

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
охорони праці та біотехнічних систем у  
тваринництві  
(назва кафедри)

В.С. Хмельовський  
(ПІБ)  
2022 р.

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему **Дослідження процесу та обґрунтування параметрів плоско  
матричного гранулятора з розробленням заходів безпеки праці**  
Спеціальність 208 «Агроінженерія»  
Освітня програма – Агроінженерія  
Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Гарант освітньої програми  
Д.Т.Н., С.Н.С.  
(науковий ступінь та вчене звання)  
Братішко В.В.  
(ПІБ)

Керівник магістерської роботи  
К.Т.Н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)  
Сременко О.І.  
(ПІБ)

Виконав

Хвостенко В.В.

(підпис)

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві

д.т.н., проф. В.С. Хмельовський

(наук. ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

\_\_\_\_\_ 2022 р.

### ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

Хвостенку Віталію Валентиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема магістерської роботи Дослідження процесу та обґрунтування параметрів плоско матричного гранулятора з розробленням заходів безпеки праці

затверджена наказом ректора НУБІП України від “ 21 ” грудня 2021 р. № 2218 С

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 25 жовтня 2022 р.

(рр. місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи: Науково-технічна документація та інформаційні джерела техніко-технологічних основ пелетування біомаси у гранульоване біопаливо.

Перелік питань, які потрібно розробити.

1. Огляд технологій виробництва твердого біопалива та постановка завдань роботи.
2. Аналіз технічних засобів для пелетування біомаси, дослідження процесу та вибір перспективного типу машини.
3. Визначення розрахунковим методом техніко-технологічних параметрів робочих органів для пелетування біомаси.
4. Техніко-економічне обґрунтування розробки.
5. Розроблення заходів безпеки праці та довкілля на виробництві пелет.

Перелік графічних матеріалів у слайдах презентації.

1. Схема технологічної лінії виробництва пелет в умовах господарства.
2. Класифікації засобів для пелетування біомаси на енергетичні цілі.
3. Конструктивно-функціональна схема перспективного прес-гранулятора.
4. Графічні залежності результатів досліджень процесу пелетування.
5. Таблиця техніко-економічних показників розробки

Дата видачі завдання “28” грудня 2021 р.

**Керівник магістерської роботи**

Єременко О.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв до виконання**

Хвостенко В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

## ЗМІСТ

Завдання до виконання магістерської роботи .....	2
Реферат .....	5
Вступ .....	6
1. ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ ТВЕРДОПАЛИВНОЇ ГАЛУЗІ .....	8
1.1. Актуальність розвитку відновлювальних видів енергії .....	8
1.2. Енергетична біомаса як складова відновлювальної енергетики .....	11
1.3. Потенціал енергетичного використання біомаси .....	13
1.4. Технологічні основи переробки біомаси у гранульоване паливо .....	19
1.5. Міжнародні стандарти й вимоги до біо паливних гранул .....	20
2. АНАЛІЗ ПРЕС-ГРАНУЛЯТОРІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПЕЛЕТ .....	23
2.1. Огляд пресувальних механізмів грануляторів .....	23
2.2. Аналіз пресування біомаси в філь'єрах .....	26
2.3. Аналіз плоско матричних грануляторів і виробничих ліній .....	30
2.4. Вибір перспективного типу гранулятора для лінії виробництва пелет .....	34
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛОСКОМАТРИЧНОГО ГРАНУЛЯТОРА .....	37
3.1. Дослідження аналітичних залежностей при ущільненні біомаси .....	37
3.2. Дослідження впливу опору перекочування на рух ролика по матриці .....	40
3.3. Пропозиції щодо удосконалення будови пресувального вузла .....	44
3.4. Аналіз динамічних процесів удосконаленого прес-гранулятора .....	44
3.5. Розрахунок споживчої потужності пресувального вузла .....	46
3.6. Розрахунок техніко-технологічних параметрів матриці .....	47
4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБКИ .....	50
4.1. Економічні розрахунки дослідженого прес-гранулятора .....	50
5. РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЦТВІ .....	54
5.1. Заходи безпечної праці на твердопаливному виробництві .....	54
5.2. Пиле виділення / вибухонебезпечність на пелетних підприємствах .....	57
5.3. Заходи щодо запобігання та локалізації пилових вибухів .....	57

5.4. Вказівки заходів безпеки при роботі на прес-грануляторі ..... 58

5.5. Аналіз виникнення та шляхи усунення пожежних небезпек на pelletних виробництвах ..... 61

Висновки та пропозиції ..... 65

Список інформаційних джерел ..... 68

Додатки ..... 73

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

## РЕФЕРАТ

**НУВБІП України**

Магістерська робота на тему: **Дослідження процесу та обґрунтування параметрів плоско матричного гранулятора з розробленням заходів безпеки праці** включає розрахунково-пояснювальну записку обсягом 78 сторінок машинописного тексту, що містить 30 формул, 26 рисунків, 6 таблиць, 52 використаних джерела, 5 додатків, та ілюстративний матеріал (презентацію) на 15 слайдах.

**ТЕХНОЛОГІЇ, ПРОЦЕСИ, БІОМАСА, ПЕЛЕТИ, ПРЕС-ГРАНУЛЯТОР РОБОЧІ ОРГАНИ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПАРАМЕТРИ, ОБґРУНТУВАННЯ, БЕЗПЕКА ПРАЦІ**

**НУВБІП України**

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності

виробництва паливних гранул (пелет) з біомаси шляхом обґрунтування технології та техніко-технологічних параметрів перспективного плоско матричного гранулятора.

У вступі надані відомості про сучасний стан у твердопаливній галузі, визначена роль процесу пелетування біомаси, доведена актуальність теми.

У першому розділі проаналізовані технології виробництва твердих видів біопалива з аграрних відходів, прийнято схему виробництва в господарстві.

У розділі два проаналізовано процеси і засоби для пелетування біомаси.

У третьому розділі проведено дослідження процесу пелетування біомаси у пелети, обґрунтовано основні параметри плоско матричного прес-гранулятора.

В четвертому розділі обґрунтовано техніко-економічна ефективність розробки.

У п'ятому розділі розглянуті заходи з безпеки праці на виробничій дільниці.

У висновках описані розрахункові показники проекту, сформовані пропозиції подальшого удосконалення будови і процесу перспективного прес-гранулятора.

**НУВБІП України**

## ВСТУП

Для виробництва гранульованого твердого біопалива, як правило, застосовують наступні матеріали: вторинні продукти аграрних та переробних підприємств, а саме: незернову частину урожаю, залишки перероблення зерна на борошно, крупи тощо, відходи лісозаготівлі та деревообробки; торф; спеціально вирощені енергетичні рослини тощо. Проблемними питаннями використання традиційних непресованих видів палив з біомаси, як вторинної маси профільних виробництв, має місце низька якість та щільність, висока вологість тощо. Це призводить до потреби здрібнювати, сушити, пресувати для зменшення витрат при перевезенні, збереженні та застосуванні у системах опалення.

Відповідно до вітчизняних законопроектів щодо стимулювання виготовлення біопалива твердих видів, крім того приймаючи до уваги енергетичні кризи у масштабах світових, а також аналізуючи ситуацію сучасну екології на сьогодні, є гостра проблема негайного розвитку підприємств з виробництва альтернативних палив, у т.ч. з відходів та вторинної продукції аграрних та лісових господарств для поповнення паливно-енергетичного місцевого та регіонального ресурсу. Паливні гранули (пелети) у теперішній час інтенсивне набувають поширення в багатьох країнах світу.

Рослинні пелети отримують шляхом пелетування (екструзії) біомаси за допомогою засобів - прес-грануляторів. Під час роботи цього обладнання і отримання пелет сировинна біомаса подається поступово в дробарку, просіювач, сушарку, прес-гранулятор та інші машини, де сипучий матеріал переробляється і формується у пелети. Під час ущільнення підвищується температура біомаси, лігнін, що міститься в рослинних матеріалах, плавиться і зчіплює дисперсні частинки у філь'ерах матриці. В результаті отримуються монолітні циліндричні вироби – гранули (пелети). Сформовані пелети охолоджують, упаковують у паки до 40 кг. Приблизно на виготовлення 1 т гранул розкодується біля 5 м<sup>3</sup> відходів.

Суттєвою перевагою застосування пелет можна назвати показник покращення екології. Тому що використання твердого біопалива, якщо порівняти з традиційними

паливами, знижує у великій мірі забруднення атмосфери та навколишнього середовища. В результаті знижується ймовірність прогресування ефекту парникового. Пояснення просте: при згоранні біомаси звільняється вуглекислого газу стільки скільки флора забирає під час свого росту, фотосинтезу. Пелети виготовлені саме з цієї біомаси. Таке явище носить назву закритого вуглецевого обміну.

Зазвичай, паливні копалини під час згорання викидають вуглекислотний газ, що накопився за багато мільйонів років. Це призводить до істотного збільшення вмісту CO<sub>2</sub> в довіллі й атмосфері, а також до антропогенного ефекту. При застосуванні біопалива зменшуються викиди двоокису сірки, що понижує ймовірність кислотних дощів і загибелі лісів та іншої флори.

Мета магістерської роботи - підвищення ефективності виробництва біопалива у пелетах шляхом обґрунтування плоско матричного прес-гранулятора біомаси.

Для досягнення мети роботи необхідно виконати поставлені задачі:

- проаналізувати будову та робочі процеси сучасних твердопаливних прес-грануляторів, визначити тип перспективної машини для подальших досліджень;
- визначити фізико-механічні показники сировини для виробництва пелет з біомаси;

- теоретично доєдидити явище пелетування біомаси у пелети;

- визначити та обґрунтувати основні параметри робочих органів матричного прес-гранулятора з плоскою матрицею;

- визначити економічну ефективність роботи перспективного прес-гранулятора;

- розробити заходи з безпеки праці та екології.

Об'єкти досліджень – процес пелетування біомаси, техніко-технологічні параметри плоско матричного прес-гранулятора.

Предмет досліджень – обґрунтування параметрів процесу та конструкції робочих органів перспективного прес-гранулятора.

## Розділ 1.

## ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ ТВЕРДОПАЛИВНОЇ ГАЛУЗІ

## 1.1. Актуальність розвитку відновлювальних видів енергії

На сьогоднішній день мінеральні палива, до яких відносяться нафта, природний газ, сланці, кам'яне вугілля, тощо. Вони є основою паливо-енергетичного світового ресурсу. Разом з цим, ефект парниковий в останні роки істотно збільшується. Так свідчать фахівці та експерти [1-4]. Пояснення полягає у техногенних факторах, а саме: викиди парникових газів при згоранні надрових палив, таких як нафта, природний газ, кам'яне і буре вугілля тощо. Вони є залишками колишніх біосфер. Зараз людство отримує близька (80-86) % всієї енергії зі згаданих видів паливних джерел [3].

Відновлювана або регенеративна енергія – вид такої енергії, яка має джерела і властивості відновлюватись, бути невичерпною. Про це свідчить Міжнародне енергетичне агентство (МЕА). Тобто є відомі для всіх енергетичні джерела від сонця, вітру, геотермальних, океанських, тощо ресурсів, у т.ч. паливна біомаса. Відновлювана енергія відрізняється від енергії промислових та побутових видів відходів тим, що вони є як відновлюваними, зокрема включають речовини біологічного розкладу, так і вичерпними. Однак, в більшості ситуацій ці типи і види категорії побічної продукції і відходів оцінюються разом. Тобто МЕА не відносить їх до категорії відновлюваних джерел енергії.

**1.1.1. Екологічні проблеми при використанні мінеральних палив.** На сьогоднішній день мінеральні чи з родовищ палива, до яких належать кам'яне і буре вугілля, нафта, природний газ, горючий сланцевий газ тощо. Вони продовжують бути на 80 % основою паливо-енергетичного потенціалу взагалі в усьому світі.

Головним чинником, який впливає на умову відмови від принципового застосування мінеральних енергетичних джерел, стала екологічна критична ситуація. Питання збереження екології останнім часом виходить на перший план.

За зміною клімату в світі вже нині очевидне настання глобального потепління, в результаті якого тануть льодовики, підвищується рівень Світового океану.

Як наслідок перерахованих змін можна очікувати посилення вітрів, нарощування інтенсивності циклонів тропічних та інших ураганів. Причому признана

тенденція до їх збільшення. Це доведено протягом другої половини минулого ХХ

століття. Дійсно відбувається зростання частоти сильних опадів та значне розширення районів засух. До негативних змін в Європі відносяться підвищення температур та посилення засух на півдні (в результаті – зменшення як водних

ресурсів, так і вироблення гідро електроенергії та продукції сільського господарства,

погіршення умов туризму), зниження снігового покриву і тайння гірських льодовиків,

підвищення ризику небезпечних паводків та повеней катастрофічного характеру,

інтенсивне посилення сезонних опадів, наприклад, в багатьох країнах Європи. Також

відбуваються все частіше потужні лісові і степові пожежі, вигорання торф'яників, а

також скорочення продуктивності лісів і зростання нестійкості ґрунтів в Північній

Європі. В Арктиці ж спостерігається катастрофічне скорочення площ покривного заледеніння та морських льодів, посилюється ерозія берегів.

Більшість дослідників і експертів вважають, що основною причиною

глобального потепління є викиди в повітря та довкілля газів парникових. Вони (гази)

не дозволяють інфрачервоному випромінюванню, що відбивається від літосфери і

гідросфери земної, повертатись в простір космічний. Разом це сприяє збільшенню

загальної температури на поверхні та атмосфері Землі. На нашій планеті головними

небезпечними газами парниковими є: вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) – 9-26 %, метан ( $\text{CH}_4$ ) –

4-9 %, водяна пара, частка якої складає в утворенні ефекту парникового близько 36-

70 %, без урахування хмар, також звісно - озон – 3-7 %.

Відомо, що атмосферні складові  $\text{CO}_2$  і  $\text{CH}_4$  зросли відповідно на 31 % і 149 %.

Це доведено у порівнянні з першою промисловою (індустріальною) революцією, яка

була ще у 18 столітті. Зазначені показники шкідливих природних і техногенних

чинників сягнули за період 650 тисяч років вперше. Досліджено і доведено цей факт

завдяки зразків полярного льоду.

На сьогодні основною світовою угодою на протидію глобальному потеплінню є Кіотський протокол (узгоджений в 1997 р., набув чинності в 2005 р.). Суттєвим додатком є факт до конвенції ООН про змінення клімату. Важливий документ (Протокол) об'єднав біля 160 держав усього світу. Це покриває до 55 % відомих утворень газів парникових. Перший етап виконання зазначеного протоколу закінчився в 2012 р. Переговори Між народами свідчать, що треба створювати додаткові угоди, наприклад, це було 2007 р. на острові Бали (Індонезія).

Викиди CO<sub>2</sub> розвинених країн в 1985 р. склали 74 % від загального об'єму, а країн, які розвиваються, – 24 %. Дослідники стверджують про те, що до 2025 р. доля країн, які розвиваються і виробляють все більше CO<sub>2</sub>, буде збільшуватись до 44 %.

Україні, як і іншим країнам пострадянського простору (крім прибалтійських країн), квоти на викиди парникових газів до 2012 р. виділені на рівні 1990 р. Протокол також передбачає систему квот на викиди газів парникових, суть цього в тому, що будь яка країна не причасна до 38 держав, що зобов'язались значно скоротити викиди. Вони отримують повноваження і дозвіл на індустріального створення певної кількості газів парникових. Причому у випадках, коли країни або компанії перевищують власну квоту викидів, тоді мають можливість фінансово придбати повноваження на додаткові створення парникових газів в інших компаніях і фірмах, що мають викиди менші за надану їм офіційну квоту. Таким чином, очікується, що головна мета – скорочення викидів парникових газів впротягом наступних 15 років на 5 % – буде виконана. Разом з цим, виникає протиріччя на міжнародному рівні.

Приклад, держави та країни, що інтенсивне розвиваються, наприклад, Індія, Китай, та також інтенсивне роблять шкідливі викиди парникових газів в атмосферу, приймали участь у зустрічі в Кіото, проте цю угоду не підписали. Отже, екологічні ініціативи індустріальних держав такі країни сприймають насторожено.

Якщо взяти Україну, то тут є особливості щодо визначення термінології відновлюваної енергії. Тобто нерідко застосовують такі синоніми: альтернативний чи нетрадиційний вид енергії. Це містить також торф, тепло Землі низько потенційне, у теплових насосах воно використовується, та так звані вторинні теплові побутові та промислові відходи як джерела тепла. Тоді до альтернативних енергоджерел

відносять метан шахтний, газ природний невеликих родовищ тощо. Це протирічить використанню інноваційних технологій для отримання відновлювальних палив.

Як і мінеральні джерела енергії, відновлювані ресурси мають як позитивні, так і негативні показники.

До **переваг** відновлюваної енергетики відносять повсюдну поширеність більшості їх видів, невичерпність запасів та екологічна чистота. При економічних розрахунках відновлювальні й нетрадиційні джерела не включають складові паливної сировини тому що вона формально і фактично є безкоштовною.

До **недоліків** відновлюваної енергетики відносять малу щільність потоку (питому потужність) і мінливість в часі більшості відновлюваних джерел енергії.

Перша обставина змушує створювати великі площі енергоустановок, які "перехоплюють" потік використовуваної енергії (приймальні поверхні сонячних установок, площа вітроколеса, протяжні греблі припливних електростанцій тощо). Це

призводить до великої матеріаломісткості подібних пристроїв, а відтак – до збільшення питомих капіталовкладень порівняно з традиційними енергоустановками.

Однак слід відмітити, що підвищені капіталовкладення згодом окупаються за рахунок низьких експлуатаційних затрат, але на початковій стадії вони менш ефективні, ніж виробництва енергії з надрових джерел.

## 1.2. Енергетична біомаса як складова відновлювальної енергетики

Біомаса - це сукупність організмів існуючих у біогеоценозі (екологічній системі) на момент спостережень. За звичай біомаса характеризується ваговими одиницями. Залежно від належності органічної речовини рослинам або тваринам розглядається фіто-біомаса (рослинна) та біомаса (тваринна). Сумарна біомаса усієї суші складає приблизно  $3 \cdot 10^{12} \dots 10^{13}$  т. Основну частину біомаси становить фіто біомаса (97-99 %), частка біомаси складає лише 1-3 % [1, 12].

Серед відновлюваних енергетичних джерел біомаса найбільш поширена та займає четверте місце серед усіх енергоресурсів. Біомасу поділяють на дві основні групи: первинна біомаса, вторинна біомаса.

До первинної відносяться рослини, тварини, мікроорганізми тощо. Вторинна включає відходи при переробці первинної біомаси і продукти життєдіяльності людини і тварин. Таким же чином на первинних і вторинних підрозділяються відходи.

До складу первинних включаються відходи первинної біомаси, відходи переробних виробництв, стебла кукурудзи, балилля, тирса, тріска, гілки і пні дерев, очерет, спиртна барда тощо). Вторинні відходи складаються з продуктів фізіологічного обміну тварин і людини.

Щорічно на Землі за допомогою фотосинтезу утворюється близько 120 млрд. т сухої органічної речовини, що є енергетичним еквівалентом 40 млрд. т нафти. Відповідно до оцінок Світової енергетичної ради і Комітету ООН з нових і нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, одним з найважливіших відновлюваних джерел енергії в XXI столітті буде біомаса як в розвинених індустріальних країнах, так і в країнах, що розвиваються. Ресурси біомаси в різних видах є майже у всіх країнах світу і майже в кожній із них може бути налагоджено її перероблення в енергію та паливо. У подальшому при правильній організації репродукції і збору біомаси та при застосуванні сучасних технологій її утилізації доля енергії біомаси в загальному енергоспоживанні може значно зрости.

Сонячна енергія завдяки фотосинтезу акумулюється в біомасі рослин, які використовуються як продукти харчування, корми для тварин, технологічна сировина, будівельні матеріали або паливо. Заготівля, перероблення та споживання первинної біомаси супроводжуються утворенням побічних матеріальних потоків: лісосічних відходів, залишків після жнив, промислових та побутових відходів, гною та стічних вод. Нагромадження відходів спричиняє хімічне забруднення ґрунтів, води та повітря, створює загрозу санітарному добробуту. Разом з тим, відходи біомаси можуть використовуватися для виробництва енергії, що дає змогу одночасно розв'язувати енергетичні та екологічні проблеми [1, 2, 5, 10, 12-16].

Використання вторинної біомаси давало головну частину відновлюваної енергії на період до становлення сонячної, вітроенергетики та інших [1, 2, 5, 12-16].

На сьогоднішня біомаса за значенням серед видів теплоенергетики та палива являється **четвертим в світі** ресурсом. Вона заміщує в останні роки 1250 млн. т у.п. Фактично це біля 15 % енергоресурсів первинних в масштабах в цілому у світі. Зокрема в країнах, що розвиваються, ця цифра сягає до 40 %. Біомаса вторинна відіграє роль суттєву в енергобалансах розвинутих промислових країн, зокрема в Швеції - 16 %, в Австрії - 14 %, Канаді - 7 %, Данії - 6 %, США - 4 % від загального споживання енергоресурсів первинних. В Україні ця частка становить близько 1 %. Частка відновлюваних джерел енергії у світовому енергоспоживанні 2010 р. становила 16 %, з яких спалювання продукції з біомаси - 14 %.

### 1.3. Потенціал енергетичного використання біомаси

В цілому у світі приріст біомаси щороку досягає 400 млрд. т. Щодо енергетичного вмісту такої кількості рослинної біомаси становить еквівалент 3000 ЕДж (1021 Дж) / рік. Це перевищує у 8 разів споживання енергії усіх видів. Отже, застосування вже зараз енергетичного потенціалу біомаси забезпечує 14-15 % усіх паливно-енергетичних ресурсів, точніше 55 ЕДж / рік або 1,7 ТВт (1012 Вт) [2, 4].

Відновлення органічної речовини в рослинах забезпечується шляхом фотосинтезу. Сонячне світло дає енергію фотонів, яка генерується власно в енергію збуджених станів електронів пігменту рослин. Електромагнітні процеси під час фотосинтезу акумулюють безперервно енергію в хімічних рослинних сполуках. За одну тільки годину на 1 м<sup>2</sup> листя рослини синтезується вуглеводних енергоємних речовин біля 1 г. В період фотосинтезу зеленими рослинами зв'язується у вигляді цукрів приблизно 200 млрд. т вуглекислого газу з атмосфери. Створена хімічна енергія регенерується при згоранні у термічні і хімічних види. Таким чином, протікає процес енергетичної конверсії (рис. 1.1) рослинної біомаси. Основна доля біомаси біля 68 % створюється у лісах та аграрних виробництвах (до 8 %) [1, 2, 5].

Враховуючи небезпеку світової енергетичної кризи, сучасну екологічну ситуацію, необхідні заходи зі збереження клімату на теперішній час інтенсивне

розвиваються паливні виробництва з використанням побічної продукції та відходів лісових і аграрних господарств для поповнення регіонального та державного паливно-енергетичного ресурсу. Згідно Кіотському протоколу біомаса вважається нейтральним відносно  $\text{CO}_2$  видом палива і викиди від неї прирівнюються до нуля (рис. 1.1) [1, 5].

Отже, з'ясування енергетичних можливостей та напрямків розвитку біоенергетики в Україні є актуальним проблемним питанням.

Відходи аграрних, переробних, лісових і деревообробних виробництв відповідно до методичних вказівок (MethOds HandbOOk) проекту BiOmAss Energy Europe поділяють на дві групи [2, 6]:

- первинні відходи аграрної та лісової галузей – це ті матеріали, які залишаються як побічні продукти після збору врожаю с.-г. культури чи лісозаготівлі.

Вони складаються із лісосічних решток, незернової частини врожаю зернових, круп'яних, олійних та ін. культур;

- вторинні відходи аграрної та лісової галузей утворюються в результаті деревообробки (тріска, стружка, тирса тощо) перероблення продукції с.-г. виробництва на харчові продукти чи корми (рослинні домішки, залишки зернопереробних та олійних виробництв, жом буряків, зернова барда тощо).

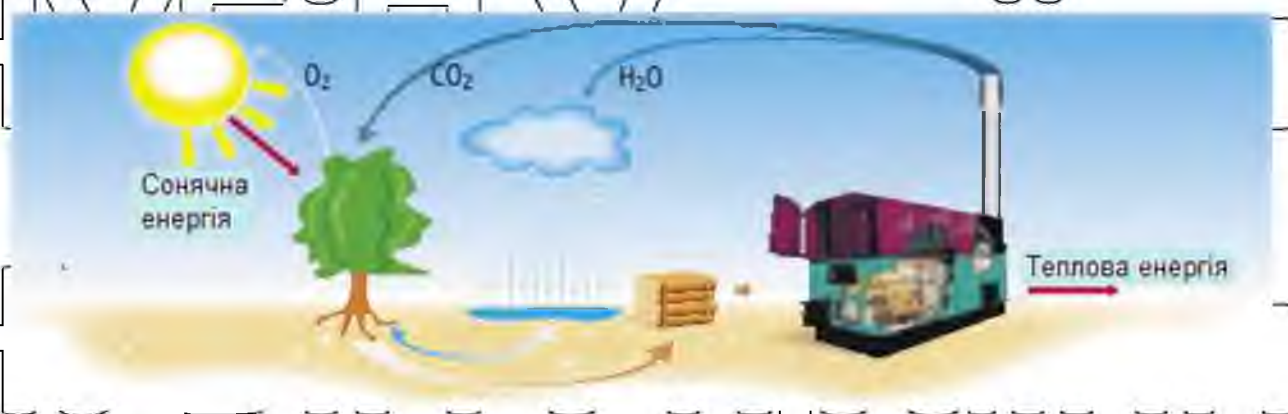


Рис. 1.1. Схеми перетворення сонячної енергії через рослини у паливно-енергетичні ресурси: принцип енергетичної конверсії твердого біопалива

За прогнозом Світової енергетичної ради [4, 7] у 2020 р. частка біомаси для енергетичної конверсії становитиме 650-800 мдн. т умовного палива (у.п.) на рік. Це складе 42-46 % від загальної частки викопних палив та понад 70 % відновлюваних

джерел енергії. Біомаса має теплотворність 10-19 МДж/кг та сприятливі екологічні показники. У щорічному споживанні первинної енергії доля біомаси становить 1272 млн. т нафтового еквіваленту або 10%. В багатьох країнах Африки використовують біомасу як первинний енергоносіє від 45 % до 80 %, Латинської Америки – 30-40 %, в Індії – до 50 % [2, 4, 7]. Частка біомаси в загальному споживанні енергії в Європейському Союзі (ЄС) на теперішній час становить 7 %, а для отримання тепла (табл. 1.1, рис. 2) – 15 % [8].

Технології виробництва теплової енергії із біомаси в країнах ЄС значно різняться: наприклад, в Італії, Франції, Фінляндії, Швеції, Данії, Німеччині, Польщі основна частина (понад 50 %) виробляється на теплових електричних центральних (ТЕЦ), а в Нідерландах, Чехії більше половини тепла отримують в котельнях і побутових котлах. Одна з великих електростанцій Європи потужністю 66 МВт в м. Зіммерінг (Австрія) працює на деревній біомасі. Ця електростанція використовує щорічно 190 тис. т біомаси, що дозволяє скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 44 тис. т [4, 7].

Таблиця 1.1. Обсяг виробництва теплової енергії з біопалива в країнах ЄС

Країни ЄС	Вид біопалива, відсотки				Всього, ТДж/рік
	тверде	рідке	біогаз	тверді побутові відходи	
Швеція	78	5	1	16	113405
Фінляндія	94	-	2	4	51595
Данія	62	-	3	36	41252
Німеччина	37	1	3	58	37758
Австрія	89	1	2	8	24471
Польща	93	-	7	-	11270
Франція	-	-	-	100	10613
Нідерланди	24	-	3	73	6869
Італія	37	17	12	34	6861
Чехія	56	-	5	39	3703

Щорічний економічно доцільний потенціал вторинної біомаси за останні роки для виробництва біопалива в Україні становить 22-25 млн. т у п. /рік [1, 2, 4-6, 8-10].

Теоретичний енергетичний потенціал тільки лісової біомаси становить 312 ПДж

( $10^{15}$  Дж), а технічний потенціал – біля 90 ПДж ( $10^{15}$  Дж), що складає майже 1,5% від загального споживання всіх видів енергії в Україні [6].

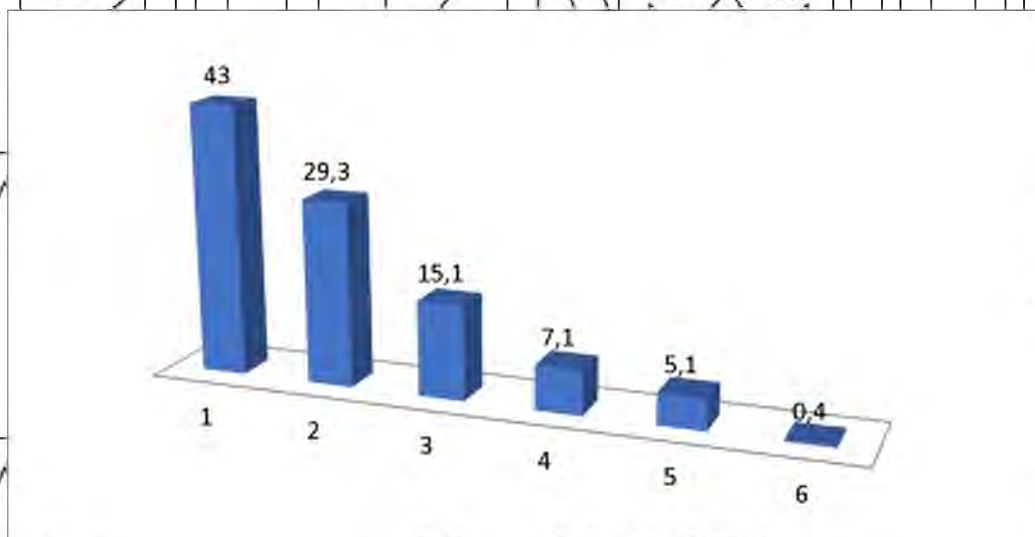


Рис. 1.2. Відсотковий розподіл виробництва теплової енергії (2652 ПДж) в країнах ЄС: 1 – природний газ; 2 – вугілля; 3 – біомаса; 4 – нафта; 5 – інші види палив; 6 – інші види відновлюваних джерел енергії (ВДЕ)

Національною енергетичною програмою України на період до 2015–2023 рр. та Національною програмою енергозбереження передбачає значне використання біомаси при отриманні теплової та електроенергії. Також було проведено будівництво ТЕЦ та систем теплопостачання з використанням біомаси як палива (аграрних і побутових, решток лісового комплексу та лісо обробки), набуття використання кондиційних видів біопалива (агровідходів, дров, тріски, пелет, брикетів тощо). Разом з цим, сектор енергетики із біомаси і побутових відходів розвивається досить повільно і становить на теперішній час 1,6 млн. т н.е., або 1,3 % від 126 млн. т н.е. загального постачання первинної енергії (рис. 1.3, табл. 1.2). Обсяг споживання теплової енергії в Україні на сьогодні дорівнює 964 млн. ГДж ( $10^9$  Дж), також, 67 % - побутові потреби, 20 % - промисловість, 13 % - інші галузі. Також згідно проекту Енергетичної стратегії України до 2030 р. попит на теплову енергію має зрости до 1/135 млн. ГДж [11].

В зазначених планах застосування біомаси передбачається виходячи з загальних обсягів діяльності АПК та ЛПК на рівні 1990-92 років. Разом з цим,

значні зміни в подальшому в Україні призвели до суттєвого зниження бази ресурсів та призупинення розвитку біоенергетики. Також значно зменшилось у два рази поголів'я ВРХ і свиней. Відбулася тенденція виробництва зернових культур в окремі роки, у заповідному фонді збільшилась площа лісів, забруднених лісів у значній частині через радіоактивне зараження, заборонено заготівлю деревини паливної. Тому при плануванні використання біомаси енергетичного походження потрібно мати сучасний підхід енергетичної діяльності [4, 6, 8-11]

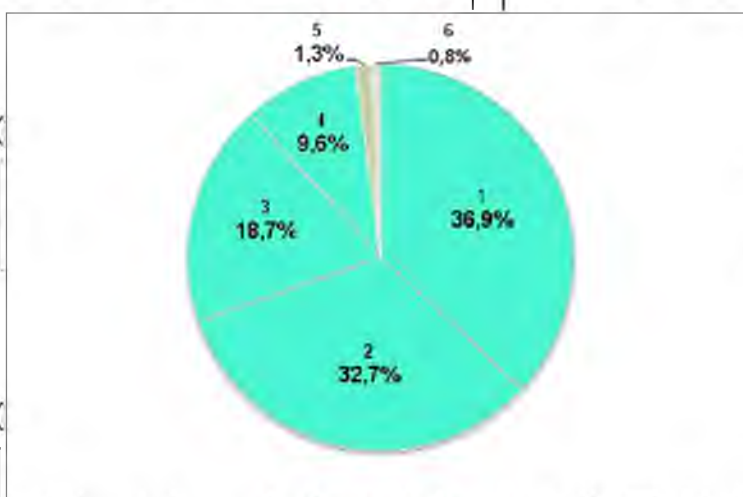


Рис. 1.3. Розподіл у відсотках загального обсягу постачання (126 млн. т нафтового еквіваленту) первинної енергії в Україні: 1 – природний газ; 2 – вугілля; 3 – атомна енергетика; 4 – нафта; 5 – біомаса; 6 – гідроенергетика

Таблиця 1.2. Використання біомаси для виробництва теплової енергії в Україні, 2012 р.

Вид палива з біомаси	Обсяг енергетичних біоресурсів		Доля споживання біопалива, %	Доля від потенціалу, %
	тис. т (*млн. м <sup>3</sup> )	тис. т у.п.		
Солома	77	37	1,6	1
Лушпиння соняшнику	665	318	14,2	59
Дрова (населення)	2,0*	478	21,4	
Деревна біомаса	4000	1330	59,5	80
Біоетанол	52	48	2,1	4
Дизельне біопаливо	0,32	0,01	0,01	0,01
Біогіз з відходів с.г.	10*		0,3	2
Біогаз з полігонів ТПВ	26*	18	0,8	7
Разом:		2236	100	

Річні обсяги в Україні всієї біомаси становлять близько 120 млн. т. Це в одиницях умовного палива дорівнює 22 млн. т у.п. Також активно біомаса застосовується в якості будівельних матеріалів кормів, кормів, добрив тощо. Сумарні ресурси біомаси, технічно доступної для енергетичного використання, оцінюються в обсязі близько 20 млн. т у.п./рік, що становить близько 9,7 % нинішнього загального річного споживання енергоресурсів у нашій країні. Сумарні ресурси біомаси, доступної для виробництва енергії, еквівалентні збільшенню на 25 % вітчизняного видобутку традиційного палива [16].

В аграрному комплексі середнє річне збирання соломисто-стеблових матеріалів та стебел фактично сягає 21 млн. т, що є 10,1 млн. т у.п. Споживання палив у аграрному комплексі скоротилося від 9,67 до 7,05 млн. т у.п. на рік, з них котельних палив від 1,9 до 1,05 млн. т у.п. Слід мати на увазі, що сільське господарство є поєднанням сільськогосподарських та різнопрофільних промислових виробництв. В 2004 році на сільськогосподарські роботи спожито 3,25 млн. т у.п., з них котельних палив лише 107 тис. т у.п. Споживання копалинних палив у котельнях аграрних підприємств становить 341 тис. т у.п., а для забезпечення утримання тварин 52 тис. т у.п. [12, 16].

Проведений аналіз свідчить, що природній реальний ресурс сіно-соломистих матеріалів приблизно в 20 разів перевищує потреби для котельні, що забезпечують теплопостачанням аграрні підприємства. Для всіх опалювальних котельних соціального сектору в сільській місцевості цей показник більший 3,4 рази і дорівнює біля 2,9 млн. т у.п. за рік. Це доводить факт того, що тільки частка сіно-соломистих паливних ресурсів потрібна для соціального забезпечення теплом сільське населення. Разом з цим очевидно, що аграрний сектор України спроможний бути постачальником палива для тепло енергозабезпечення міст та промисловості [12, 16].

Аналітики та дослідники діяльності вітчизняного ЛПК запевняють, що потенціал незадіяних паливних ресурсів з відходів деревини та лісозаготівлі дорівнює близько 2858 тис. м<sup>3</sup>, або понад 0,75 млн. т у.п. за рік. В основному це неліквідні невикористані ресурси, відходи лісових господарств та дерево

переробки. За частотою в умовах деревопереробних підприємств не завжди у повному обсязі задіяні і використані для паливних потреб рештки, відходи, неліквіди тощо деревини та кора. Очевидно, що раціональне утворення енергетичних об'єктів і котельнь, працюючих на деревних відходах, сприяло б підприємствам лісового комплексу отримувати суттєві прибутки. Тому є реальна перспектива організувати заготівлю лісосічних матеріалів, їх перероблення у тріску та постачання енергетичним структурам, навіть ТВиЦ. Для тепло енергопостачання доцільно надавати некондиційну деревину, відходи та лісові матеріали, що не мають побутового попиту. Отже, підприємства ЛПК мають бути одночасно як споживачами деревинних відходів для тепла, так і постачальниками лісових паливних ресурсів до енергетичних структур [12, 13, 16].

Деревні побічні рештки з лісових і лісопереробних господарств та деревообробної галузі дорівнюють 3743 тис. м<sup>3</sup>. Це становить 984 тис. т у.п. за рік і є значним потенційним паливним ресурсом. Статистика свідчить, що річне споживання котельними у різних галузях заготівлі та перероблення деревини, потребує для лісових та деревопереробних господарств близько 121 тис. т у.п. Для деревообробної і целюлозно-паперової промисловості потрібно 425 тис. т у.п. Зазначені показники підтверджують факт того, що галузі ЛПК разом не тільки можуть забезпечувати себе теплом, а й бути постачальниками паливних матеріалів [12, 16].

Зарубіжний досвід свідчить, що на існуючих вугільних котлах без істотної перебудови можливо організувати використання біомаси в кількості, еквівалентній 410 % від енергії спожитого палива. В Україні електростанції всіх типів споживають 27293 тис. т кам'яного та 515 тис. т бурого вугілля, а котельні відповідно - 2747 тис. т кам'яного та 23,7 тис. бурого вугілля. Спираючись на зарубіжний досвід, можливо було б одночасно зі спалюванням вугілля використовувати біомасу в обсязі, еквівалентному 1736 тис. т у.п. на електричних станціях та 173 тис. т у.п. в котельнях енергетичних підприємств, що в сумі еквівалентно 4 млн. т соломи. Вказаний обсяг споживання біомаси на електростанціях забезпечив би виробництво 4890 млн. кВт год. електроенергії, що ідентично роботі

815 тис. кВт існуючих паротурбінних установок у базовому режимі. В перспективі, після вичерпання можливостей енергетики щодо впровадження мало затратних методів використання біомаси, можливо буде розглядати доцільність створення енергетичних об'єктів, пристосованих для використання біомаси в більших обсягах.

#### 1.4. Технологічні основи переробки біомаси у гранульоване паливо

Відповідно до законопроектів України щодо підвищення ефективності біопаливних підприємств та беручи за основу проблематику тепло енергопостачання, а також теперішню екологічну обстановку, потрібно розвивати галузь твердопаливних виробництв з широким застосуванням побічної продукції та відходів аграрних й лісових господарств. Це безсумнівно сприятиме підвищенню ефективності вітчизняного паливно-енергетичного потенціалу. Паливні пелети в теперішній час інтенсивно набувають поширення в країнах світу [5, 10, 12-16].

Пелети отримують шляхом пелетування (екструзії) біомаси в прес-грануляторах. В процесі виробництва біомаса подається послідовно в подрібнювач, сушарку, гранулятор, де сипкий матеріал пресується і формується у пелети. У процесі ущільнення сировини спочатку підвищуються тиск і температура матеріалу за рахунок виникнення сил внутрішнього тертя. З'єднувальною речовиною, крім сухої екструзії, є лігнін, що міститься в деревині та інших рослинних матеріалах. Він розм'якшує та зчіплює частинки в філь'єрах матриці для утворення виробів. [2, 4].

Удосконаленню існуючих та розробці нових технологій перетворення біомаси у паливо постійно присвячують свої дослідження чисельні науковці [1, 5, 10, 12-16]. Причому з відомих регламентів твердопаливних технологій деякі процеси спрощуються, як наприклад подвійне подрібнення сировини, кондиціонування біомаси перед пресуванням, а деякі процеси додаються, наприклад, просіювання готових пелет. Також постійно розробляється та експериментально перевіряється невна кількість нових технологічних операцій та обладнання. Адже ефективне перероблення біомаси у паливо, а також отримання теплової енергії за умов потреб

і замовлень споживачів є головним стимулом спеціалістів твердопаливної галузі. При пелетуванні біомаси задіюється істотна частина енергії. Проте, понесені енерговитрати при виготовленні пелет не перевищують показники теплової енергії при конверсії гранульованого палива [1, 2, 5, 10, 12-16].

### 1.5. Міжнародні стандарти й вимоги до біопаливних гранул

В твердопаливних галузях багатьох країн, наприклад, США, існує Standard Regulations & Standards for Pellets in the US: The PFI (pellet). Таким документом керуються при виготовленні двох сортів пелет, зокрема «Преміум» і «Стандарт». Причому зольність сорту «Преміум» не повинна перевищувати 1%. Норматив «Стандарт» вказує на зольність не більше 3%. На пелети сорту «Преміум» припадає приблизно 95% пелетної продукції (додаток А). Сорт «Стандарт» включає певний обсяг кори і належить до систем опалювання промислових об'єктів.

У переважній більшості країн Євросоюзу (додаток Б) паливні гранули поділяють на два класи [3, 7-9]. До I-го класу («бідні гранули») пригаданні показники: діаметр пелет 6-8 мм; тепловіддача 16-19 МДж/кг; насипна щільність > 600 кг/м<sup>3</sup>; вміст золи менш, ніж 0,7%; пелети без зв'язуючих речовин та кори.

До II-го класу належать промислові гранули з характеристиками: діаметр пелет 8-12 мм; тепловіддача 15-18 МДж/кг; насипна щільність - понад 500 кг/м<sup>3</sup>; вміст золи сягає 3%.

У стандартах Швеції пелети поділяють вже на три групи. Перша група – це найвища якість. Друга і третя групи – це промислові пелети. Головний критерій у групах – це різниця показника зольності. Отже, гранули першої групи дають зольність < 0,7%, а другої і третьої груп - зольність < 1,5%. Показник вологості першої групи гранул - не більше 10%, а вологість промислових пелет є на 2% більшою.

В країні Німеччині існує декілька стандартів. Головний стандарт як найбільш вимогливий – це DIN plus. Він схожий на стандарт шведський, проте відрізняється тим, що менша тепловіддача – 18 МДж/кг. В країні Великобританії існує два стандарти на якість пелет. В Австрії один стандарт ділить гранули з корою і без додавання кори.

В країнах Євросоюзу немає єдиного стандарту, а користуються системами стандартизації та сертифікації. Спеціалісти Єврокомісії розробляють єдиний стандарт на тріску, брикети, пелети. Комітет Європейський з Стандартизації (CEN - Comité Européen de Normalisation) виконує проект CEN (TS 335). Тридцять Технічних Специфікацій опубліковано (TS 335 001 - 335 030) [3, 7-9].

В Україні стандартизацію твердих біопалив проводить Держстандарт. За загальною методикою визначенні властивості біомаси з деревини: ДСТУ CEN/TS 15150\* Тверде біопаливо. Відбирання проб. Метод визначення щільності часток; ДСТУ CEN/TS 15149-2\* Тверде біопаливо. Метод визначення гранулометричного складу. Частина 2. Метод з використанням вібраційного сита з отворами 3,15 мм та менше; ДСТУ CEN/TS 15149-1\* Тверде біопаливо. Метод визначення гранулометричного складу. Частина 1. Метод з використанням вібраційного сита з отворами 3,15 мм і більше та інші [9].

Показники якості пелет залежать від вологості, фракції, виду сировини тощо. Вологість пелет 6-12 % - найкращий показник. При збільшенні вологості стає менша щільність пелет. Також випаровування у пелетах сприяє утворенню тріщини чи виробу будуть руйнуватись тиском вологи [6, 13, 14].

Впливає суттєво на якість пелет розміри частинок сировини (ступінь подрібнення). Ніж дрібніше частинки сировини, тим вища якість виробів. Кускові сировинні матеріали необхідно подрібнювати до крупності 0,5-1,0 мм. При цьому кількість частинок розміром 1,0-5,0 мм не має бути понад 25%. Висока якість пелет спостерігається, тоді коли розміри частинок не більше 2 мм. Згідно ГОСТ 23246-78 дроблену сировину поділяють відповідно на тріску, стружку, тирсу, деревний пил. При незначному обсязі виробництва біомасу здрибнюють в один прохід. При виробництві пелет понад 3 тис. т/рік більш раціонально подрібнювати біомасу до стану тріски, а далі дробити її до стану мульчі [2, 4, 10-14].

Щільність пелет зростає при збільшенні тиску пресування до 40 МПа та зменшенні вологості. Важливо давати час витримки ущільненої біомаси в філь'єрі матриці. Певний тиск протягом певного терміну сприяє релаксації в'язко-пружкого

матеріалу біомаси. В момент знаходження під тиском біомаси в фольгері матриці на поверхні пелет утворюється міцна, гладеньке захисна від вологи і руйнування плівка.

Найбільшій міцності набуває біомаса, що пресується, коли температура її 90-150°C. Якщо температура екструзії менша, то міцність пелет знижується.

Температурною межею пелетування є 250°C, коли починає відбуватись реакція піролізу і тоді виникає явище часткового розкладання біомаси [3, 7-10].

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## Розділ 2.

## АНАЛІЗ ПРЕС-ГРАНУЛЯТОРІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПЕЛЕТ

## НУВБІП України

## 2.1. Огляд пресувальних механізмів грануляторів

Механізми пресування матричних грануляторів для виготовлення пелет включають за формою кільцеву або плоску матрицю. Також механізми оснащені рифленими роликками, або вальцями, або бігунками (катками). Призначення роликів полягає в утворенні контактного напруження ущільнення біомаси на

поверхні матриці. Причому вальці попередньо стискають біомасу і прошовують її у фільтри (технологічні канали) матриці під високим до 60 МПа тиском [10, 13, 14, 19-22].

У прес-грануляторах з горизонтальними плоскими матрицями (рис. 2.1,ж) сировина під дією рифленої поверхні роликів ущільнюється в клиновому зазорі, між матрицею та роликком. Перебуваючи в місці великого тиску, біомаса пресується у фільтрі матриці. В кінці технологічного каналу (фільтри) біомаса набуває певної щільності, форми стає монолітним виробом – гранулою. Далі пелети на виході з каналу матриці відокремлюються ножовим пристроєм [10, 13, 14, 19-23].

Аналіз процесу робочих органів для пелетування біомаси дозволив визначити основні типи пристроїв (рис. 2.1), зокрема, шнекові (екструдери), поршневі, рулонні, вальцьові, транспортні й матричні [13, 14, 19-24]. За допомогою поршневих (рис. 2.1,а) і шнекових (рис. 2.1,г) органів виробляють брикети. Рулонного типу пристрої (рис. 2.1,б) формують рулонні тюки з сіно-соломистих матеріалів. Вальцьові механізми (рис. 2.1,д) застосовують для отримання брикетів. При виготовленні пелет доцільно використовувати матричні гранулятори. Їх класифікують за типом матриці на кільцеві (циліндричні), де матриця встановлена вертикально (рис. 2.1,е), та плоскі (дискові), де матриця встановлена горизонтально (рис. 2.1,є, ж).

Аналіз процесів і будови робочих органів для пелетування технологічних мас у готові вироби певного призначення є підґрунтям розробленої класифікації технічних засобів таких основних типів (додаток В) [2, 25]. Для виготовлення пелет з біомаси

НУВБІП України

частіше застосовують гранулятори з матрицями та пресувальними роликками. Вузли пресування також мають свою особливість і класифікацію. Вони різняться за технічною формою, способом виконання технологічних процесів тощо. Відомі пресувальні вузли з кільцевою матрицею, що розміщується торцевою стороною у вертикальній чи горизонтальній площині. Альтернативний тип пресувального вузла прес-гранулятора включає плоску (дискову) матрицю, що розташована у горизонтальній площині. По робочих поверхнях матриць обертаються та ущільнюють масу роликки (бігунки)

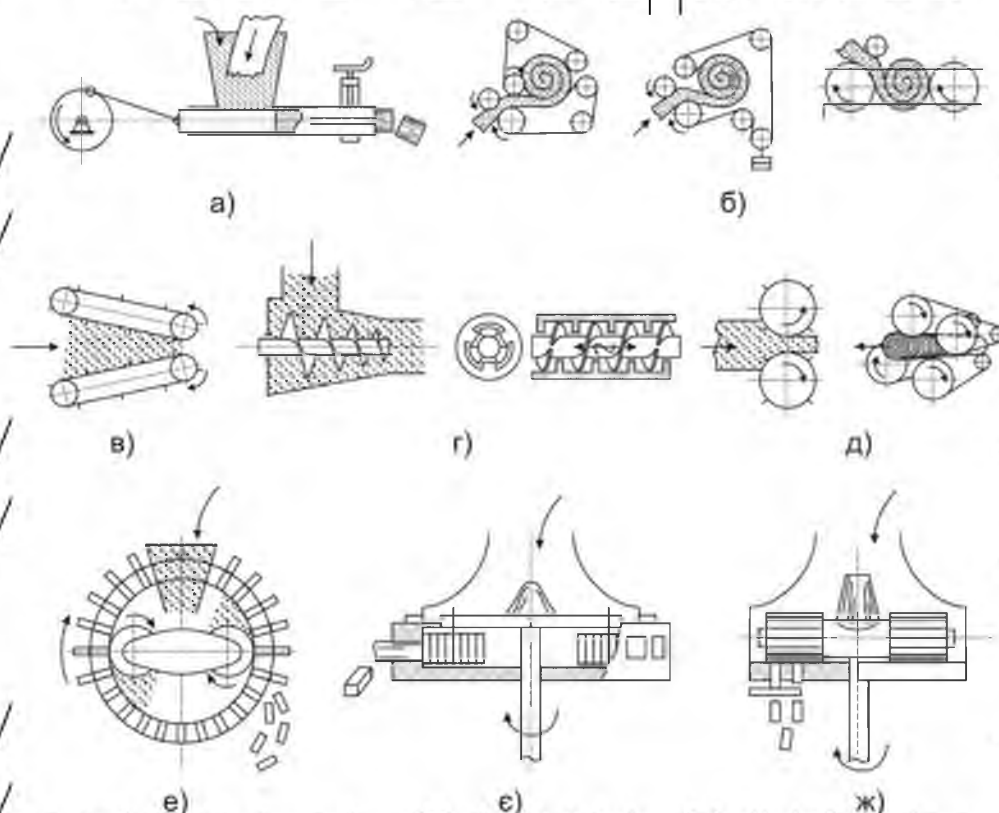


Рис. 2.1. Класифікація робочих органів для пресування матеріалів:

а – поршневі; б – рулонні; в – транспортні; д – вальцьові; г – шнекові;  
е, є, ж – матричні

В даний час в промисловості значного поширення набуло формування пелет шляхом видавлювання пластинчаста-в'язкої біомаси через симетричні отвори – фільтри. Пресувальні механізми відрізняються способом створення підвищеного тиску в біомасі безпосередньо перед входними отворами (фільтрами).

Схеми пресувальних механізмів матричних грануляторів представлені на рис.

2.2. Робочий орган пресувального механізму, який має філь'єри, називають матрицею. Матриця 1 являє собою товстостінне перфороване радіальними філь'єрами кільце (рис. 2.2, а,г) або диск, в якому всі філь'єри паралельні осі диска (рис. 2.2, б,в). Тиск в біомасі створюється при взаємодії матриці з пресувальним роликом 2. Матриця і ролики об'єднанні в спеціальний механізм водила 3 так, щоб ролики перекочувались по робочій поверхні матриці. Циліндрична зовнішня поверхня ролика виготовлена з рифлями, які паралельні осі обертання ролика, або перфорацію ненаскрізними циліндричними отворами. Насічки (рифлі) на роликах призначені для ефективного зчеплення робочої поверхні ролика з біомасою. Ролики монтуєть у такий спосіб, щоб робочий зазор був в межах 0,2-0,5 мм.

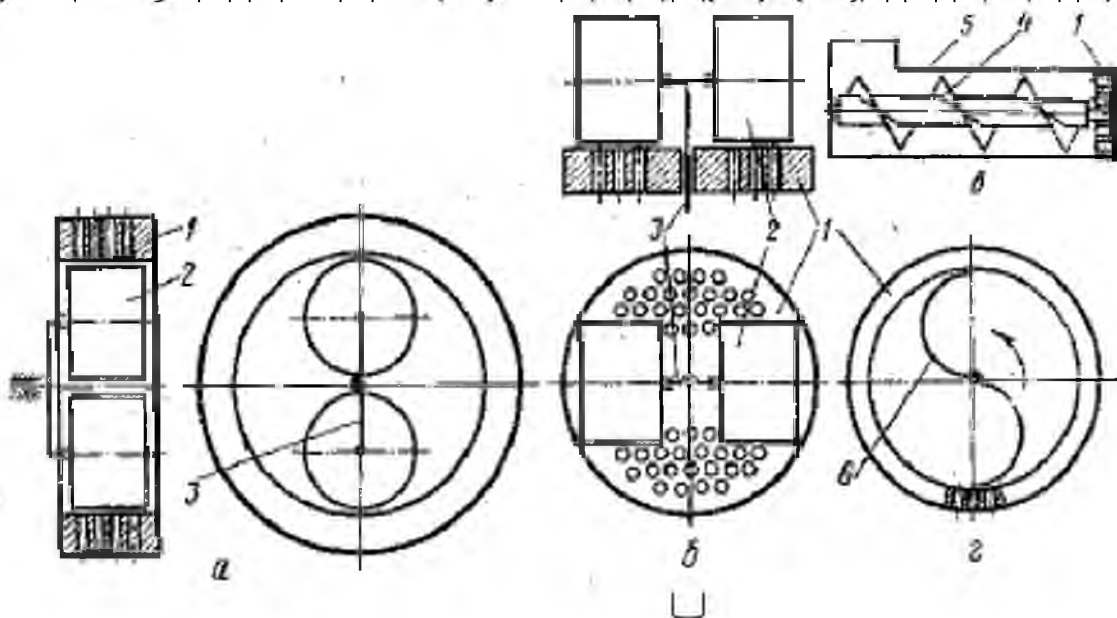


Рис. 2.2. Типи пресувальних механізмів для отримання пелет з біомаси:

а - з кільцевою матрицею та пресувальними роликами; б - з плоскою матрицею у вигляді диска і пресувальними роликами; в - шнековий з плоскою матрицею; з - з кільцевою матрицею і пресувальними лопатками; 1 - матриця; 2 - пресувальний ролик; 3 - водило; 4 - шнек; 5 - корпус; 6 - лопатки

Дослідженнями [2, 9, 11, 14, 17, 25, 45] встановлено, що межа текучості маси при одноосьовому стиску та одночасно дії підвищеного всесічного тиску збільшується пропорційно. Таку залежність можна описати експоненціальною

функцією. Межа текучості та коефіцієнт контактного тертя залежать від складу маси, її температури і вологості. З підвищенням температури і відносної вологості ці механічні параметри зменшуються.

## 2.2. Аналіз пресування біомаси у філь'ерах

Формоутворення пелет відбувається у філь'ерах, основні конструктивні схеми яких показані на рис. 2.3. З метою збільшення площі «живого перерізу» перфорованої поверхні матриці, вхідні частини філь'ер виробляють з більшим діаметром. Вхідні частини мають форму конуса усіненого. Вхідна порожнина філь'ери забезпечує відносно плавне входження біомаси у філь'еру. Також відбувається перехід і з'єднання вхідної конічної частини з циліндричною частиною філь'ери.

Частіше філь'ери виконують за конусною формою вхідної порожнини. Далі після конуса передбачена циліндрична форма філь'ери (рис. 2.3,а,б). Також іноді застосовують тороїдальну вхідну порожнину, яка утворена у вигляді частини дуги кола (рис. 2.3,в,г).

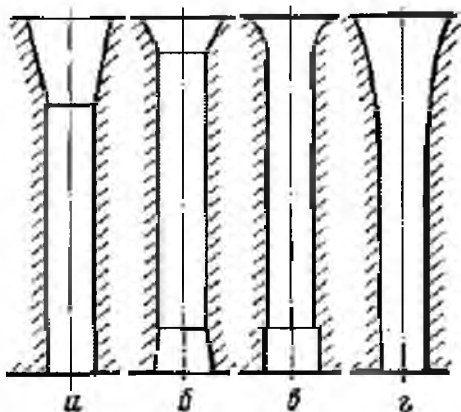


Рис. 2.3. Основні конструктивні схеми отворів-філь'ер

Біомаса, що подається на внутрішню поверхню кільцевої чи плоскої матриці, спочатку стискається вальцями, а потім вдавлюється у філь'ери. За мірою заповнення філь'ер опір збільшується, в зв'язку з чим тиск гранулювання зростає і досягає найбільшого значення при повністю заповнених філь'ерах і згодом сформовані гранули виходять за межі матриці. Таке явище супроводжується інтенсивним тертям

у філь'єрах та зносом їх поверхонь. Філь'єри матриці можуть бути циліндричними у подовжній своїй площині, тоді технологічний простір між філь'єрами становить близько 50 % від робочої поверхні матриці, або циліндричними з конусною входною частиною, що сприяє збільшенню «живого перетину» до 75 % [22].

За результатами досліджень (патент на корисну модель UA № 30058, B01J 2/00) встановлено, що кут конусної входної частини філь'єри від  $0^\circ$  до  $80^\circ$  не суттєво впливає на кінцеву щільність гранул з лузги соняшнику. Разом з цим, відомо, що після значного строку роботи матриці в результаті зносу твірна лінія входної частини філь'єри набуває форму гладенької випуклої кривої, а знос циліндричної і вихідної частин філь'єри практично відсутній [46].

Продуктивність, навантаження на робочі органи та енерговитрати гранулятора залежать від опору філь'єр при русі в них біомаси. Тому до основних параметрів філь'єр матриці належать їх діаметр та конфігурація входної частини [31].

Одним зі шляхів зменшення опору гранулювання та підвищення зносостійкості філь'єр є надання їх входним частинам тороїдальної форми, тобто близької до тієї, яка утворюється при їх зносі після тривалої експлуатації (а.с. SU № 888855, A01F 45/02). На випробуваннях матриці з тороїдальними входними поверхнями філь'єр отримані позитивні результати, але тільки при значеннях кута близько  $90^\circ$  при вершині оберненого конуса входної частини.

Відома конструкція філь'єри, яка передбачає введення на початку формуючого каналу невеликого конусу  $3-5^\circ$ , що внаслідок пластичної деформації матеріалу створює протитиск. При цьому загальна довжина формуючого каналу зменшується до 3-6 значень вихідного отвору формуючого каналу. Використання даної філь'єри дозволяє усунути причини появи кільцевих тріщин на гранулах, зменшити початковий тиск і габарити машини (патент на корисну модель UA № 79984, H01L35/00).

Така конструкція філь'єри прийнята як аналог, але вона має недоліки. У входній частині філь'єри при збільшенні прохідності мають місце два кутові елементи на сторону в проекції, які не сприяють плавності переміщення біомаси, а тільки стримують її при тисках понад 10 МПа. Окрім того, довжина формуючого каналу

зменшується на  $2/3$ . Проте, цей параметр повинен забезпечувати протитиск для отримання гранул заданої щільності, а також витримку епресованої біомаси під тиском протягом певного часу, необхідного для релаксації напружень. В іншому випадку, через пружнію післядію гранули виходять з каналів філь'єр схильними до руйнування. Для утворення міцних гранул довжина формуючого каналу філь'єри має бути більшою, ніж довжина необхідна для повної релаксації біомаси при певній швидкості її пересування [27]. Таким чином, зменшення довжини формуючого каналу філь'єри призводить до низької якості паливних гранул.

Відома матриця прес-гранулятора кормів, що містить корпус з пресувальними каналами, які включають вхідну порожнину в формі усіченого зворотного конуса, циліндричну формуючу частину та пов'язану з нею вихідну тороїдальну порожнину (а.с. SU № 1253815, B01B 3/06). Така конструкція пресувального каналу (філь'єри) прийнята за основу але вона має недоліки. При виготовленні кормових гранул зазначена вихідна частина забезпечує поступове пружне розширення виробів і уникнення тріщини у гранулах. Проте, при виготовленні паливних гранул в більш жорсткому режимі значно суттєвим є тривалість експозиції сформованих гранул у стислому вигляді для повної релаксації напружень.

Задача запропонованої моделі [22] полягає у підвищенні ефективності екструзії біомаси у філь'єрі. Зменшенні зносу поверхонь вхідної частини філь'єри та енерговитрат процесу без зниження показників якості гранул.

Поставлена задача вирішується конструктивним удосконаленням філь'єри матриці для формування пелет методом екструзії [22], вхідна частина якої має форму **оберненого конуса**, а формуючий канал має однаковий переріз за діаметром по всій довжині, згідно запропонованого рішення вхідна частина філь'єри від внутрішньої поверхні матриці до місця з'єднання з формуючим каналом має форму об'ємної евольвенти на всьому просторі вхідної частини, причому крива евольвенти кола, радіус якого рівний діаметру формуючого каналу, плавно переходить без перегинів у циліндричну форму формуючого каналу філь'єри.

Технологічний процес перетворення біомаси у паливні гранули в матриці 1 (рис. 2.4) відповідає вимогам **сухої екструзії**. Тому навантаження та знос робочих

органів в 1,2-1,5 рази завбільшки, ніж при виробництві гранульованих кормів. За результатами аналізу твірна лінія зношеної/вхідної частини 2 філь'єри після експлуатації понад 3000 годин описується за правилами побудови евольвенти [2, 24].

Для попередження додаткового опору та зносу вхідних поверхонь філь'єри приймаємо форму вхідної частини 2 як евольвенту 4 з плавним переходом поверхні вхідної частини 2 в циліндричну частину формуючого каналу 3 діаметром  $d$

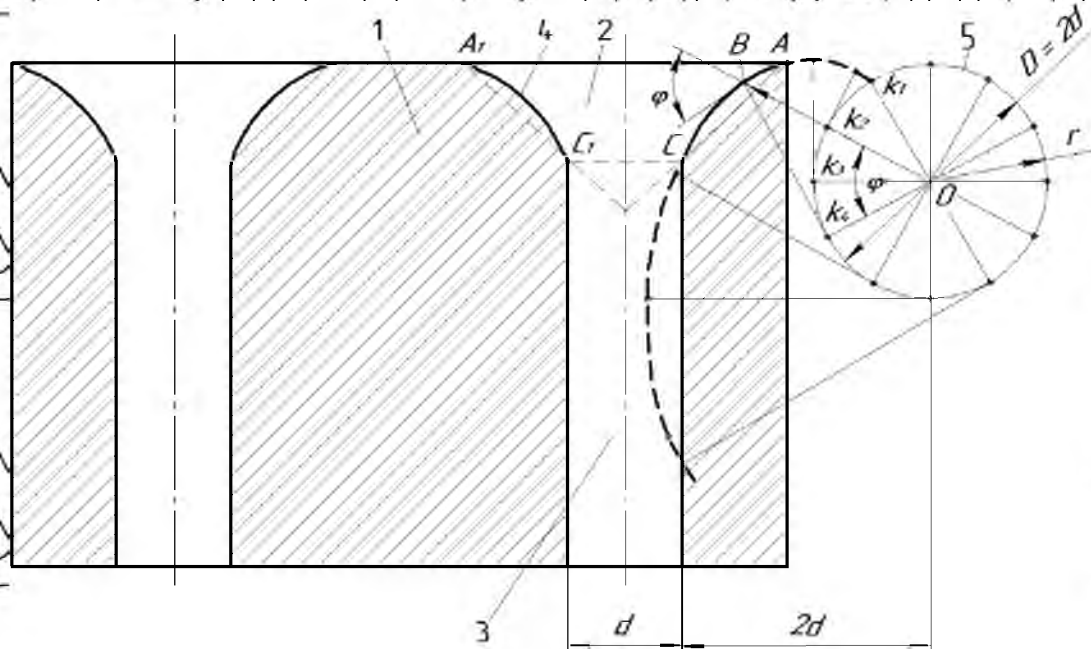


Рис. 2.4. Схема філь'єри у поперечному перетині з формою вхідної частини у вигляді евольвенти кола

В зв'язку з тим, що евольвента (розгортка) може бути отримана як траєкторія будь-якої точки прямої, що перекатується без ковзання по окружності, якою є коло (еволвота) 5 з діаметром  $D = 2d$  і розташоване верхньою кромкою (точка  $k_1$ ) на лінії внутрішньої поверхні матриці 1 та центром - на відстані  $2d$  від найближчої стінки формуючого каналу 3 (рис. 2.4).

Точка  $k_1$  є початковою точкою евольвенти. Методом перекошування прямої проти стрілки годинника побудовано криву евольвенти. Гострий кут  $\varphi$  між дотичною до евольвенти 4 у точці  $B$  радіусом-вектором  $OB$  є кутом профіля і він, для отримання корисного результату, має бути завжди більшим за кут тертя біомаси об сталеву поверхню філь'єри ( $\approx 34^\circ - 42^\circ$ ). Це свідчить про те, що біомаса при

проходженні вхідної частини 2 філь'ери від т. А ( $A_1$ ) до т. С ( $C_1$ ) буде зустрічати найменший опір від сили тертя.

Ефективність запропонованої моделі доводять такі властивості евольвенти.

1. Евольвента на всьому просторі вхідної частини 2 від т. А ( $A_1$ ) до т. С ( $C_1$ ) є плавною кривою без перегинів. Причому у точках С і  $C_1$  крива плавно переходить у лінію стінки формуючого циліндричного каналу 3. Форма евольвенти 4 залежить від величини радіуса ( $r = d$ ) основного кола 5.

2. Твірна пряма є радіусом кривизни евольвенти 4 в розглянутій точці В і відповідно нормаллю до неї. Дана властивість дозволяє визначити радіус кривизни в будь-якій її точці як відстань від точки на евольвенті 4 до точки дотику нормалі з основною окружністю 5:  $Bk_4 = r \operatorname{tg} \varphi$ .

Дана фізико-аналітична модель філь'ери матриці 1 для формування пелет методом екструзії реалізується за рахунок виконання вхідної частини 2 у формі об'ємної евольвенти 4, що сприяє суттєвому зменшенню опору під час екструзії біомаси у вхідній частині 2 та формуючому каналі 3, підвищенню вносостійкості вхідної порожнини філь'ери, збереженню якості гранул при незмінній довжині формуючого циліндричного каналу 3, зниженню енерговитрат на привод при достатньо створеному для гранулювання тиску.

За результатами проведеного аналізу приймаємо для подальших досліджень і проектування прес-гранулятора з плоскою матрицею як перфективний тип. Філь'ера матриці повинна мати виконання вхідної частини у формі об'ємної евольвенти, що сприяє суттєвому зменшенню опору під час екструзії біомаси у вхідній частині та формуючому каналі.

### 2.3. Аналіз плоско матричних грануляторів і виробничих ліній

Відомий типорозмір прес-грануляторів з плоскою матрицею КЛ-600 [14, 16].

Підготовлена для пелетування сировина з бункера потрапляє у прес-гранулятор з плоскою матрицею (рис. 2.5). Перед пелетуванням у матриці, при необхідності, здійснюють зволоження (кондиціювання) сировини на 2-3 %. У пресах з плоскою

матрицею, ролик пресують сировину через матрицю, яка обтинається в нижній частині. На рис. 2.6 зображено робочі органи цього прес-гранулятора.

Пресування підвищує температуру біомаси і лігнін, який є у сировині, розм'якшується і склеює частини в щільні циліндри-пелети. Після пресування сформовані пелети виходять з робочої камери гранулятора і направляються в охолодник спеціальної конструкції. Удосконалена розробка технологічної лінії КП "Ясень" являє собою похилий транспортер з жаростійкою сіткою та піддувалами. У таблиці 2.1. наведена технічна характеристика прес-гранулятора КЛ-600.

У прес-грануляторі з плоскою матрицею крутний момент електродвигуна через шнековий привод передається головному валу, з яким з'єднані бігунок головки, що перекочуються по нерухомій матриці. Ступінь притиску бігунків-катків регулюється за допомогою гідравліки.

Біомаса самопливом подається на нерухому матрицю, потрапляє в зону пресування під ролик (бігунок) і проштовхується крізь філь'єру. В результаті утворюється довгий джгут, від якого застосовуючи ніж, відділяють пелети.



Рис. 2.5. Гранулятор з плоскою матрицею марки КЛ-600

У процесі охолодження вологість пелет зменшується, в результаті вони набувають необхідної твердості. З охолоджувача пелети потрапляють в бункер готової продукції, з якого пелети фасують в мішки або біг-беги - 1.0-1,5 т.



Рис. 2.6. Матриця та робочі ролики (бігунки) прес-гранулятора КЛ-600

Загальна потужність комплексу лінії виробництва пелет КП "Ясень" продуктивністю – 1.0 т/год. складає до 220 кВт. Комплекс лінії для виробництва пелет - це спеціальна конструктивна розробка КП "Ясень", сучасна автоматизована лінія, що базується на технічних досягненнях для переробки відходів, кінцевим продуктом якого є екологічно чисте паливо - пелети.

Комплекс лінії виробництва паливних пелет КП «Ясень» (рис. 2.7) включає: ділянку отримання та підготовки сировини, ділянку сушильного комплексу, ділянку пелетування, ділянку охолодження та упаковки та електрообладнання.



Рис. 2.7. Комплекс лінії «Ясень» для виробництва пелет з біомаси

Пелети лінії КП "Ясень" отримують з технологічного кругляка, дров, рослинних відходів, соломки, сорго та інше. Тепловіддача пелет сягає близько 5 кВт/кг. При опалюванні 1 т пелет створює стільки тепла, як при згоранні 2,5 м<sup>3</sup> дров, 480 м<sup>3</sup> газу природного, 500 л дизельного пального, 700 літрів мазуту.

Управління зовнішньої і внутрішньої частини здійснюється пультами управління. Комплекс лінії виробництва паливних пелет продуктивністю 600 кг/год. обслуговують до 6 осіб. Обладнання сертифіковане і безпечне для персоналу.

Гранулятори з плоскою матрицею серії РК можуть виробляти пелети із різних рослинних відходів господарства. Отримані пелети будуть міцними і з відповідною шорсткістю поверхні. У процесі пелетування температура може досягати 70-80°C, при чому деревна мушкет перетворюється на оброблювальну масу з адгезійними властивостями. Термічній обробці підлягає вся поверхня пелет для того, щоб запобігти прояві плісняви, а також мати можливість тривалого їх збереження. У таблиці 2.2 наведена технічна характеристика прес-грануляторів серії РК (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Прес-гранулятор серії GC-9PK

Таблиця 2.2. Технічна характеристика прес-грануляторів серії РК

Модель	Продуктивність, кг/год.	Потужність, кВт	Маса кг	Габаритні розміри, см
--------	----------------------------	--------------------	------------	--------------------------

GC-9PK-200	80-120	7,5	250	100*43*95
GC-9PK-260	150-200	15	330	120*50*107
GC-9PK-300	200-250	22	410	127*52*107
GC-9PK-400	300-350	30	550	147*60*115

#### 2.4. Вибір перспективного типу гранулятора для лінії виробництва пелет

Проведений аналіз свідчить, що найбільш ефективним пресом для виробництва пелет для дрібносерійних виробництв буде прес-гранулятор типу GC-9PK-260. Функціональна схема утворення пелет за допомогою гранулятора-прототипу з плоскою матрицею наведена на рис. 2.9, один з основних робочих органів – плоска матриця, показана на рис. 2.10, робочий ролик – на рис. 2.11



Рис. 2.9. Схема утворення пелет за допомогою плоскої матриці



Рис. 2.10. Плоска матриця прес-гранулятора



Рис. 2.11. Обичайка робочого ролика прес-гранулятора

Попередньо подрібнені рослинні відходи мають характеристики наближені до твердого силучого корму, тому доцільно використовувати прес-гранулятор з плоскою матрицею, тому що зазначений технічний засіб для пелетування з елементами удосконалення матиме високі технологічні показники роботи та надійності.

Виробниче приміщення для гранулювання біомаси розміщено на площі  $145 \text{ м}^2$  (рис. 2.12). Виробництво складається з наступних етапів. Біомасу попередньо подрібнюють, підсушують, подрібнюють до дисперсійного стану і піддають гранулюванню. Потім гранули охолоджують, просяють і фасують.

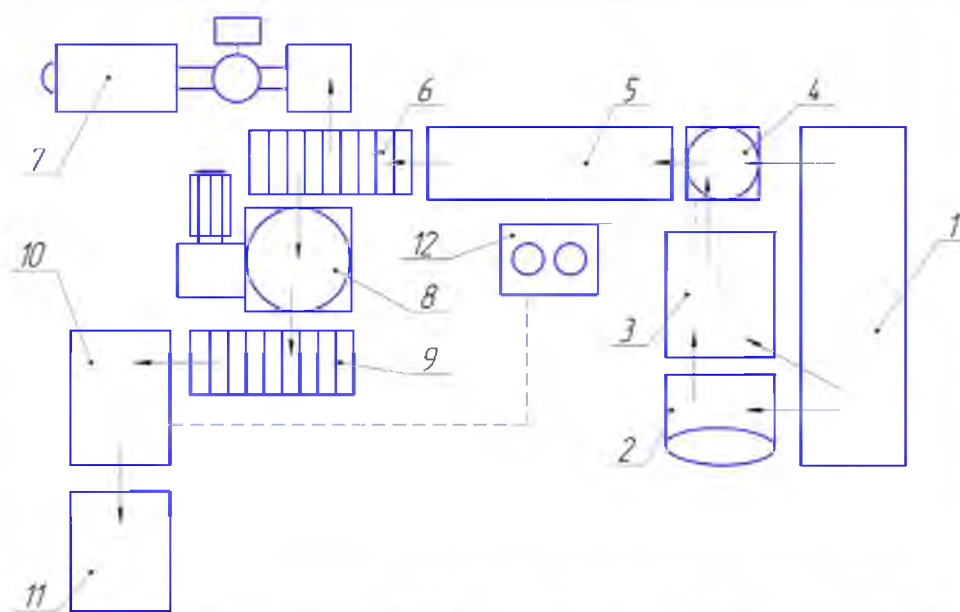


Рис. 2.12. Технологічна схема цеху пелетування біомаси 1 – платформа сировини; 2 – подрібнювач тюків соломи; 3 – сушарка біомаси; 4 – подрібнювач; 5 –

бункер накопичувач; 6 – транспортер сировини; 7 – лінія пелетування; 8 – прес-гранулятор; 9 – транспортер гранул; 10 – сепаратор; 11 – платформа готової продукції з вагами; 12 – система пиловловлювання

Лінія пелетування біомаси має виготовляти пелети з розміром 3-5 мм та вологістю 12-14%. Лінія дозволяє реалізувати технологічні операції: змішування і кондиціонування, пелетування, охолодження і сушіння гранул та просювання.

Лінія пелетування сухої біомаси дозволить крім виробництва біопаливних гранул і комбікормів, гранулювати високоліквідну сільськогосподарську сировину з метою спрощення логістики та продовження терміну зберігання, прес-гранулятор біомаси продуктивністю 200 кг/год забезпечить у напівавтоматичному режимі виробництво гранульованих комбікормів та біопалива.

Для виробництва гранул буде застосовуватися сільськогосподарська та лісгосподарська біомаса: солома, тирса, сіно, подрібнені зерноsumіші, хміль та інші види рослинної біомаси.

Продуктивність цеху гранулювання сировини становить 2 т гранул за добу:

- біопаливні гранули (пелети), якість яких відповідає діючим стандартам

ЄС EN 14961-2;

- гранульовані комбікорми.

## Розділ 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТА ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ  
ПЛОСКОМАТРИЧНОГО ГРАНУЛЯТОРА

## 3.1. Дослідження аналітичних залежностей при ущільненні біомаси

Для виконання ефективного перероблення біомаси у паливо необхідно провести підготовчі технологічні операції з сировиною. Це, як правило, подрібнення, калібрування, сушіння тощо. Нормативні фізико-технологічні показники пелет передбачають кінцеву вологість виробів 8-14 %, щільність понад  $1 \text{ т/м}^3$ , теплотворну здатність більш ніж  $5 \text{ МДж/кг}$ , що свідчить про складність і високу технологічну дисципліну виробництва. Вихідний матеріал ущільняється в 7-10 разів, що суттєво зменшує експлуатаційні витрати на транспортування і збереження продукції.

Ущільнення біомаси в ході пелетування передбачає виконання сухої екструзії підготовленої біомаси. Фізична суть екструзії полягає у механічному інтенсивному стисненні дисперсного сухого матеріалу до стану зближення на молекулярному рівні та зчеплення частинок твердої фази. Тобто відбувається утворення монолітних паливних виробів із сипкого стану сировини шляхом механічного тиску.

Типовим показником завершення ущільнення біомаси до стану готових виробів є ступінь ущільнення  $\lambda_{\text{ущ}}$ , яка, у свою чергу, передбачає відношенням об'єму  $V_0$  технологічної одиниці сировини для пресування до об'єму  $V_{\text{гр}}$  отриманої готової пелетної продукції:

$$\lambda_{\text{ущ}} = \frac{V_0}{V_{\text{гр}}} = \frac{\rho_0}{\rho_{\text{гр}}}; \quad (3.1)$$

де  $\lambda_{\text{ущ}}$  - ступінь ущільнення;  $V_0$  - об'єм технологічної одиниці сировини,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{гр}}$  - об'єм порції матеріалу після пресування,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_0$  - щільність технологічної одиниці сировини до пресування,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{гр}}$  - щільність у виробі після пресування,  $\text{кг/м}^3$ .

Для теоретичного пояснення внутрішнього явища процесу пелетування і розкриття дійсних фізичних причин переходу біомаси з дисперсного сипкого стану у стан фізичних окремих тіл – пелет існує декілька теорій, зокрема капілярна, колоїдна, молекулярна. Найбільшого наукового визнання отримала молекулярна теорія [37]

процесу пелетування. Вона базується на основі термодинамічної теорії миттєвої сухої дифузії дисперсного матеріалу біомаси. Основна причина з'єднання твердих частинок між собою вбачається в явищі молекулярного зчеплення частинок під дією високого до 60-100 МПа тиску. Згідно молекулярної теорії сухої екструзії відбувається утворення і наявність сил молекулярного притягання між занадто дрібними частинками біомаси. Це призводить до виникнення і зростання фізичних сил між макроскопічними складовими усієї сировини [2, 37].

Інтенсивне зростання тиску пресування сприяє протіканню процесу сухої дифузії, зміцненню монолітного стану у виробках за рахунок ліквідації повітряних порожнин і збільшенню загальної площі контактів між частинками біомаси. Все разом призводить до подальшого зростання сил молекулярного зчеплення. Коли досягається у виробках- гранулах стан фізичного тіла без наявності повітряних пор, то подальше збільшення показників механічного тиску втрачає ефективність. Діаграма за авторством дослідника Р. Румпфа [38, 42] представлена на рис. 3.1. Вона описує характер дії декількох видів зчеплення між частинками біомаси залежно від розмірів.

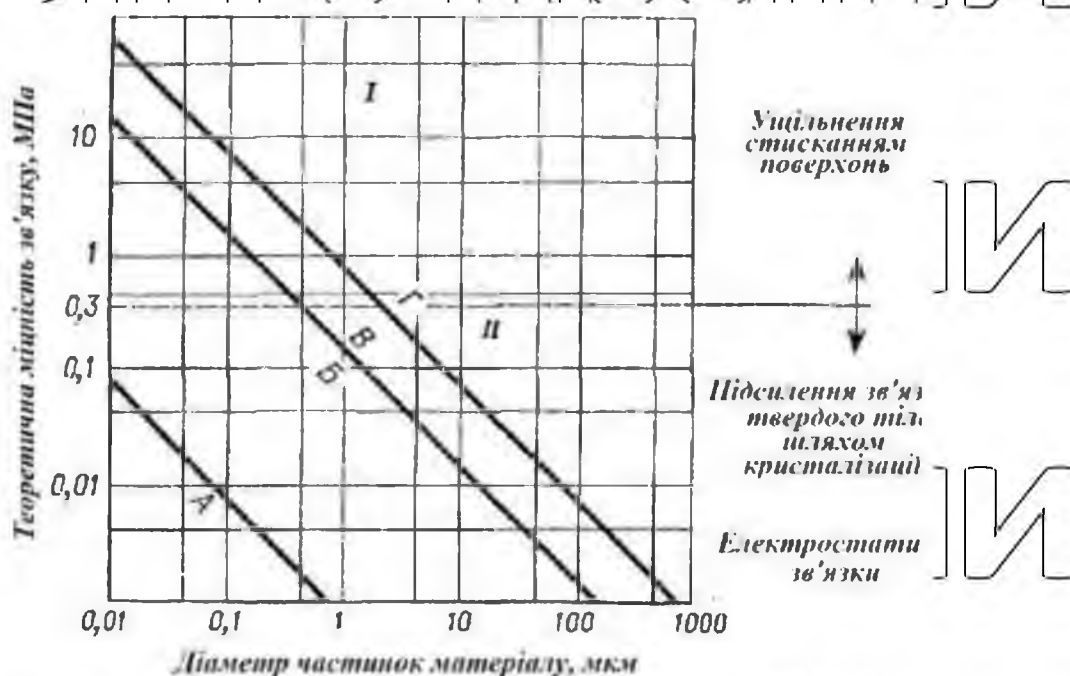


Рис. 3.1 Залежність показників міцності та ступеню зчеплення між частинками біомаси від їх фракційного стану

Максимальний осьовий тиск ущільнення за основним рівнянням пресування визначається за залежністю [2, 14]:

$$P_{\max} = C \cdot (e^{a \cdot (\rho_{\max} - \rho_2)} - 1); \quad (3.2)$$

де  $P_{\max}$  - найбільший осьовий тиск ущільнення, МПа;  $e$  - основа натурального логарифму;  $C$  - емпіричний показник сировини, що характеризує опір матеріалу ущільненню, МПа;  $a$  - емпіричний показник, що характеризує опір матеріалу ущільненню і залежать від фізико-механічних властивостей сировини,  $m^3 / кг$ ;  $\rho_2 = 70 кг / m^3$  - щільність сировинної біомаси;  $\rho_{\max}$  - максимальна щільність пелет,  $кг / m^3$ ;

Щільність матеріалу, що знаходиться у пресувальному каналі (філь'єрі), є максимальною і становить [2, 14]:

$$\rho_{\max} = b \cdot \rho_1; \quad (3.3)$$

де  $b$  - коефіцієнт пропорційності;  $\rho_1$  - задана щільність пелет у виробі,  $кг / m^3$ .

Площа робочої поверхні матриці визначається із умови:

$$S = \frac{q \cdot t}{K_n \cdot c \cdot \rho_{\max} \cdot l} \cdot X; \quad (3.4)$$

де  $q$  - продуктивність прес-гранулятора,  $l$  - час перебування пелет в каналі пресування-філь'єрі;  $c$  - коефіцієнт, що характеризує розширення ущільненого виробу після виходу з філь'єри;  $K_n$  - коефіцієнт перфорації матриці;  $X$  - коефіцієнт, що характеризує нерівномірність розподілу сировини на поверхні матриці (рис. 3.2).

Зовнішній радіус ролика прес-гранулятора  $r$ , визначається за формулою:

$$r_R = \psi_1 \cdot R_M; \quad (3.5)$$

де  $\psi_1$  - відношення радіусу ролика до радіусу матриці;  $R_M$  - радіус матриці, мм.

У прес-грануляторі з плоскою матрицею 3 (рис. 3.2) дисперсна сировина 2, за результатом дії ролика 1 з рифленою поверхнею, подається під тиском в клиновидний зазор, утворений верхніми матриці і ролика. У місці найбільш можливого тиску біомаса проштовхується крізь отвори (філь'ери) матриці. Максимально ущільнена біомаса, перетворена у гранули 4, на виході з філь'ер зрізується пристроєм 5.

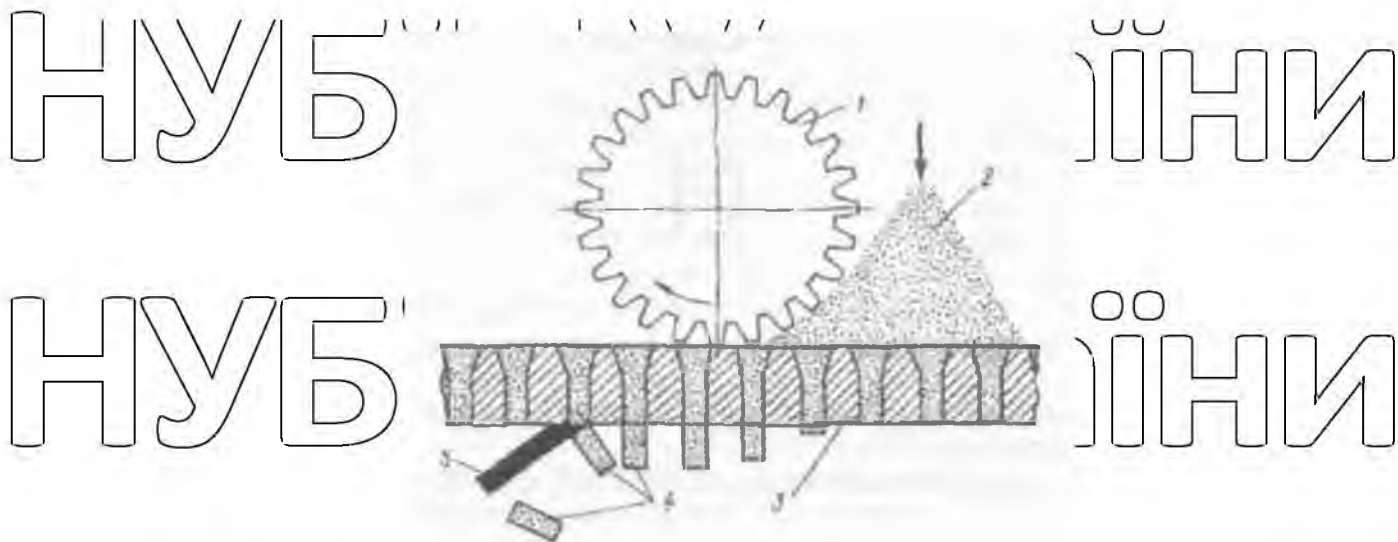


Рис. 3.2. Схема ущільнювання біомаси за допомогою плоскої матриці

### 3.2. Дослідження впливу опору перекочування на рух ролика по матриці

При коченні  $\epsilon$  коефіцієнт тертя кочення [2, 25], зазор для пари матриця-ролик рекомендується приймати рівним 0,09 мм, а його значення приймаються в залежності від діаметра ролика і величина коливається від  $k=0,05$  (при діаметрі ролика  $D=100$  мм) до  $k=0,3$  (при  $D=200$  мм). Такі розходження у величинах коефіцієнта тертя кочення не можуть не впливати на кінцеві результати задач.

Отримана експериментальна залежність [2, 26] між діаметром матриці  $D$  і коефіцієнтом тертя кочення  $k$  свідчить про залежність  $k$  від ширини плями контакту в напрямку руху колеса.

Така залежність отримана дослідником Д. Табором [27], яка при початковому лінійному контакті має вигляд:

$$k = \frac{3}{2\pi} b\alpha = 0,212\alpha; \quad (3.6)$$

де  $b$  - півширина плями контакту;  $\alpha$  - коефіцієнт гістерезисних витрат.

Автор цієї формули стверджує, що величина  $\alpha$  мала, очевидно має на увазі, що вона не значно відрізняється від одиниці.

Наявність у формулі (3.6) коефіцієнта  $\alpha$  зводить на внівець її практичне використання, оскільки не існує методики його визначення.

Аналітично-експериментальна залежність для початкового динійного контакту має вигляд [2, 28]:

$$k = 0,225b \cdot \exp(-1,2R) \quad (3.7)$$

де  $R$  - радіус ролика в метрах.

Порівняння формул (3.6) і (3.7) показує, що коефіцієнт гістерезисних витрат визначається із залежності

$$\alpha = \exp(-1,2R).$$

В подальшому встановимо частку складової на опір коченню від гістерезисних витрат, а також знайдемо мінімальну силу при якій починається рух колеса при силі тиску на колесо, знайденій із величини допустимих контактних напружень.

Скориставшись формулою (3.7), отримаємо кінцеві результати рішення задачі [25, 27]. В декілька скороченому вигляді задача сформулюється наступним чином.

Ролик з силою тяжіння  $G$  та радіусом  $r$  обертається в результаті дії сил тертя між біомасою і поверхнею ролика. Матриця набуває обертовий рух за допомогою електродвигуна та механічної передачі. Рілик котиться по жорсткій поверхні матриці, яка розташована перпендикулярно до нього. До ролика прикладено силу  $F$ .

Необхідно визначити швидкість центру мас  $C$  ролика в момент, коли він переміститься на відстань  $s$  та суму робіт усіх зовнішніх сил. Враховуємо, що ролик котиться без ковзання, оскільки він має рифлену поверхню якою притискається до матриці і за рахунок цього ковзання буде мінімальним. У початковий момент система знаходиться у спокої.

До ролика прикладені зовнішні сили і момент:  $G$  - сила тяжіння колеса,  $F$  - рушійна сила,  $m$  - обертальний момент,  $R$  - нормальна реакція матриці,  $F_{mp}$  - сила тертя. Робота реакції  $R$  і сили тертя  $F_{mp}$  дорівнюють нулю, оскільки ці сили

прикладені у миттєвому центрі обертання ролика  $P$ , елементарне переміщення якого дорівнює нулю. Робота сили тяжіння ролика  $G$  має нульове значення. Це пояснюється тим, що елементарне переміщення  $dS_C$  точки  $C$  є перпендикулярним до лінії дії ваги  $G$ .

Тому потрібно розрахувати тільки показники рушійної сили  $F$  і моменту  $m$ :

$$\delta A = \delta A(F) + \delta A(m); \quad (3.8)$$

$$\text{де } \delta A(F) = F \cdot dS_C \cos(\overline{F}, \overline{dS_C}) = F dS_C$$

$$\delta A(m) = m d\varphi$$

Згідно з умовою задачі, ролик котиться без ковзання, тому

$$dS_C = r d\varphi, \quad d\varphi = \frac{dS_C}{r}.$$

Згідно останнього трактування, рівняння (3.8) запишеться таким чином:

$$\delta A = F dS_C + m \frac{dS_C}{r} = \left(F + \frac{m}{r}\right) dS_C \quad (3.8, a)$$

Необхідно визначити показники суми робіт об'єднаних сил при русі осі ролика на відстань  $S$ . Проведемо інтегрування останнього рівняння (3.8, a) в межах від 0 до  $S$ :

$$A = \int_0^S \left(F + \frac{m}{r}\right) dS_C = \left(F + \frac{m}{r}\right) S$$

Кінетична енергія в кінцевому положенні становить:

$$T_k = \frac{1}{2} m v_c^2;$$

Швидкість центру мас ролика визначається за формулою [2, 28]:

$$v_c = \sqrt{\frac{2gs}{Pr} [F \cdot r - P - F]k}. \quad (3.9)$$

Розрахункова кінемагічна схема процесу кочення ролика наведена на рис. 3.3.

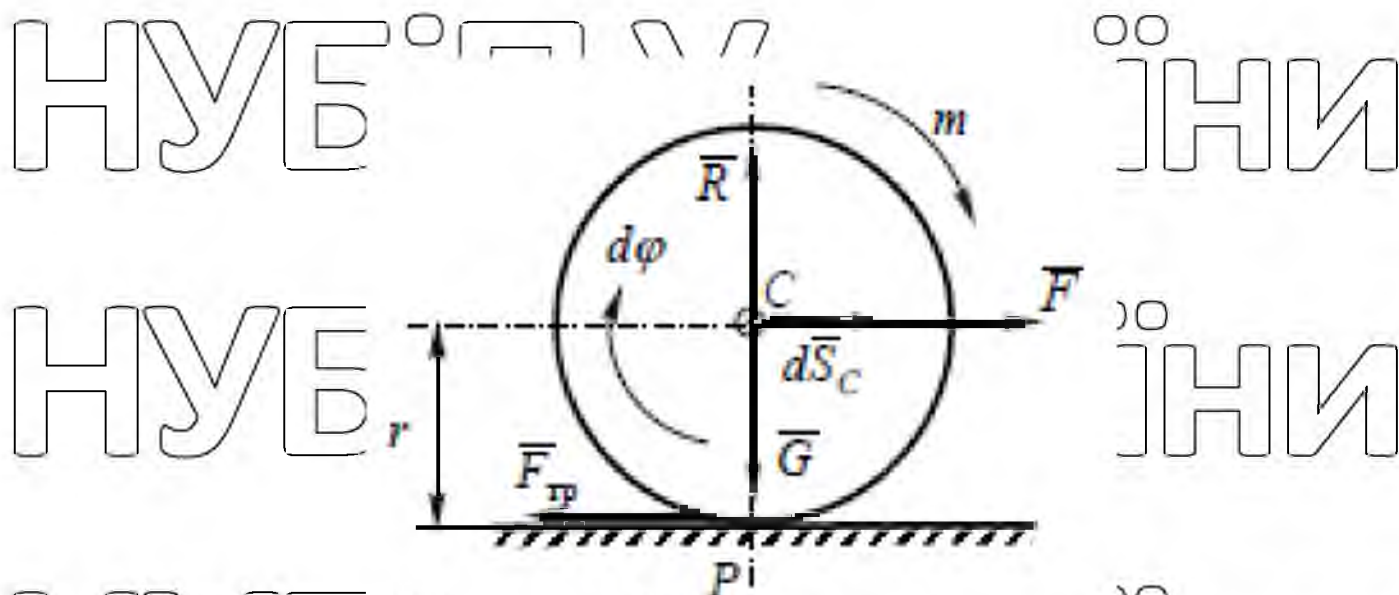


Рис. 3.3 Кінематична схема руху ролика по матриці

Залежності швидкості центру мас ролика  $v_c$  від шляху переміщення  $S$  показані на рис. 3.4.

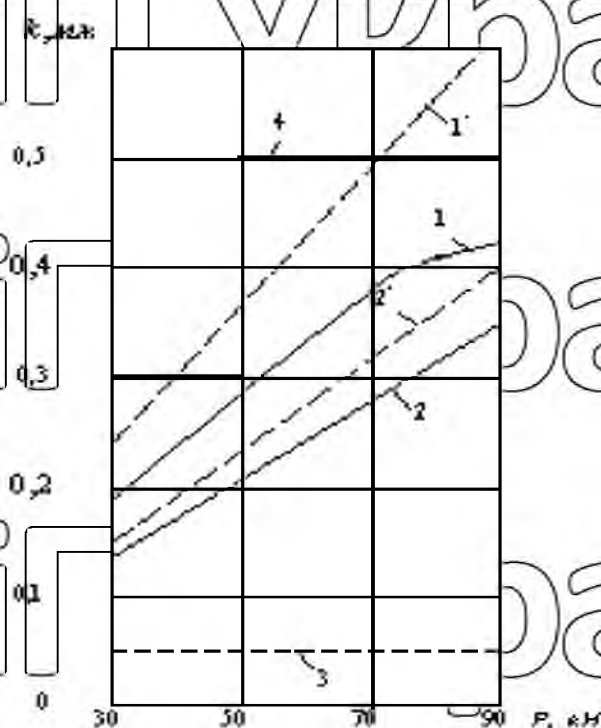


Рис. 3.4 Залежності від приведеної ваги ролика та коефіцієнта тертя кочення

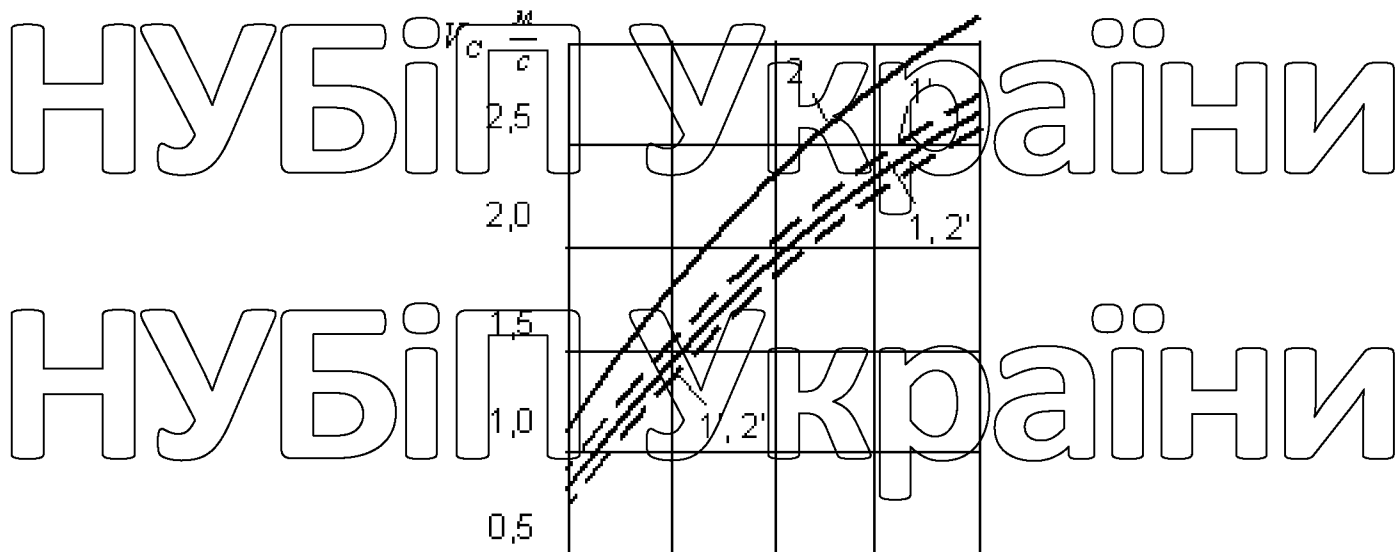


Рис. 3.5. Залежності швидкості центру мас ролика від шляху переміщення  $S$

Аналіз вищенаведених графіків дозволяє зробити такі висновки:

- частка складової від гістерезисних витрат в коефіцієнті тертя кочення залежить від радіуса ролика,

- швидкість центру мас ролика значно залежить від допустимих контактних напружень, і збільшується із їх збільшенням;

- мінімальна сила, при якій починається рух ролика при силі, знайденій із величини допустимих контактних напружень, збільшується зі збільшенням допустимих напружень.

### 3.3. Пропозиції щодо удосконалення будову пресувального вузла

1. Недоліком прес-гранулятора прототипу є відносно невелика продуктивність паливних пелет, яка становить 200-320 кг/год. Для того, щоб збільшити продуктивність прес-гранулятора потрібно збільшити кількість пресувальних роликів до максимальної кількості, що призведе до швидшого продавлювання деревного матеріалу через отвори матриці. Гранулятор прототип містить в своїй будову два пресувальних роликів. В удосконаленому грануляторі кількість пресувальних роликів

збільшили до трьох ітук, це дало змогу підняти продуктивність машини. Привод прес-гранулятора залишився незмінним.

2. Збільшення потужності на pelletування може призвести до збільшення зносу матеріалу поверхні матриці. Тому доцільно прийняти замість матеріалу сталі Ст 40X більш міцну леговану сталь марки Ст 1X13.

### 3.4. Аналіз динамічних процесів удосконаленого прес-гранулятора

Динаміка пристроїв – це розділ прикладної механіки в якому розглядаються динамічні процеси, що проходять при роботі пристроїв. Сучасні засоби працюють в інтенсивних режимах при значних навантаженнях зі значними швидкостями і незначними в часі перехідними процесами. Все це викликає появу значних динамічних навантажень при роботі пристроїв. Отже проведемо дослідження динамічних процесів, які виникають в удосконаленому прес-грануляторі. Нижче наведені вихідні дані для дослідження динамічних процесів.

Приймаємо наступні вихідні для подальших розрахунків:

1. Електричний двигун моделі АІР 132 М6 для гранулятора:

$P_{дв} = 7,5$  кВт – споживча потужність електродвигуна;

$n = 1000$  об/хв. – частота обертів валу прийнятого електричного двигуна;

$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7$  с<sup>-1</sup> – номінальна кутова швидкість обертання валу електродвигуна;

$\omega_{кр} = 0,35\omega_n = 0,35 \cdot 104,7 = 36,6$  с<sup>-1</sup> – кутова швидкість критична обертання валу електродвигуна;

$\omega_0 = 1,8\omega_n = 1,8 \cdot 104,7 = 188,5$  с<sup>-1</sup> – кутова швидкість початкова обертання валу електродвигуна;

$M_n = 75,0$  Нм - номінальний момент на валу двигуна;

$M_n = 165$  Нм - пусковий момент на валу двигуна;

$M_{кр} = 184$  Нм - критичний момент на валу двигуна.

2. Редуктор черв'ячний марки Ч-80:

$U = 8$  - передаточне число редуктора;

$\eta = 0,75$  - ККД редуктора.

3. Параметри пресувального вузла:

$R = 0,042$  м - радіус руху роликів відносно матриці;

$r = 0,032$  м - радіус ролика;

$Z = 3$  - кількість роликів;

$m_6 = m_7 = m_8 = 5$  кг - маса ролика;

$F_0 = 20$  Н - сила опору перекочування ролика.

4. Моменти інерції рухомих деталей прес-гранулятора:

$I_1 = I_{\text{дв}} = 0,0597$  кг · м<sup>2</sup> - момент інерції двигуна;

$I_2 = I_{\text{муфти}} = 0,5I_1 = 0,02985$  кг · м<sup>2</sup> - момент інерції муфти;

$I_3 = 0,2I_1 = 0,01194$  кг · м<sup>2</sup> - момент інерції черв'яка;

$I_4 = I_3 U^2 = 0,01194 \cdot 8^2 = 0,76416$  кг · м<sup>2</sup> - момент інерції веденого колеса;

$I_5 = 0,002$  кг · м<sup>2</sup> - момент інерції важеля, на якому закріплені ролики;

$I_6 = I_7 = I_8 = 0,003$  кг · м<sup>2</sup> - момент інерції ролика.

### 3.5. Розрахунок показників потужності пресувального вузла

Споживчу потужність, необхідну для привода редуктора матриці, визначаємо

за наступною залежністю [14, 32, 33]:

$$N = N_o Q, \quad (3.10)$$

де  $N_o$  - питомі витрати потужності на одиницю пелетної продукції, кВт · год/ кг.

Потужність електродвигуна за формулою: [31, 34]:

$$N_{\text{дв}} = N / \eta, \quad \text{кВт} \quad (3.11)$$

де  $\eta$  - ККД передачі крутного моменту.

Загальне передаточне число головного привода:

$$U_{i\partial} = \frac{n_{\bar{n}}}{n_{\partial a}} = \frac{750}{15} = 50,$$

де  $n_c$  – частота обертання валу електродвигуна, об/хв.;

$n_{pe}$  – частота обертання робочого валу.

Розрахункова споживча потужність електродвигуна становить:

$$N_{эл}^p = \frac{N_{pe}}{\eta_{np}} = \frac{6,59}{0,89} \approx 7,41 \text{ кВт}.$$

Обираємо електродвигун з врахуванням того, щоб фактичне перевантаження не перевищувало 5%, а недовантаження – 15%. Приймаємо асинхронний електродвигун марки 4A250M8У3.

Коротка технічна характеристика електродвигуна.

- потужність вибраного електродвигуна  $N = 7,5$  кВт;

- синхронна частота обертання  $n = 750$  об/хв.;

- номінальне ковзання  $S = 1,4$  %.

Розраховуємо також недовантаження цього двигуна:

$$45 \text{ кВт} - 100\%$$

$$3,4 \text{ кВт} - x\% \Rightarrow x = 7,5\% < 15\% - \text{недовантаження};$$

Таким чином, прийнятий електродвигун марки 4A250M8У3 відповідає технічним вимогам. Отже, значення недовантаження електродвигуна входить в межі рекомендованих нормативів.

### 3.6. Розрахунок техніко-технологічних параметрів матриці

Для обґрунтування параметрів матриці проводимо аналіз та технологічний розрахунок, а також розрахунок на міцність матричного диску.

Технологічний розрахунок передбачає визначення номінальної продуктивності пресувального вузла. Крім того, потрібно обґрунтувати необхідний діаметр матриці за визначеною пропускною здатністю.

Продуктивність матриці на біомасі (кг/с) визначають за формулою [2, 32, 35]

$$\Pi = \gamma \rho f \frac{100 - W_T}{100 - W_C} \quad (3.12)$$

де  $\gamma$  - швидкість проходження процесу пелетування, м/с;

$\rho$  - щільність сировини, кг/м<sup>3</sup>;

$W_T$  - вологість сировини, %;

$W_C$  - вологість отриманих пелет, %;

$f$  - корисна площа живого перерізу плоскої матриці, м<sup>2</sup>.

Площа живого перерізу плоскої матриці [2, 32, 35]:

$$f_v = \pi n d^2 / 4, \quad (3.13)$$

де  $d$  - діаметр формуючої фоль'єри, м;

Діаметр матриці [2, 32, 35]:

$$D = \sqrt{4F/\pi}. \quad (3.14)$$

Площа робочої поверхні матриці (м<sup>2</sup>):

$$B = \Sigma f k_f, \quad (3.15)$$

де  $k_f$  - довідниковий коефіцієнт живого перерізу плоскої матриці (

$k_f = 0,035 \dots 0,140$ ).

Сумарний живий переріз формувальних матричних фоль'єр:

$$\Sigma f = [\Pi k / \gamma \rho] [(100 - W_C) / (100 - W_T)], \quad (3.16)$$

де  $k$  - коефіцієнт корисної дії плоскої матриці ( $k = 0,9 \dots 0,95$ ).

З метою визначення номінальної товщини  $h$  матриці проводимо розрахунок на міцність

$$h = b \sqrt{A_{p\Pi} / [\sigma]}, \quad (3.17)$$

де  $b$  - ширина матриці, м;

$A_{p\Pi}$  - тиск пелетування, МПа;

$[\sigma]$  - напруження, що допускається, МПа;

А<sub>рр</sub> – емпіричний коефіцієнт (А=1,4...13,7).

Ця формула 3.17 є базовою для можливості проведення ряду розрахунків. Наприклад, застосувати її для розрахунку граничного тиску за критерієм міцності матеріалу матриці та за встановленою товщиною матриці.

Загальну масу сировини, як показник пропускної здатності пресувального вузла крізь сукупність фільтрів, доцільно приймати з урахуванням наявності 10 % пресових відходів (кіншвок, обривів, рваних пелет).

Таким чином, продуктивність прийнятої виробничої лінії пелетування має бути залежною і синхронною з технологічним потенціалом удосконаленого прес-гранулятора з такими параметрами перфорованої поверхні плоскої матриці: товщина  $h = 20$  мм,  $D = 198$  мм.



Рис. 3.6. Загальний вигляд удосконаленого пресувального механізму

Таким чином, результати розрахунків дозволили обґрунтувати основні техніко-технологічні параметри пресувального вузла плоско-матричного гранулятора. Розрахунки свідчать, що пропозиції щодо техніко-технологічного удосконалення пресового вузла та елементів привода прес-гранулятора відповідають вимогам нормативної документації. Загальний вигляд удосконаленого пресувального вузла наведено на рис. 3.6), а складальне і робочі креслення – в ілюстраційній частині та додатках.

## Розділ 4.

## ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБКИ

## 4.1. Економічні розрахунки дослідженого прес-гранулятора

В оцінці економічній ефективності розробки розглянуто доцільність застосування у виробничому процесі обґрунтовано удосконаленого прес-гранулятора.

При проектуванні даного пристрою нами були використані сучасні матеріали.

При наших розрахунках маса спроектованого прес-гранулятора збільшується на 5 кг, але також збільшується продуктивність на 15%.

Отже розрахуємо продуктивність удосконаленого прес-гранулятора:

$$Q = 2\pi b\rho zR^2\beta(1-\beta)\left(1 - c\cos\frac{\gamma}{\beta}\right)\omega; \quad (4.1)$$

де  $b = 0,10$  м - ширина шару біомаси яка пресується, м;

$\rho = 1400$  кг/м<sup>3</sup> - щільність біомаси;

$z = 3$  - кількість пресувальних роликів;

$R = 0,42$  м - радіус матриці;

$\beta = 0,3$  - відношення радіусів пресувального ролика до матриці;

$\gamma = 14^\circ$  - кут природного укусу біомаси;

$\omega$  - кутова швидкість обертання роликів, с<sup>-1</sup>.

$$Q = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,08 \cdot 1400 \cdot 3 \cdot 0,42 \cdot 0,3 \cdot (1 - 0,3) \left(1 - c\cos\frac{14}{0,3}\right) = 196 \text{ кг/год}$$

Приймаємо розрахункову продуктивність прес-гранулятора 200 кг/год.

Визначаємо ціну удосконаленого пристрою:

$$C_{c.g} = \left(\frac{12500}{430} \cdot 435 + 280\right) = 32925 \text{ грн} \quad (4.2)$$

де  $C_{c.g}$  - ціна удосконаленого прес-гранулятора, грн.;

$C_{c.m} = 32500$  грн - ціна базового прес-гранулятора;

$m_{н.м} = 350$  кг - маса удосконаленого прес-гранулятора;

$m_{с.м} = 340$  кг - маса базового прес-гранулятора;

$N = 780$  грн - вартість корпусних деталей;

Визначаємо загальні капіталовкладення, враховуючи їх установку в переробному цеху:

$$K_3 = B_B (K_T + K_M) + 3_{п} = 20500(1,12 + 1,3) + 30 = 47950 \text{ грн} \quad (4.3)$$

де  $K_3$  - загальні капіталовкладення, грн.;

$B_B = 20500$  грн - балансова вартість прес-гранулятора;

$K_T = 1,12$  - коефіцієнт транспортних витрат;

$K_M = 1,3$  - коефіцієнт, який враховує витрати на монтаж прес-гранулятора;

$3_{п} = 30$  грн - затрати на підключення та прокладання.

Визначаємо прямі експлуатаційні витрати за залежністю:

$$C = C_0 + C_{ел.ен} + C_p + C_{м.м} + C_a \quad (4.4)$$

де  $C_0$  - оплата за одиницю виконаної роботи, грн.;

$C_{ел.ен}$  - вартість електроенергії, грн/кВт\*год.;

$C_p$  - вартість ТО і ремонту, грн.;

$C_{м.м}$  - витрати на мастильні матеріали, грн.;

$C_a$  - амортизаційні відрахування, грн.;

Оплата за одиницю виконаної роботи:

$$C_0 = \frac{N \cdot S}{Q} = \frac{1 \cdot 8}{0,15} = 253 \text{ грн/т.} \quad (4.5)$$

де  $N = 1$  - кількість робітників;

$S = 84$  грн/год. - оплата праці одного робітника за годину роботи;

$Q = 0,20$  т/год - продуктивність прес-гранулятора;

Відрахування на амортизацію визначаємо по балансовій вартості пристрою і норм амортизаційних відрахувань по формулі

$$C_a = \frac{B_B \cdot X}{100 \cdot Q_p} = \frac{20500 \cdot 12}{100 \cdot 294} = 8,3 \text{ грн/т} \quad (4.6)$$

де  $B_v$  – балансова вартість пристроїв, грн.;

$X = 12\%$  – відсоток амортизаційних відрахувань;

$Q_p$  – продуктивність спроектованого прес-гранулятора за 1 рік.

$$Q_p = n \cdot k \cdot T \cdot Q = 265 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 0,2 = 848 \text{ т.} \quad (4.7)$$

де  $n = 265$  – кількість робочих днів протягом року;

$k = 1$  – число змін на добу;

$T = 8 \text{ год.}$  – тривалість зміни;

Визначаємо витрати на технічне обслуговування та ремонт:

$$C_p = \frac{B_v \cdot A_1}{100 \cdot Q_p} = \frac{20500 \cdot 14}{100 \cdot 848} = 14,5 \text{ грн/т} \quad (4.8)$$

де  $A_1 = 14\%$  – відсоток відрахувань на технічне обслуговування та ремонт.

Витрати на електроенергію за 1 годину роботи:

$$C_{\text{ел.ен}} = \frac{C_{\text{ел.ен}} \cdot P_{\text{ел.дв}}}{Q} = \frac{1,48 \cdot 7,5}{0,2} = 147 \text{ грн/т} \quad (4.9)$$

де  $C_{\text{ел.ен}} = 1,48 \text{ грн.}$  – ціна 1 кВт / год.;

$P_{\text{ел.дв}} = 7,5 \text{ кВт}$  – потужність електродвигуна.

Розраховуємо витрати на змащувальні матеріали. За 1 рік для змащування прес-гранулятора витрачаємо 0,5 кг мастила:

$$C_{\text{м.м}} = 8 \cdot 0,5 = 4 \text{ грн.} \quad (4.10)$$

Отже прями експлуатаційні витрати складають:

$$C = 253 + 147 + 14,5 + 8,3 + 4 = 426,8 \text{ грн/т.}$$

Визначимо кількість виготовленої продукції на удосконаленому грануляторі

за зміну (за 1 добу):

$$P = Q \cdot T = 0,2 \cdot 8 = 1,6 \text{ т.} \quad (4.11)$$

Визначимо добовий прибуток:

$$\Pi = P \cdot C_r = 1,6 \cdot 2800 = 4480 \text{ грн} \quad (4.12)$$

де  $C_n = 2800$  грн – орієнтовна ціна паливних пелет.

Термін окупності удосконаленого прес-гранулятора:

$$t = \frac{C_{ст}}{\Pi} = \frac{32925 \cdot 1,2}{4480} = 0,8 \text{ рік.} \quad (4.13)$$

Отримані результати обчислень заносимо у таблиці 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.1. Порівняльна техніко-економічна характеристика

Найменування	Прототип	Проект прес
Продуктивність, кг/год.	180	200
Балансова вартість пристроїв, грн.	21050	20500
Маса, кг	340	350
Потужність електродвигуна, кВт	7,5	7,5
Загальні капіталовкладення, грн.	25200	24940
Річний обсяг роботи пристроїв, т/рік	790	850
Прямі експлуатаційні витрати, грн/т	92,3	88,7
Ціна балансова пристроїв, грн.	20500	20925

Таблиця 4.2. Економічні показники роботи лінії гранулювання біомаси

№	Показник	Значення
1	Вартість обладнання лінії, грн.	445600
2	Вартість ремонту приміщення, грн.	116000
3	Обслуговуючий персонал, осіб	3
4	Погодинна тарифна ставка, грн.	79,5
5	Річний виробіток пелет, т	850
6	Ціна електроенергії, грн./кВт·год	1,48
7	Питомі витрати електроенергії, кВт год/т	105
8	Вартість сировини з транспортними витратами, грн./т	124
9	Собівартість пелет з біомаси, грн./т	2389
10	Ціна реалізації пелет з біомаси, грн./т	2800
11	Прибуток річний, грн.	349390
12	Строк окупності лінії, років	1,4

## Розділ 5.

## РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЦТВІ

## 5.1. Заходи безпечної праці на твердопаливному виробництві

З метою покращення умов охорони праці вся відповідальність покладається на адміністрацію підприємств (установ), для того, щоб даний персонал проводив інструктаж працівників і службовців з безпеки праці, виробничої санітарії, пожежної безпеки та інших НПА з охорони праці;

- організацію діяльності з професійного відбору спеціалістів;
- проведення постійного контролю за дотриманням працюючими нормативних вимог, посадових інструкцій та інструкцій з охорони праці.

Інструктаж і навчання безпечних прийомів і правил методів роботи повинні бути організовані обов'язково на всіх виробничих дільницях пелетного підприємства невраховуючи характер, походження і ступінь небезпеки процесів та кваліфікації, виробничого стажу осіб, які виконують роботу (ДЕРЖСТАНДАРТ-12.004.-97).

Виробничі приміщення повинні відповідати вимогам СНІП 2.09.02.

Опалювання приміщення буде здійснюватися за рахунок теплогенератора на біомасі потужністю 50 кВт, обладнання систем вентиляції та опалення буде відповідати вимогам ГОСТ 12.4.021 і СНІП 2.04.05. На робочих місцях та у виробничих приміщеннях потрібно дотримуватись вимог пожежної безпеки згідно з ГОСТ 12.1.004 та необхідно їх облаштувати первинними засобами пожежогасіння згідно з

НАПБ А.01.001. Мікроклімат в цеху повинен відповідати санітарним нормам ДСН 3.3.6.042. Рівень освітленості робочих місць має відповідати ДБН В.2.5-28.

Одним із напрямків розвитку альтернативної енергетики є виробництво паливних гранул (пелет). Сировиною для їх виробництва є побічна продукція аграрних підприємств та лісової промисловості. Рослинні пелети виробляють з відходів аграрних і деревообробки, що зменшує їх вартість і вирішує проблему утилізації відходів. Тому виробництво рослинних пелет в Україні в останні роки стало популярним і постійно збільшується [48, 49].

Разом із тим, при виробництві рослинних пелет існують також певні виробничі небезпеки, до яких відносяться підвищені рівні шуму і вібрації у виробничому приміщенні, запиленість виробничого середовища, на робочому місці, вибухо-пожежонебезпека пелетних виробництв тощо. Виробничі небезпеки, характерні для що існують на пелетних підприємствах, показані у вигляді блок-схеми на рис. 1. Ця робота присвячена питанням оцінення ризику пожеж, травмування і професійної захворюваності працівників на виробництві рослинних пелет [49].

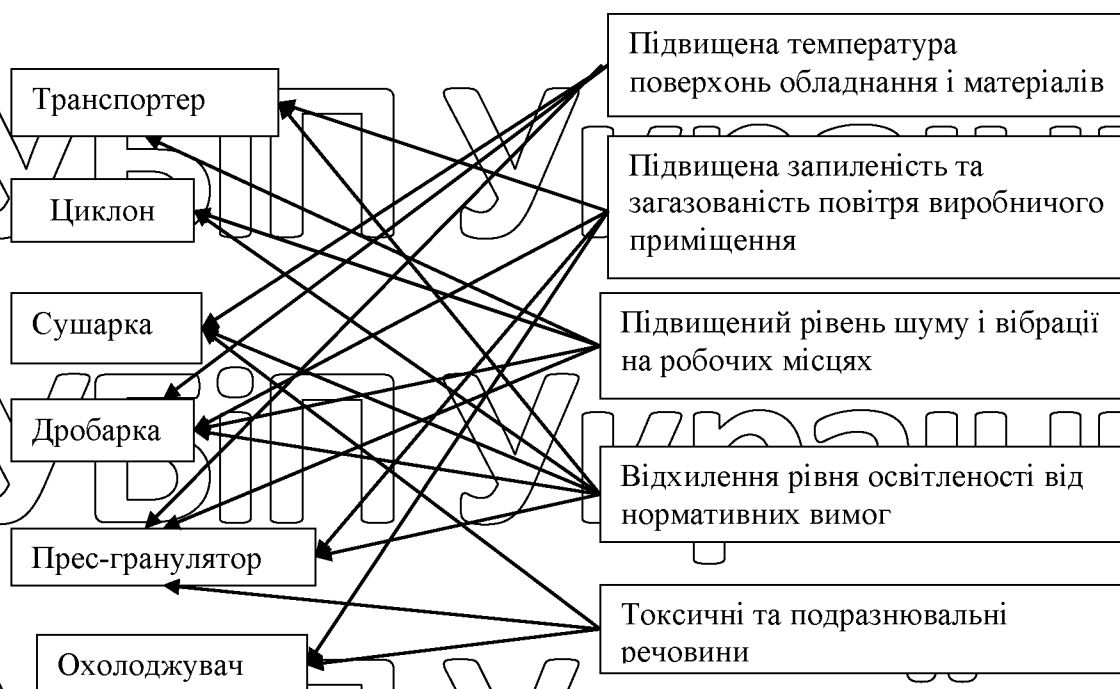


Рис. 5.1. Блок-схема небезпек, характерних для технологічно обладнання

пелетного виробництва

Для виробників рослинних пелет існує проблема вибухів, пожеж та самозаймання сировини або гранул. Загалом пожежі на виробництвах з перероблення деревини – це явище нерідке. Аналіз аварій на пелетних виробництвах свідчить, що пожежі можуть статися у різних складових частинах технологічної лінії: на сировинному складі, у сушильному комплексі, в дробарні, в циклонах та пневматичних системах; у прес-грануляторі, в охолодній колоні; у вмістищах зберігання пелет. Найбільш небезпечними є етапи технологічного процесу сушіння

деревної сировини. Займання матеріалу чи обладнання зумовлюються пилом та гарячими частинками біомаси, які рухаються всередині технологічних магістралей [48].

При роботі грануляторів виникає небезпека перегріву поверхні робочих органів внаслідок підвищеного тертя (наприклад, в збільшеному робочому зазорі між роликками і матрицею, при несправності обладнання тощо). Це призводить до появи гарячих частинок, які мають температуру  $450^{\circ}\text{C}$  і більше та енергію близько  $40\text{ мДж}$ , які є можливими джерелами займання. Вони не мають яскраву світлимість, тобто це „темні” (чорні) частинки, які потрапляючи на подрібнену висушену сировину викликають її самозаймання. Ці частинки є набагато небезпечнішими іскор з температурою понад  $1000^{\circ}\text{C}$  [48].

Виявленню небезпечних гарячих „темних” частинок сприяє встановлення на технологічне обладнання спеціальних детекторів, наприклад, датчика GD ( $400^{\circ}$ ) шведської фірми Firefly AB. Ці датчики працюють в інфрачервоній зоні і мають виявляти лише істинні джерела займання. У детекторах чутливі елементи здебільшого побудовано на сульфіді свинцю (PbS). Такі прилади дозволяють визначати місце і потужність іскор, „темних” часток високої енергії, температура яких становить більше  $250^{\circ}\text{C}$ . Суттєвою перевагою зазначених датчиків над силіконових фотодетекторів, є те, що вони реагують на яскравість від іскор і нечутливі до денного світла. Детектори гарячих частинок потрібно встановлювати також на входах у накопичувальні бункери і на виходах із сушильних установок [48].

На усіх ділянках виробництва рослинних гранул доцільно використовувати системні комплекси виявлення іскор і гарячих частинок та автоматичного включення приладів їх гасіння.

Ще одним небезпечним фактором пелетного виробництва є утворення на етапі подрібнення сировини, її сушіння, транспортування, охолодження і упакування гранул великої кількості пилу. Найбільш небезпечним для працівників є пил з еквівалентним діаметром  $1-10\text{ мкм}$ , який легко проходить в легені при вдиханні повітря, але при його видиханні не виводиться звідти, викликаючи розвиток фіброзу. Для зменшення пилоутворення пелетних виробництв доцільно застосовувати

механізацію процесів, пневмотранспорт, притоко-витяжними системами вентиляції [49].

Вібрація і шум в pelletних виробництвах можуть бути усунуті стандартними методами: зниженням чинника в джерелі виникнення, відлагодженням від резонансних режимів, вібро-демпфіруванням, динамічним гасінням, вібро- і шумоізоляцією обладнання, застосуванням малошумних механізмів тощо.

### **5.2. Пиле виділення і вибухонебезпечність на pelletних підприємствах**

Всі транспортні та технологічні процеси зберігання та переробки відходів біомаси супроводжуються значними пилевиділеннями. Пил у виробничих приміщеннях перебуває у двох станах: у зваженому- аерозольному в повітрі і в осілому аерогельному.

Найбільш вибухонебезпечним є пил в аерозольному стані, оскільки він являє собою багату на органічні речовини суміш. Спалах і вибух горючого пилу залежать від: дисперсності, зольності, вологості, від концентрації пило-повітряної суміші, наявності джерела теплоти, достатньої кількості кисню в повітрі. Пил і пилоподібні продукти відходів біомаси здатні не тільки до спалення, але і при певних умовах можуть викликати локальні пилові вибухи в обладнанні, які здатні поширюватися по комунікаціях.

### **5.3. Заходи щодо запобігання та локалізації пилових вибухів**

Все технологічне та транспортне устаткування повинно мати аспіраційне обладнання (витяжки). При надійній та ефективній роботі аспіраційних установок забезпечується оптимальний повітряний режим в пристроях за межами нижчої вибухонебезпечної концентрації пилу.

Аспіраційне обладнання повинно знаходитися під розрідженням, яке буде запобігати виділенню пилу в робоче приміщення. При аспірації обладнання, не можна

допускати всмоктування в повітропровід пилоподібних продуктів, так як при цьому можуть виникати вибухонебезпечні концентрації.

Повітроводи і корпуси аспіруючого обладнання повинні бути герметизовані, а фільтри і циклони надійно працювати. Крім систематичного очищення від пилу повітроводів і пилевідвідників, слід періодично перевіряти режим роботи всієї аспіраційної мережі.

Надійна й ефективна робота аспіраційних установок забезпечує зниження концентрації пилу в робочих приміщеннях, а також в технологічному і транспортному обладнанні.

По можливості слід ширше використовувати автоматичні системи придушення процесів горіння і пилових вибухів. Компоненти біомаси перед надходженням в переробку потрібно очищати від металевих і мінеральних домішок. Приймальні бункери, куди надходять рештки, обладнають спеціальними ґратами, де уловлюються грубі мінеральні й металеві домішки.

При огляді та очищенні приймального бункера слід для освітлення використовувати лампи розжарювання або прожектори в пило захищеному виконанні струму з напругою живлення 12/36 В. Освітлювальні пристрої повинні відповідати чинним правилам техніки безпеки.

Перераховані вище заходи не є вичерпними, їх потрібно систематично коригувати з урахуванням результатів науково-дослідницьких робіт, конкретних особливостей технологічних процесів переробки, а також з урахуванням відповідних інструкцій щодо запобігання і локалізації пилових вибухів.

#### **5.4. Вказівки заходів безпеки при роботі на прес-грануляторі**

До роботи на прес-грануляторі біомаси допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли інструктаж з безпеки праці і вивчили конструкцію даного пристрою.

Забороняється приступати до роботи на прес-грануляторі

при відсутності, або пошкодженні заземлення;

- при відсутності, або ненадійному кріпленні захисного кожуха на пасовій передачі;

- при відсутності, або відкритих стулках кожуха прес-гранулятора чи ненадійному кріпленні стулок кожуха;

- забороняється очищення зони пресування і камери забору готової продукції під час роботи прес-гранулятора;

- виконувати ремонтно-профілактичні роботи під напругою;

При виявленні загрозової ситуації життю і здоров'ю людей гранулятор необхідно негайно зупинити і доповісти про інцидент керівництву цеху. Пуск прес-гранулятора після зупинки можна здійснити тільки після усунення причини зупинки.

Обслуговуючий персонал повинен слідкувати за тим, щоб:

- сторонні предмети (шматки заліза, каменів і т. п.) не потрапляли у гранулятор;

- робоче місце було досить правильно освітлено;

- у місці, призначеному для обслуговування прес-гранулятора не було калюж або змащення;

- робоче місце було вільним від сторонніх предметів.

Джерелами потенційних небезпек при роботі обладнання можуть бути несправності машин, шкідливі та небезпечні чинники на пелетуванні біомаси, що мають місце в наявності і можуть з'явитися, виникнути при інтенсивному функціонуванні засобів пелетної лінії. До таких факторів доцільно віднести такі: небезпеку враження працівника електричним струмом за причиною пошкодження робочої ізоляції електрообладнання; відмову автоматичних засобів захисту від враження електричним струмом; небезпеку отримання фізико-механічних травм під час виконання будь-яких технологічних процесів при недотриманні інструкцій з охорони праці, зокрема, роботі при відсутності чи несправності захисних пристроїв.

Неодмінною умовою вискоєфективної виробничої діяльності є постійне дотримання нормативних вимог безпеки праці для працюючого. Для забезпечення належного стану з охорони праці на пелетних виробництвах при виконанні виробничих процесів розроблені державна нормативна документація, зокрема закон

України “Про охорону праці”. Згідно з цим законом власник підприємства повинен в кожному структурному підрозділі і на кожному робочому місці забезпечити умови праці у відповідності до вимог нормативно-правових актів, забезпечити дотримання правил безпеки праці на усіх робочих місцях.

При виявленні загрозової ситуації життю і здоров'ю оператора прес-гранулятора необхідно негайно зупинити і доповісти про інцидент керівнику підрозділу. Пуск гранулятора після зупинки можна здійснити тільки після усунення причини зупинки.

**5.4.1. Планові і непланові зупинки лінії гранулювання.** Технологічні лінії пелетування для переробки вторинної біомаси та виробництва пелет в асортименті. Обладнання та машини пелетної лінії вимагають періодичного технічного обслуговування. Тому необхідно дотримуватись цих вимог, а також часно контролювати відхилення та дії процесів, що протікають усередині лінії пелетування біомаси. Типові поломки та технічні несправності наведені на рис. 5.2.



Рис. 5.2. Проведення щозмінного технічного огляду вузла пелетування

У пресі при плановій зупинці після відкриття передньої кришки необхідно в першу чергу, перевірити робочі зазори між матрицею і роликками. Вони не повинні перевищувати нормативні значення, що ймовірно із-за вироблення зносу поверхонь. Тоді можливе виникнення буксування роликків, тертя і поява джерел тління. Якщо підвищені зазори з'явилися, з яких-небудь причин, то їх обов'язково необхідно відрегулювати відповідними пристроями.

Також потрібно обов'язково провести візуальний огляд пресувального вузла, переконатися у тому, що матриця немає тріщини. Такий наслідок можливий, якщо у прес-гранулятор потрапляє будь-який сторонній предмет з металу (рис. 5.3).



Рис.5.3. Типові несправності вузла пелетування

Також потрібно звернути увагу на ролики які стоять нерухомо, але безпосередньо приймають участь у процесі пелетування, тобто вузли і деталі є перевантаженими і з високою температурою поверхонь. При умові появи на ролик тріщини, або з'являється вироблення, то негайно потрібно ролик або замінити, або відновити поверхню шляхом механічної проточки поверхні. Причому один ролик допускається проточувати два-три рази.

Необхідно звернути увагу і на знаки і мітки, трапляється таке, що вони руйнуються. Причина - пересушена сировина, або нерівномірна подача сировини дозатором. Також потрібно щозмінне перевірити маслопровід, його герметичність, наявність мікро тріщини. Перевірити необхідно болтове та інше кріплення вузлів.

Строки функціонування лінії пелетування, поломки лінії і дотримання технології пелетування - речі безпосередньо взаємозв'язані. При занадто сухій біомасі, коли сировина пересушена, то значно збільшуються навантаження на пресовий вузол і тоді можуть вийти з ладу головні елементів пресового механізму.

Пелети в цьому випадку будуть не якісні (короткі). В випадку, якщо сировина недосушена - якісних пелет теж не отримати.

### 5.5. Аналіз виникнення та усунення пожежних небезпек на пелетних виробництвах

Технологія отримання біопаливних гранул, діаметр яких сягає 4-12 мм, довжина - 10-50 мм [48, 49], передбачає такі основні процеси:

– подрібнення частинок сировини до розмірів 1-4 мм та висушування матеріалу до 8-14% вологості в конвекційних сушарках;

– гранулювання біомаси в матричних грануляторах методом продавлювання роликками крізь філь'ери матриці під тиском до 40 МПа;

– охолодження отриманих гранул до температури 30-40°C;

– просіювання пелет для відокремлення дрібної фракції.

За результатами досліджень та досвіду виробників найбільш сприятлива температура пелет в момент їх утворення в філь'ері становить 90-100°C. Це сприяє розм'якшенню лігніну та не дає утворюватися водяній парі інтенсивне.

На виробництві пелет існує високий ризик загоряння в ході протікання технологічних процесів. Пелетні виробництва за класифікацією приміщень за вибуховою та пожежною небезпекою належать до класів В-Іа і П-ІІ. Наявність підвищених температур, іскор, пилу в обладнанні може спричинити загоряння та вибухи [48, 49].

Відомо [48] декілька техногенних аварій на пелетних виробництвах. На фірмі „Imperial Sugar” (США) в лютому 2008 р. стався вибух пилу і пожежа. Внаслідок 14 працівників загинуло, 38 дістали поранення, загальні втрати становили 220 млн. доларів. В жовтні 2010 р. на пелетному заводі в Білорусі вибухнув пил, зайнялась пожежа. В результаті загинуло 16 людей, повністю зруйновано завод.

Аналіз показав, що часто причинами вибухів і пожеж є пил та гарячі частинки сировини, що рухаються всередині магістралей пелетного виробництва [48, 49].

Разом з цим, на теперішній час відсутні результати досліджень промислової пожежної безпеки на пелетних виробництвах. Тому доцільно продовжувати з'ясування причин виникнення пожеж на зазначених виробництвах та впроваджувати профілактичні заходи і сучасні ефективні засоби пожежогасіння.

Сушіння сировинної біомаси є пожеже небезпечний процес твердопаливного виробництва. В камеру сушарки барабанного типу гарячий газ потрапляє, як правило, безпосередньо з топки. Тому ймовірність займання сировина занадто висока. Крім того, може відбутися вибух повітряно-пилової суміші. Загоряння також може

виникнути за причиною відсутності надходження до барабану сушарки вологих частинок сировини за умов надходження продуктів згоряння з топки, наявність просторів в барабані з пересушеними (обвугленими) частинками.

Накопичений пил у системі подачі сировини надходить також до газового потоку. Він згорає занадто швидко, може детонує, що фактично є вибухом в барабані сушарки. Значно пожежо-небезпечними є порушення технологічного режиму роботи топки. Мається на увазі вихід з пічної камери продуктів неповного згоряння  $CO$  та інших. Тобто після заповнення сушильного барабана ці горючі гази можуть спалахнути при наявності іскор [48]. Особливу небезпеку становлять гарячі частинки з температурою понад  $400^{\circ}C$  та енергією понад 40 мДж (рис. 5.4) (якщо це можуть бути частинки без яскравої світлості).

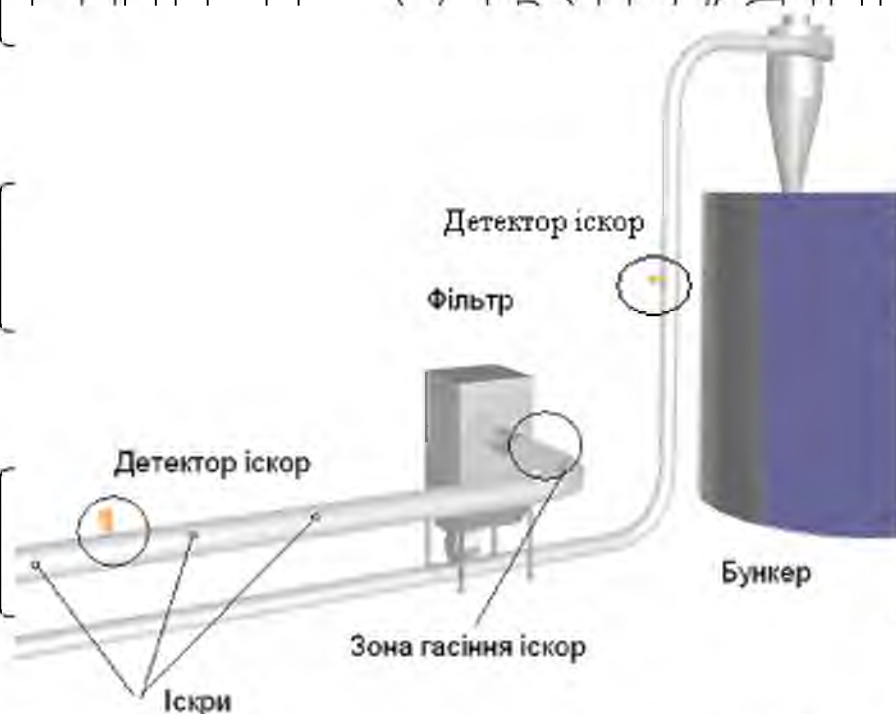


Рис. 5.4. Схема виявлення і гасіння іскор на сушильному обладнанні

У сушарці барабанного типу біосировина характеризується різним ступенем вологості. Також мають місце проблеми з дозуванням матеріалу, тому в барабані може з'явитися пересушена маса. Для виявлення іскор в магістралях встановлюють детектори, що працюють в інфрачервоній зоні. Вони мають виявляти лише справжні джерела займання. Детектори потрібно улаштувати на вході до фільтра та до бункера (рис. 5.4). Елементи чутливі, що в детекторах, мають в основі сульфід

свинцю. Вони виявляють іскри, та високоенергетичні „темні” частинки, температура яких понад  $250^{\circ}\text{C}$ .

Під час роботи грануляторів також виникають умови перегріву поверхонь робочих вузлів (рис. 5.5). Такі фактори можуть призвести до утворення „чорних” гарячих частинок з енергією біля 40 мДж та температурою понад  $470^{\circ}\text{C}$ , що достатньо для самозаймання [49].

Фактори, які утворюють пожежну небезпеку процесу:

- налипання матеріалу, що гранулюється,
- підвищення температури до  $120\text{-}180^{\circ}\text{C}$  в робочій зоні, як наслідок тертя;
- незадовільний стан або поломки підшипників.



Рис. 5.5. Небезпечні ситуації в камері гранулювання під час роботи

Для виявлення небезпечних явищ та уникнення утворення „чорних” частинок біомаєн необхідно в місцях здійснення процесів встановлювати детектори, наприклад, GD (400°) шведської компанії Figeļu AB [48].

На магістральних технологічних потоках після подрібнення, сушіння сировини, а також охолодження пелет після гранулятора доцільно застосовувати системні комплекси виявлення іскор та автоматичного включення екстреного їх гасіння [48, 49]. Високочутливі датчики також виявляють іскри під шарами сипкого матеріалу і пилу при транспортуванні. Дана система реєструє іскри і тліючі частинки в допі секунди після їх появи і вмиль запускає механізм гасіння іскор. На відміну від інших систем пожежогасіння дані установки допомагають запобігти появі вогню на початковій стадії [48, 49].

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

# НУВБІП УКРАЇНИ

1. Більшість країн світу здійснюють заходи усунення явища парникового ефекту, що загрожує глобальною екологічною катастрофою. Основні запаси нафти і газу вичерпаються до середини XXI століття, тому пошук і стратегічне впровадження альтернативних видів енергетики у державних проектах проводяться протягом останніх двох десятиліть. Реальним теплоенергетичним потенціалом є біопалива, що отримують з біомаси. Це чисто органічне і екологічне паливо. Теплова конверсія такого палива не збільшує в атмосфері вміст газів парникових. Поясненням цьому є кількість викидів двоокису вуглецю при конверсії дорівнює кількості вуглекислого газу що поглинали рослини в ході фотосинтезу.

# НУВБІП УКРАЇНИ

2. Перспективний процес пелетування біомаси у виробі включає пресування органічного матеріалу крізь філь'ери матриці. Цей процес є перспективним і раціональним. Він протікає в потоковому регламенті і режимі, дозволяє отримати пелети з нормативною щільністю, однакової форми. Також подальше застосування паливних пелет в опалювальних системах виконується на 3 використанням автоматизованих пристроїв. Відомо, що на виробництво 1 т пелет потребується 4-10 м<sup>3</sup> рослинних матеріалів. Розвинуті країни світу в теперішній час інтенсивне і масово переходять на застосування твердого біопалива, як на найбільш економічно вигідний та екологічно чистий вид енергії. За прогнозами спеціалістів щорічний обсяг виробництва та використання біопаливних пелет у світі до 2020 р. збільшиться у 3 рази з 15 млн. т до 45 млн. т.

# НУВБІП УКРАЇНИ

3. В Україні можливо одночасно зі спалюванням вугілля використовувати біомасу в обсязі, еквівалентному 1736 тис. т у.п на електричних станціях та 173 тис. т у.п. в котельнях енергетичних підприємств, що в сумі еквівалентно 4 млн. т соломи. Даний обсяг споживання біомаси на електростанціях забезпечив би виробництво 4890 млн. кВт год електроенергії, що дорівнює роботі 815 тис. кВт існуючих паротурбінних установок.

# НУВБІП УКРАЇНИ

4. До конструктивних особливостей та переваг прес-прес-грануляторів з плескою матрицею варто віднести наступні:

# НУВБІП УКРАЇНИ

- завантаження сировини проводиться самопливом, великі розміри камери пресування виключають закупорку маси; крутний момент електродвигуна через шнековий привод передається головному валу, з яким з'єднані бігунки головки;

- ролики переміщуються зі швидкістю 2,5 м/с для забезпечення усадки і деаерації біомаси;

- перед роликом на поверхні матриці створюється значний шар біомаси для забезпечення підвищеної продуктивності пресового вузла;

- зазор катків можна регулювати без зупинки преса і тим самим впливати на якість пелет.

5. Передовий досвід та огляд технологій підтверджують гіпотезу про переваги гранульованого палива. Отже пресувальним засобом в умовах господарства буде плоско матричний гранулятор типу GC-PK з елементами удосконалення. Як прийнятий прототип він має високі техніко-технологічні характеристики.

6. За результатами розрахунків кінематичних та інших масмо такі параметри: радіальний зазор між матрицею та роликами,  $\delta$  – 2,5...3,0 мм; швидкість пресувальних роликів,  $v$  – 0,5...0,65 м/с; радіус ролика,  $R$  – 80 мм; ущільнююча сила до сировини-біомаси при перекочуванні роликами,  $P$  – 780 Н.

7. За результатами проведених досліджень та розрахунків обрані такі технічні параметри робочих органів пресувального вузла:

- діаметр технологічного отвору (фільєри) – 6 мм;

- кут між осями отворів для пелетування – 4°;

- глибина рифлів циліндричної форми на роликах – 2,5 мм;

- діаметр ролика пресувального – 80 мм;

- ширина ролика пресувального – 64 мм;

- кількість рифлів циліндричної форми на роликах – 60 шт.

8. Обрано та перевірено електродвигун 4A250M8Y3 з короткими характеристиками: - ковзання номінальне  $S=1.4\%$ ; - номінальна потужність електродвигуна  $N=7,5$  кВт; - частота обертання валу двигуна  $n=1000$  об/хв.

9. Пропозиції удосконалення пресувального вузла гранулятора:

- недоліком прототипу є відносно невелика продуктивність, яка становить 150-180 кг/год. Тому передбачаємо встановлення кількості пресувальних роликів - три штуки замість двох. Це збільшить ефективність прощовування біомаси крізь філь'ери матриці. Привод гранулятора залишився незмінним;

- збільшення навантаження при пелетуванні створює підвищений знос поверхні матриці. Тому приймаємо замість матеріалу матриці Ст 40Х більш зносостійку сталь - Ст 1Х13;

- для зменшення опору проходження біомаси крізь отвори матриці розроблена модель філь'ери з формою вхідної частини у вигляді евольвенти кола у поперечному перерізі [22];

- пресувальному вузлу передбачено встановлення стандартного вузла дистанційного автоматичного управління з постійним зазором роликів.

10. Нормативні вимоги з охорони праці та пожежної безпеки поширюються на

всі технологічні операції виготовлення пелет. Це підтверджує значущість промислової безпеки цих підприємств.

Здійснення технологічних операцій на пелетному виробництві зобов'язує функціонування служби охорони праці та дотримання правил пожежної безпеки.

Під час роботи на прес-грануляторі та іншому обладнанні виробничої лінії виявлені ряд небезпечних факторів, що потребують адміністративного контролю.

Комплексні рішення запобігання пожежам та вибухам на пелетних виробництвах повинні передбачати, в першу чергу, системні пристрої автоматичного контролю, вчасного виявлення та гасіння іскор і частинок тління з енергією до 40 мДж та температурою до 470°C.

11. Розрахункові показники техніко-економічної оцінки розробки свідчать про ефективність та доцільність даного проекту, зокрема продуктивність прес-гранулятора в результаті удосконалення збільшена 1,15 рази; загальні прямі експлуатаційні витрати знижені на 7-10%; річні приведені витрати виробництва зменшені на 420 грн./т., річний прибуток пелетного виробництва становить 349,4 тис. грн.

## СПИСОК ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гелетуха Г.Г., Петрова Ж.О., Корінчук Д.М., Железна Т.А. та ін. Технології та обладнання для виробництва і споживання альтернативних видів палива. К.: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2020. 375 с.
2. Єременко О.І., Поліщук В.М., Шворов С.А., Скібчик В.І. Розрахунок обладнання для отримання біопаливних пелет і брикетів. монографія. К.: ИУБіП України, 2021. 248 с.
3. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Промислова теплотехніка*, 2017, т. 39, № 2. С. 60-64.
4. Єременко О.І. Аналіз енергетичного потенціалу біомаси в Україні. *Науковий вісник ИУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК*. К.: 2013. Вип. 185, ч. 3. С. 347-355.
5. Дубровін В.О., Мельничук М.Д., Мельник Ю.Ф та ін. Біоенергія в Україні – розвиток аграрних територій та можливості для окремих громад: Науково-методичні рекомендації/ К.: ИУБіП України, 2009. 122 с.
6. Дубровін В.О., Поліщук В.М., Тарасенко С.Є., Драгнев С.В. Практикум з пристроїв та обладнання біоенергетики. К: Аграр Медіа Груп, 2013. 208 с.
7. Пеллеты - стандарты. Твердое биотопливо Украины. Информационный портал о твердом биотопливе и топливных котлах. 10/11/2012. [Електронний ресурс] Режим доступу до журн.: <http://biO.ukrbiO.com/ru/articles/1543>.
8. Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements EN 14961 – 1: 2010 European standard.
9. ДСТУ-П СЕН/TS 15210-1:2009: Біопаливо тверде. Методи визначення механічної міцності паливних пелет та брикетів. Частина 1. Пелети (СЕН/TS:15210-1:2005; IDT). [Дійсний від 2009-06-22]. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 6 с. (Національний стандарт України).
10. Севастьянова С.Н. Биоэнергетика/ Древесные (топливные) пеллеты. Вестник Оренбургского государственного университета. Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2009. № 10. С. 133–138.

11. Зазимко О.В. Пошук та обробка бібліографічної інформації для підготовки магістерської роботи: методичні вказівки / О.В. Зазимко, Л.В. Кліх, Л.П. Полозенко, Л.Ю. Кучерук. К.: НУБіП України, 2011. 29 с.

12. Єременко О.І., Паянок О.В., Усенко Д.М. Аналіз стану та тенденції розвитку твердопаливних виробництв. *Науковий збірник «Вісник Степу»*. ч. 2. Кіровоград: КОД, 2012. С. 234-240.

13. Перспективи ведучих компаній з розробок технологій та обладнання для виробництва твердого біопалива [електронний ресурс]. Режим доступу до журн.: [www.bioresurs.com.ua](http://www.bioresurs.com.ua); [www.bioplivo.ub.ua](http://www.bioplivo.ub.ua); [www.pelletsgold.com/](http://www.pelletsgold.com/); [www.ick.ua](http://www.ick.ua); [www.biOfuel.in.ua/](http://www.biOfuel.in.ua/); [www.biOresurs.com.ua](http://www.biOresurs.com.ua); [www.presmash.if.ua](http://www.presmash.if.ua); [www.ivtech.de](http://www.ivtech.de); [www.welma.com.ua](http://www.welma.com.ua).

14. Поліщук В.М., Войтюк В.Д. Процеси, машини та обладнання виробництва твердих і рідких біопалива: монографія. К.: НУБіП України, 2018. 586 с.

15. Хайлис Г.А. Механика растительных материалов. К.: УААН, 2002. 374 с.

16. Дубровін В.О., Єременко О.І. Напрями розвитку вітчизняної техніки для твердопаливних виробництв. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха: 2013. Вип. 97, т. 2. С. 13-24.

17. Бать Р.Я. Утилізація промислових відходів переробки біомаси шляхом створення біопалива: автореф. дис... на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 Екологічна безпека. Львів, 2008. 20 с.

18. Єременко О.І., Халецький О.В., Чорний Р.М. Методичні основи розрахунку параметрів пресувального вузла гранулятора. *Науковий збірник Вісник Степу*. Вип.9, ч. 2. Кіровоград: КОД, 2013. С. 251-256.

19. Дубровін В.О., Єременко О.І., Виговський С.М., Чорний Р.М. Методика розрахунку параметрів матриці твердопаливних прес-грануляторів. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха: 2013. Вип. 98, т. 2. С. 280-289.

20. Дубровін В.О., Єременко О.І., Виговський С.М., Дженджера В.Ю., Лук'янець В.О. Техніко-технологічні передумови pelletування біомаси на паливо.

*Міжсвід. темат. наук. збірник Механізація та електрифікація с.з* Глеваха: 2014. Вип. 99, т. 2. С. 94-102.

21. Jeremenko O.I., Zubok T.O. SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASPECTS OF GRANULATION OF ENERGETIC WILLOW TREE. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 30 (69), №3. К.: 2019. Р. 16-22.*

22. Патент на корисну модель № 139677 Україна. МПК В30В 11/20. Фільера матриці для формування біогшранул методом екструзії. О.І. Єременко, О.В. Войналович. Опубл. 10.01.2020, Бюл. № 1. 4 с. іл.

23. Патент на корисну модель № 134305 Україна. МПК В30В 11/20. Матрично-роликковий механізм для виготовлення біопаливних пелет. О.І. Єременко, О.В. Войналович. Опубл. 10.05.2019. Бюл. № 9. 4 с.

24. Риндюк Д.В., Штефан Є.В. Методика визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів процесу пелетяції дисперсних матеріалів шляхом ущільнення. *Наукові праці НУХТ. 2008. № 25, ч. 2. С. 81-83.*

25. Кудря С.О., Резцов В.Ф., Суржик Т.В. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2008. 55 с.

26. Statistical report biOmass supply. BiOenergy Europe, 2019. 15 p.

27. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. *Аналітична записка БАУ № 7, 2014.* <https://uabiO.Org/wp-cOntent/uplOads/2020/04/positiOn-paper-uabiO-7-ua.pdf>

28. Ярош Я.Д., Кухарець М.М. Оцінка потенціалу сировини рослинного походження для теплових потреб в Україні за 2018 рік. *Наукові горизонти, 2019, № 3 (76). 38-47 с.*

29. Peter A. Vadas, Matthew F. Digman PrOductiOn cOsts Of potential cOrn stOver harvest and stOrage systems. *BiOmass and biOenergy 54 (2013) 133-139.*

30. Geletukha G.G., Martsenyuk Z.A. Energy potential Of biOmass in Ukraine. *Heat Transfer Research. Volume 29 № 6 (1998), с. 433-437 (ISSN: 1064-2285) DOI: 10.1615/heattransres.v29.i6-8.100.*

31. Aznar M.R., Borisov I.I., Geletukha G.G., Corella J., Khalatov A.A. and Others. Producer gas cleaning from tars in a vortex bubbling device. *Heat Transfer Research: Volume 30 No 1 (1999)*, с 50-58 (ISSN: 1064-2285).

32. Гелету́ха Г.Г. Аналіз концепції зеленого енергетичного переходу України до 2050 р. *Біоенергетика: 2020, № 1 (15)*, с. 38-39.

33. Гелету́ха Г.Г., Железна Т.А., Драгнєв С.В., Баштовий А.І. Потенціал та перспективи енергетичного використання агробіомаси в Україні. *Теплофізика та теплоенергетика: Том 42, № 1 (2020)*, с. 42-51. <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2020.5>

34. Гелету́ха Г.Г. Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні. *Теплофізика та теплоенергетика, 2020. Т. 42, №2. С. 83-91.* <http://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/view/399>

35. Гелету́ха Г.Г., Железна Т.А., Драгнєв С.В., Баштовий А.І. Аналіз можливостей заготівлі деревного палива в лісах України. *Промислова теплотехніка. 2018, т. 40, № 1, с. 61-67.* <https://doi.org/10.31472/ihe.1.2018.09>

36. Гелету́ха Г.Г., Железна Т.А., Драгнєв С.В., Баштовий А.І. Перспективи використання біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень для виробництва енергії в Україні. *Промислова теплотехніка. 2018, т. 40, № 1, с. 68-74.* <https://doi.org/10.31472/ihe.1.2018.10>

37. Гелету́ха Г.Г., Железна Т.А., Баштовий А.І., Гелету́ха О.І. Проблеми та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Промислова теплотехніка. 2018, т. 40, № 2, с. 41-48.* <https://doi.org/10.31472/ihe.2.2018.06>

38. Гелету́ха Г.Г., Железна Т.А., Дроздова О.І. Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з твердої біомаси в Україні. Частина 1. Солома. *Промислова теплотехніка. 2013, т.35, № 3, с. 56-63.*

39. Гелету́ха Г.Г., Железна Т.А., Дроздова О.І. Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з твердої біомаси в Україні. Частина 2. Деревина. *Промислова теплотехніка. 2013. Т. 35, № 4. С.56-62.*

40. Мальований М.С., Атаманюк В.М., Бать Р.Я. Відновлювальні джерела енергії. *Оптимальний склад біокомпозиції.* *Хім. пром-сть України. 2007. № 2. С. 61-64.*

42. Побединский М., Иванова Т., Мунтян А., Кандаков А. Сравнительная оценка качества твердых биотоплив. *Прод. Таврійського держ. агротехнол. ун-ту. Вип. 11, т. 5.* 2014. С. 17-25.

43. Мальований М.С., Бать Р.Я. Пелетювання паливних матеріалів. *Вост.-Европ. журн. передових технологій.* 2011. № 3/8. С. 9-12.

44. Клюс С.В. Оцінка енергоефективності вирощування зернових культур для виробництва біопалива. *Компрессорное и энергетическое приборостроение.* 2013, №3. С. 12-15.

45. Кухарець С.М., Голуб Г.А. Регулювання використання органічних ресурсів для виробництва біопалива. *Сільськогосподарські пристроїви, 2013, вип. 24.* С. 187-194.

46. Войналович О.В. Працезохоронні засади у схемах, таблицях і графіках. К.: Основа, 2014. 142 с.

47. Войналович О.В., Білько Т.О. Безпека виробничих процесів: навч. посібник. К.: НУБіП України, 2009. 100 с.

48. Войналович О.В., Єременко О.І., Кофго Д.Г. Аналіз потенційних небезпек на пелетних виробництвах та заходи профілактики. *Механізація та електрифікація с.-г. Вип. 97. Т.2.* Главаха: ННЦ ІМЕСГ, 2013. С. 51-58.

49. Цимбал Б.М., Артем'єв С.Р., Шароватова О.П. та ін. Аналіз факторів небезпек і оцінка ризиків пожежовибухонебезпечного виробництва твердого біопалива з рослинної біомаси. *Проблеми надзвичайних ситуацій. Збірка наукових праць.* 2017. Вип. 26, С. 185-195.

50. Михайлюк О.П. Олійник В.В., Мозговий Ф.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів: підручник. Х: ХНАДУ. 2014. 380 с.

51. Шкільов О.В. Організація виробництва і підприємницької діяльності в сільськогосподарських підприємствах. К.: Урожай, 1997. 336 с.

52. Агафонова Л.Г., Рога О.В. Підготовка бізнес-плану: практикум. К.: Знання, 2001. 278 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП ДОДАТКИ України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## Додаток А. Теплотворна здатність твердого біопалива

Паливо	Теплота згорання, МДж/кг
Деревне вугілля	31,5-34,4
Деревина суха з вологістю 0%	18,4
Деревина з вологістю 10%	16,3
Деревина з вологістю 20%	14,2
Деревина з вологістю 30%	12,1
Деревина з вологістю 40%	9,9
Кора суха з вологістю 0% (різних порід дерев)	19-23
Кора з вологістю 50%	8,3
Сульфітний щепок (суха речовина)	15,3
Міскантус (вологість 15-20%)	15-17
Мальва пенсільванська (вологість 15-20%)	12-14
Солома конопель	15,7
Солома пшениці (вологість 8%)	14,4
Солома тритикале (вологість 6,5%)	15,4
Солома ріпаку (вологість 9,5%)	18,4
Костриця (вологість 4-7%)	15,9-16,6
Лушпиння соняшнику (вологість 6-8%)	15,4-16,9
Оболонки гречки (вологість 6-7%)	15,6
Оболонки зернових (вологість 12%)	17-22
Оболонки рису	13,3
Шкаралупа горіхів (вологість 3-8%)	23
Кочережка кукурудзи (вологість 10%)	14,7
Стебла соняшнику	12,5
Зерно хлібних злаків (вологість 15%)	15
Паливні пелети (вологість 10-12%)	15-17

## Додаток Б. Якісні властивості пелет за нормативними вимогами сертифікатів

ЄС	Параметр	DIN 51 731	O-Norm M 7135	DIN plus, Німеччина	SS 18 71 20, Швеція
	Діаметр пелет, мм	4-10	4-10		< 25
	Довжина пелет, мм	< 50	< 5 x d	< 5 x d	< 5 x d
	Щільність пелети, кг/м <sup>3</sup>	> 900-1300	> 1120	> 1120	немає
	Вологість виробів, %	< 12	< 10	< 10	< 10
	Об'ємна маса пелет, кг/м <sup>3</sup>	650	650	650	> 500
	Пелетний пил, %	немає	< 2,3 %	< 2,3 %	немає
	Зольність виробів, %	< 1,5	< 0,5	0,5	< 1,5
	Теплоздатність, МДж/кг	17,5-19,5	> 18	> 18	> 16,9
	Вмісти сірки, %	< 0,08	< 0,04	< 0,04	< 0,08
	Вмісти азоту, %	< 0,3	< 0,3	< 0,3	немає
	Вмісти хлору, %	< 0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,03
	Міш'як, мг/кг	< 0,8	немає	< 0,8	немає
	Свинець, мг/кг	< 10	немає	< 10	немає
	Хром, мг/кг	< 8	немає	< 8	немає
	Мідь, мг/кг	< 5	немає	< 5	немає
	Цинк (мг/кг)	< 100	немає	< 100	немає

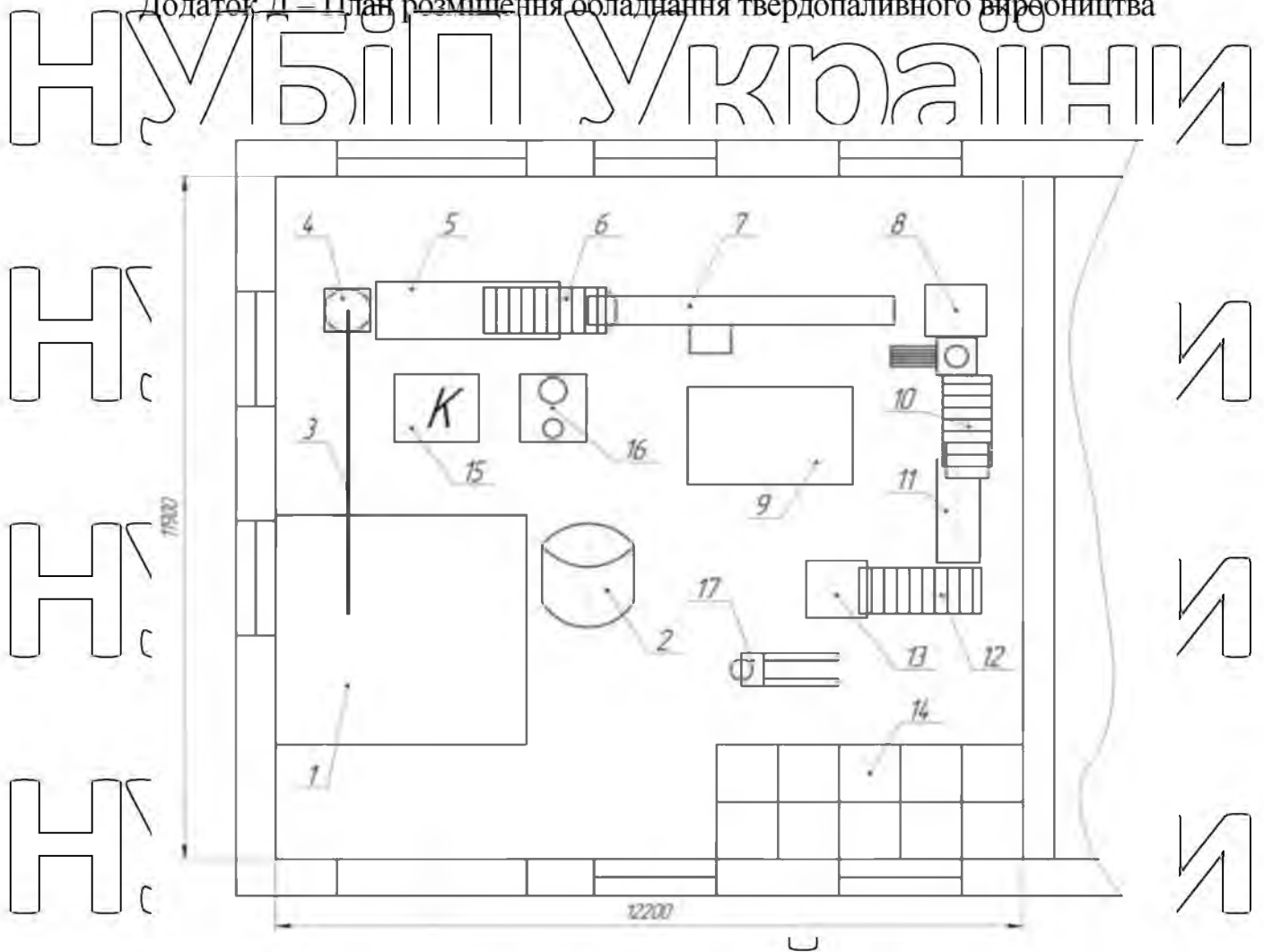
НУБІП України

НУБІП України





Додаток Д – План розміщення обладнання твердопаливного виробництва



- 1 – майданчик біомаси; 2 – подрібнювач тюків соломи; 3 – шасиковий транспортер; 4 – подрібнювач біомаси; 5 – бункер подрібненої біомаси; 6 – стрічковий транспортер сировини; 7 – аеродинамічна сушарка біомаси; 8 – прес-гранулятор біомаси; 9 – лінія гранулювання біомаси; 10 – стрічковий транспортер гранул; 11 – сепаратор; 12 – стрічковий транспортер гранул; 13 – платформа фасування готової продукції з вагами; 14 – майданчик фасованих паливних гранул; 15 – котел теплогенератор; 16 – система пилословлювання; 17 – гідравлічний візок