В.В. Писаренко [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agromage.com/stat-id.php?id=574>.

48. Політична економія: навч. посіб. / Г. А. Оганян, В. О. Паламарчук, А. П. Румянцев [та ін.] ; за заг. ред. Г. А. Оганяна. - К.: МАУП, 2003. - 320 с.

49. Посібник «Економічне обґрунтування доцільності переходу на опалення твердим біопаливом. Гармонізація українських стандартів та стандартів ЄС» / «Український Pelletний Союз». - 2014.

50. Про альтернативні джерела енергії: закон України від 20.02.2003 р. № 555-IV // Відомості Верховної Ради України. - 2003. - № 24. - Ст. 155.

51. Сарана В.В. Багатокритеріальна оцінка сучасного обладнання для виготовлення паливних гранул і брикетів з відходів переробки сільськогосподарських культур і деревини / В.В. Сарана, М.М. Гудзенко, С.М.Кухарець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія техніка та енергетика АПК. - К., 2010. - Вип. 144, ч. 4, С. 190-197.

52. Технологія виробництва продукції тваринництва: підручник / О.Т. Бусенко, В.Д. Столюк, М.В. Штомпель [та ін.] ; за ред. О.Т. Бусенка. - К.: Аграр. освіта, 2001. - 432 с. (19)

53. Технологія виробництва твердого біопалива з міскантусу / Ганженко О.М., Гументик М.Я., Квак В.М. - К: Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН 2016. - 93 с.

54. Топалов А. Д. Організація виробництва в підприємствах АПК - К.: Центр навчальної літератури, 2006.

55. Хайліс Г.А. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / Г.А. Хайліс, А.Ю. Горбовий та ін. - Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 1998. - 268с.

56. Царенко О.М. Основи екології та економіки природокористування / О.М. Царенко, О.О. Несветов, М.О. Кадацький. - Суми: Вид-во «Університетська книга», 2001. - 326 с.

57. Черевко Г.В. Економіка природокористування / Г.В. Черевко, М.І. Яцків. - Львів: Світ, 1995. - 208 с.

58. Шудренко В.І. Економічна та екологічна оцінка змін: метод. поради / В.І. Шудренко. – Житомир, 2007. – 10 с.

59. Яворов В. Обладнання для виробництва поновлюваної енергії / В. Яворов, В. Ясенецький // Пропозиція. – 2007. – № 11. – С. 104-106.

60. <http://analitic.ub.ua/17956-virobnictvo-palivnih-granul-krok-za-krokom.html>

61. <http://bbm.com.ua/ua/blog/chto-takoe-pellety-ili-toplivnye-granuly-dlya-kotla>

62. <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/2344/>

63. <http://jak.magey.com.ua/articles/tehnologija-virobnictva-pelet-z-palivnih-tirsi.html>

64. <http://pelleta.com.ua/articles-drevesnye-pellety-zakonodatelnye-i-prakticheskie-3.html>

65. <http://pellet-energy.biz/uk/korisno-znati/dopovnennya-do-norm-enplus-sertifikatsiyi-pelet/>

66. [http://pidruchniki.com/73012/ekologiya/tehnologiy\\_virobnitstva\\_tverdogo\\_paliva\\_biomasi](http://pidruchniki.com/73012/ekologiya/tehnologiy_virobnitstva_tverdogo_paliva_biomasi)

67. <http://propozitsiya.com.ua/alternativne-teplozabezpechennya-apk-ch-1>

68. <http://raotherm.com.ua/biofuel-pellets/>

69. <http://remontu.com.ua/palivni-granuli-peleti-derevni>

70. <http://ru.teplowiki.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%8B>

71. <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/4992.pdf>

72. [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%96\\_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%83%D0%BB%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%96_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%83%D0%BB%D0%B8)

73. <https://ukr.kupoll.com.ua/statti/pelletu-ili-briketu.html>

74. [https://www.apd-ukraine.de/images/PP37\\_Pellets\\_UKR\\_f.pdf](https://www.apd-ukraine.de/images/PP37_Pellets_UKR_f.pdf)