

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Механіко–технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

охорони праці та біотехнічних систем у
тваринництві
(назва кафедри)

Д.Т.Н., проф. Хмельовський В.С.
(наук. ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

“ _____ ” _____ 2026 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

на тему **Проектування матричного вузла гранулятора біомаси з
розробкою заходів безпечної праці**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Братішко В.В.
(ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Єременко О.І.
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Криворучко Н.О.
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко–технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

охорони праці та біотехнічних систем у
тваринництві

д.т.н., проф. Хмельовський В.С.
(наук. ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ ” 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проєкту бакалавра

Криворучку Назару Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

2. Тема дипломного проєкту Проектування матричного вузла гранулятора біомаси
з розробкою заходів безпечної праці
затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 16 ” лютого 2026 р. № 510«С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру 15 травня 2026 р.
(рік, місяць, число)

3. Вихідні дані до дипломного проєкту Науково-бібліографічні матеріали щодо виробництва твердого біопалива з біомаси

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

1. Аналіз сучасних технологій виробництва твердого біопалива
2. Проектування технологічної лінії виробництва біо паливних гранул в господарстві
3. Аналіз процесів і конструкцій засобів для гранулювання біомаси
4. Розрахунки параметрів перспективного прес-гранулятора з плоскою матрицею
5. Охорона праці та довкілля на твердопаливних виробництвах
6. Техніко-економічна оцінка проектування пресового вузла гранулятора

5. Перелік обов'язкових слайдів презентації

1. Схема технологічної лінії виробництва пелет в умовах господарства
2. Технологічна схема процесу переробки зернових культур і отримання відходів
3. Класифікація технічних засобів для гранулювання біомаси
4. Конструктивно-технологічна схема перспективного прес-гранулятора
5. Структурна схема заходів з охорони праці
6. Техніко-економічні показники виробництва біо паливних гранул

Дата видачі завдання “ 02 ” квітня 2026 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра

(підпис) Єременко О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис) Криворучко Н.О.
(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

Завдання до виконання дипломного проекту	2
Реферат	5
Вступ	6
1. Огляд стану і технологій виробництва біопаливних гранул	7
1.1. Сучасний стан виробництва і використання паливних гранул	7
1.2. Розвиток твердопаливних виробництв в Україні	9
1.3. Технологічні процеси виробництва пелет з аграрної біомаси	12
2. Аналіз грануляторів для виробництва пелет	15
2.1. Аналітичний огляд процесів і конструкцій грануляторів біомаси	15
2.2. Вибір перспективного типу гранулятора з плоскою матрицею	20
2.3. Розробка функціональної схеми прийнятого гранулятора	24
Висновки до розділу 2	27
3. Розрахунки та удосконалення матричного вузла гранулятора	28
3.1. Методика визначення параметрів грануляції біомаси на плоскій матриці	28
3.2. Модернізація вхідної частини філь'єри гранулятора	33
3.3. Кінематичні розрахунки матричного вузла	38
3.4. Розрахунок техніко-технологічних параметрів матриці	39
3.5. Продуктивність матричного вузла	41
3.6. Пропозиції удосконалення конструкції гранулятора з плоскою матрицею	42
4. Розроблення заходів безпечної праці	43
4.1. Організація праці на робочому місці оператора гранулятора	43
4.2. Заходи безпечної праці на твердопаливному виробництві	47
4.3. Норми і вимоги до виробничого середовища	50
4.4. Пилоутворення і вибухонебезпечність на пелетних комплексах	53
5. Економічна оцінка конструкційних удосконалень гранулятора ..	55
5.1. Економічні розрахунки удосконаленого гранулятора	55

Висновки	59
Список використаних джерел	61
Додатки	65

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт бакалавра за спеціальністю 208 «Агроінженерія» на тему: **Проектування матричного вузла гранулятора біомаси з розробкою заходів безпечної праці.**

Дипломний проєкт включає пояснювальну записку обсягом 69 сторінок, яка містить 44 формули, 6 таблиць, 25 рисунків, 33 інформаційних джерела, 5 додатків та ілюстративний матеріал на 11 слайдах.

БИОМАСА, ТЕХНОЛОГІЇ, ПРОЦЕС, ПРОЄКТУВАННЯ, БІОПАЛИВНІ ГРАНУЛИ, ПЕЛЕТИ, ПРЕС-ГРАНУЛЯТОР, КЛАСИФІКАЦІЯ, ПЛОСКА МАТРИЦЯ, РОБОЧІ ОРГАНИ, РОЗРАХУНКИ, УДОСКОНАЛЕННЯ

Дипломний проєкт присвячений підвищенню ефективності твердопаливних виробництв в умовах господарства шляхом проектування матричного вузла гранулятора для виготовлення біопаливних гранул.

У вступі надані загальні відомості про значущість виробництва та використання твердих видів біопалива, розкрита актуальність теми.

У першому розділі проведено огляд технологій виготовлення біопаливних гранул, прийнята схема лінії твердопаливного підприємства в умовах господарства.

У другому розділі проаналізовано процеси і конструкції грануляторів, обрано перспективний тип засобу з плоскою матрицею.

У третьому розділі проведено конструкційно-технологічні розрахунки параметрів гранулятора, розроблено пропозиції удосконалення його конструкції.

У четвертому розділі запропоновано заходи для створення умов безпечної праці на плоско-матричному грануляторі.

У п'ятому розділі надана економічна оцінка розробці.

У висновках наведені основні результати проектування технічного засобу.

ВСТУП

Для виробництва твердого біопалива, як правило, застосовують такі матеріали: побічну продукцію сільськогосподарських і переробних виробництв, зокрема незернову частину врожаю, рослинні рештки переробки с.-г. культур; відходи лісозаготівлі та деревообробки; торф; спеціально вирощені енергетичні рослини тощо. Проблемними питаннями використання традиційних непресованих видів твердих біопалива, як відходів основних виробництв, є низька структурна якість та об'ємна вага, підвищена вологість та ін., що призводить до необхідності подрібнення, ущільнення, сушки для підвищення ефективності транспортування, зберігання і використання в паливних системах.

Пелети виготовлюють діаметром від 4 мм до 25 мм (діаметр 6-8 мм – євро-стандарт) і довжиною 10-50 мм.

Для виготовлення паливних гранул у аграрному і лісовому комплексі України застосовують не промислові матеріали, а відходи і побічну продукцію. Сировиною для пелет є вторинна аграрна біомаса та відходи лісозаготівлі і деревообробки.

Застосування гранульованого біопалива значно знижує забруднення навколишнього середовища, порівняно із використанням мінеральних палив. Це виражається в зменшенні парникового ефекту, тому що при спалюванні звільняється стільки вуглекислоти, скільки рослина, з якої виготовлені гранули, сприйняла її під час росту. Даний ефект називається закритим вуглецевим обміном. В той же час, при згорянні корисних копалин звільняється вуглекислота, зібрана за мільйони років, що призводить до підвищення змісту CO_2 в атмосфері, до антропогенного парникового ефекту. При використанні біо паливних гранул значно зменшуються викиди двоокису сірки.

Мета дипломного проєкту - підвищення ефективності твердопаливних виробництв в умовах господарства шляхом проєктування матричного вузла гранулятора для виготовлення біопаливних гранул.

Розділ 1.

ОГЛЯД СТАНУ І ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВНИХ ГРАНУЛ

1.1. Сучасний стан виробництва і використання гранул з біомаси

На переробних та агропромислових підприємствах, починаючи зі збирання врожаю до отримання кінцевої продукції, утворюються відходи і побічні продукти, які займають певні площі і забруднюють довкілля. Сучасні санітарно-екологічні вимоги передбачають суворі обмеження на зберігання відходів, а вивіз їх на звалища і утилізація потребують суттєвих витрат [3]. Отже, вирішення проблемного питання утилізації виробничих побічних матеріалів повинно здійснюватися на промисловому рівні.

З іншого боку, відходи є традиційним паливом, що має відносно високу теплотворність та екологічну безпеку, оскільки при його згоранні утворюється порівняно незначна кількість золи і шкідливих речовин [1, 2]. До певного історичного періоду рослинне паливо не могло успішно конкурувати з іншими паливними ресурсами, зокрема природним газом, продукцією нафтопереробки, кам'яним вугіллям, торфом тощо. На сьогоднішній день поширення використання біопалива з біомаси в країнах світу та Україні викликано проблемами охорони навколишнього середовища, а також браком і подорожчанням надрових енергоносіїв на внутрішньому і зовнішніх ринках [1, 3].

За результатами досліджень доведено [1, 2, 4, 5], що для ефективного спалювання відходів потрібно мати паливний матеріал у вигляді частинок майже однакових за розмірами і формою. Це забезпечує необхідний контакт з киснем повітря для отримання найбільшої тепловіддачі та дає можливість механізації і автоматизації процесів в опалювальних установках.

Діаметр (4-10 мм) та довжина (10-50 мм) пелет визначаються користувачами опалювальної техніки. Брикети – це гранули діаметром понад 25 мм з можливим внутрішнім отвором діаметром до 20 мм. В світі виробляється

пелет в двадцять разів більше, ніж паливних брикетів [1, 4-6, 8].

У залежності від якості пелети розрізняють на гранули першого класу і промисловий клас. Пелети першого класу більш якісні і використовуються переважно в приватному секторі. При їхньому виробництві не допускається вміст кори через високу зольність. Зольний залишок таких гранул не перевищує 0,5% від об'єму спаленого матеріалу [7, 8].

Гранули менш схильні до самозаймання, оскільки не містятьпилу і спор, які також можуть викликати алергічну реакцію у людей. Гранули відрізняються від звичайної біомаси високою сухістю (8—12 % вологи проти 30—50 % у дровах) і більшою в півтора рази щільністю. Ці якості забезпечують високу теплотворну здатність, так при згоранні 1 т гранул виділяється приблизно 5 тис. кВт-год тепла, що у 1,2-1,4 рази більше, ніж у дровах [8, 9].

Одна з переваг гранул – висока і постійна насипна щільність, що дозволяє відносно легко транспортувати цей сипкий продукт на великі відстані. Завдяки правильній формі, невеликому розміру і однорідній консистенції продукту гранули можна пересипати через спеціальні рукави, що дозволяє автоматизувати процеси вантаження-розвантаження і також спалювання цього вигляду палива.

Досвід експлуатації заводів по виробництву паливних гранул показав, що найбільш ефективні заводи невеликої виробничої потужності - до 1000 кг/год. [13]. Тому актуальна розробка міні-ліній виробництва паливних гранул.

Застосування паливних гранул покращує екологічну ситуацію, менше забруднює навколишнє середовище порівняно із використанням мінерального палива, тому що при спалюванні біопалива звільняється стільки вуглекислих газів, скільки рослина сприйняла під час вегетації. При використанні пелет як палива відбувається зменшення викиду двоокису сірки, що у свою чергу, призводить до зменшення кислотних дощів і зниження надання шкоди флорі [1, 4, 7-9]. Невикористаний потенціал щорічно відновлюваного твердого біопаливного ресурсу в Україні складає реально близько 30 млн. т, зокрема:

- біомаса агропромислових і переробних виробництв – 25-27 млн. т;
- лісосічні рештки та відходи деревообробки, дрова – 2,5-3 млн. т.

За теплотворною здатністю ця кількість біомаси еквівалентна 10-12 млрд. м³ природного газу.

Технологічні, екологічні та енергетичні позитивні фактори застосування паливних гранул з подрібнених рослинних відходів доводять те, що цей вид твердого біопалива є перспективним паливно-енергетичним ресурсом в Україні.

1.2. Розвиток твердопаливних виробництв в Україні

Національною енергетичною програмою України на період 2019-2027 рр. та Національною програмою енергозбереження передбачає значне використання біомаси при отриманні теплової та електроенергії. 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. 1.1, табл. 1.1). Обсяг споживання теплової енергії в Україні на сьогодні дорівнює 964 млн. ГДж (10⁹ 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 1135 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 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].

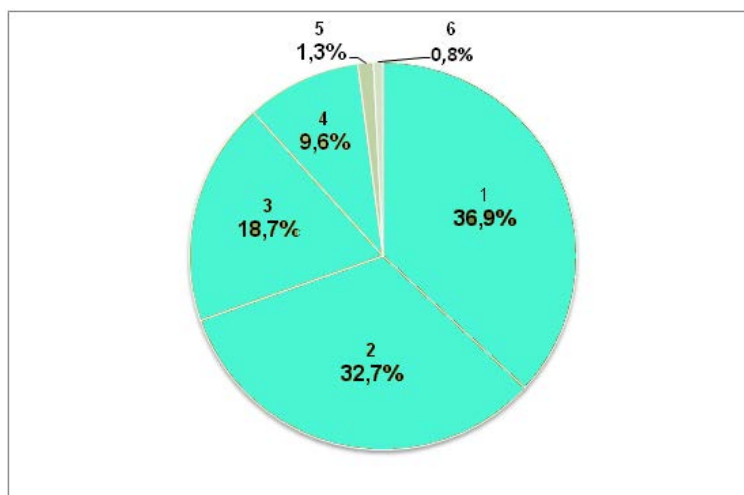


Рис. 1.1. Загальне споживче енергопостачання в Україні - 126 млн. т нафтового еквіваленту, а саме: 1 – природний газ; 2 – вугілля; 3 – атомна енергетика; 4 – нафта; 5 – біомаса; 6 – гідроенергетика

Таблиця 1.1. Використання біомаси для виробництва теплової енергії в Україні

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

В аграрному комплексі середнє річне збирання стеблових матеріалів 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 враховувати, що сучасне сільськогосподарське виробництво є поєднанням АПК та промислових різнопрофільних підприємств. 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 природний реальний ресурс сіно-соломистих матеріалів приблизно в 20 разів перекриває потреби для котельній, що забезпечують теплопостачанням аграрні підприємства. Для всіх опалювальних котельнях 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. м³, або понад 0,75 млн. т у.п. за рік. В основному це неліквідні невикористані ресурси, відходи лісових господарств та дерево переробки. За частую 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 організовувати заготівлю лісосічних матеріалів, їх перероблення у тріску та постачання енергетичним структурам, навіть ТЕЦ. 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, 16].

Деревні побічні рештки з лісових і лісопереробних господарств та деревообробної галузі дорівнюють 3743 тис. м³. 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 перебудову 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 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. Після вичерпання можливостей енергетики щодо впровадження мало затратних методів використання біомаси, є доцільність створення енергетичних об'єктів, пристосованих для використання біомаси в більших обсягах.

1.3. Технологічні процеси виробництва пелет з аграрної біомаси

Виробництво паливних гранул з біомаси включає (рис. 1.2) попереднє подрібнення, сушіння, остаточне подрібнення до стану рослинного борошенця. Під час сушіння важко отримати вологість сировини за вимогами, тому пересушену біомасу зволожують до необхідного значення і піддають гранулюванню. Далі гранули охолоджують, просіюють і фасують [5, 7].

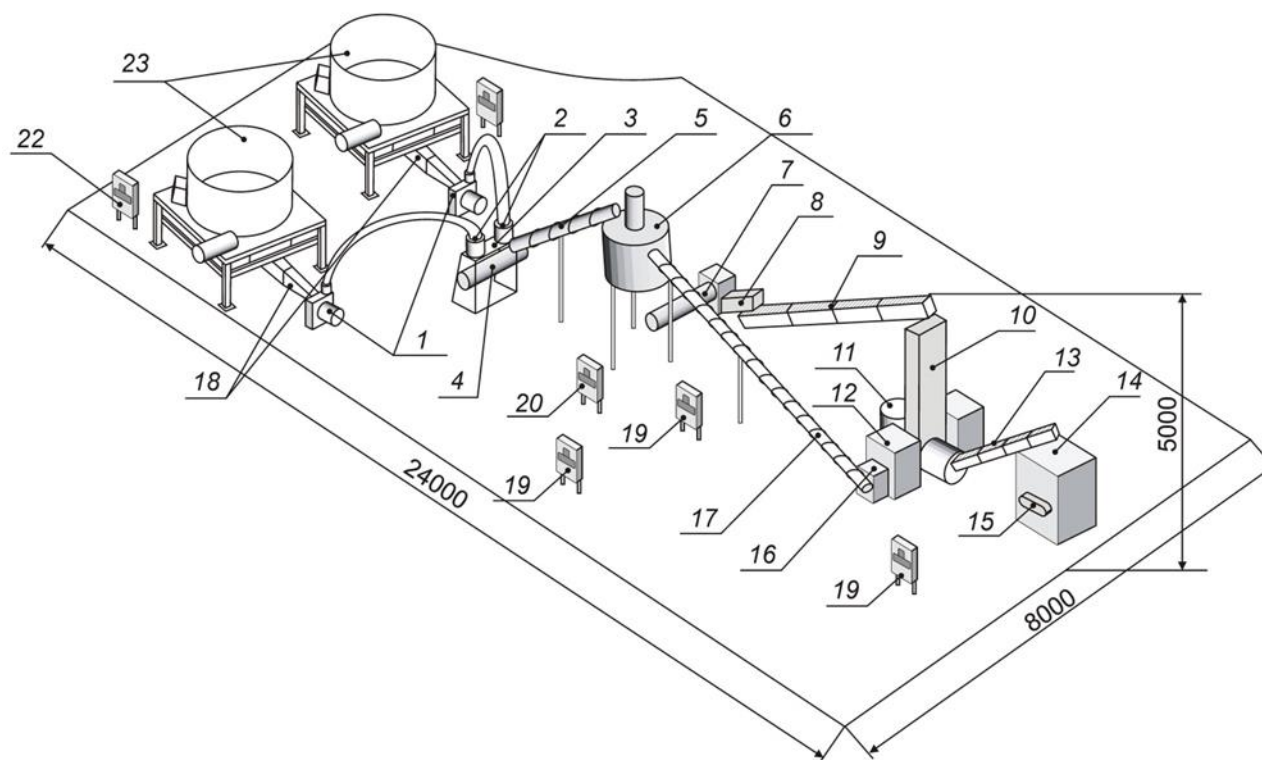


Рис. 1.2. Схема типової технологічної лінії виробництва гранул з біомаси:

1 – дробарка молоткова; 2, 11 – циклони; 3 – рама циклонів; 4, 5, 16, 17 – шнекові транспортери; 6 – бункер; 7 – гранулятор; 8, 9, 13 – стрічкові транспортери; 10 – охолоджувальна колона; 12 – камера проміжна; 14 – рама під Біг-беги; 15 – ваги; 18 – перехідник подрібнювача; 19 – пульт керування лінією; 20 – пульт керування гранулятором; 21 – електрогенератор паровий; 22 – пульт дробарки; 23 – подрібнювач тюків

Результати проєктування технологічної лінії в умовах господарства наведені на рис. 1.3.

Технологічна система складається з кількох ділень:

Дільниця підготовки сировини. Лінія зупиняється, якщо заповнився бункер живлення сушарки.

Дільниця сушіння сировини. Лінія зупиняється, якщо заповнився бункер зберігання висушеної сировини. За температурою передбачено попереджувальний і аварійний сигнал. У разі спрацювання аварійного сигналу відбувається зупинення всього процесу. Передбачені контроль і автоматичне регулювання розрідження.

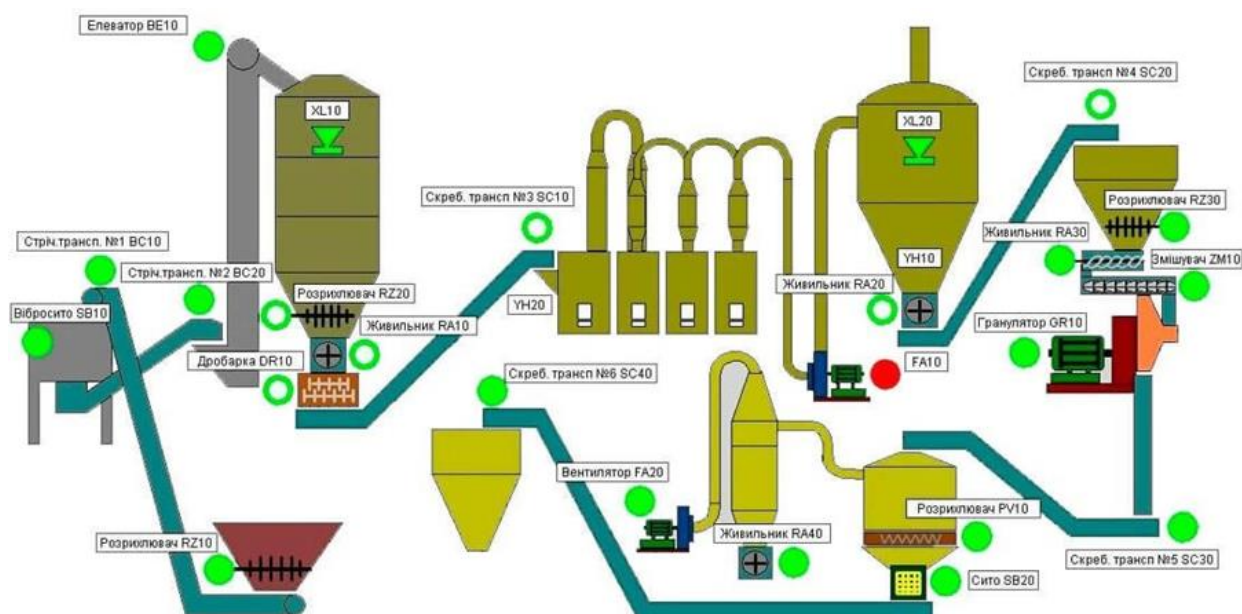


Рисунок 1.3. Технологічна схема виробництва біо паливних гранул

Дільниця гранулювання. Лінія зупиняється, якщо заповнився бункер живлення гранулятора.

Дільниця охолодження і упакування гранул.

Щільність пелет зростає при збільшенні тиску грануляції до 90 МПа та зменшенні вологості. Важливо давати час витримки ущільненої біомаси в філь'єрі матриці. Певний тиск протягом певного терміну сприяє релаксації в'язко-пружного матеріалу біомаси. В момент знаходження під тиском біомаси в філь'єрі матриці на поверхні пелет утворюється міцна, гладеньке захисна від вологи і руйнування плівка.

Найбільшої міцності набуває біомаса, що пресується, коли температура її 90-120°C. Якщо температура екструзії менша, то міцність пелет знижується. Температурною межею гранулювання є 250°C, коли починає відбуватись реакція піролізу і тоді виникає явище часткового розкладання біомаси [13, 17, 23].

Розділ 2.

АНАЛІЗ ГРАНУЛЯТОРІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПЕЛЕТ

Процес гранулювання методом сухої екструзії передбачає проштовхування під великим тиском сипкої сировини крізь канали формуючого вузла – матриці.

2.1. Аналітичний огляд процесів і конструкцій грануляторів біомаси

Процес гранулювання (екструзії) на біопаливо – це утворення гранул шляхом продавлювання пружно-пластична-в'язкої біомаси за допомогою робочого органу через формуючий вузол [1, 3, 9, 13, 20, 21].

Аналіз конструкцій і технологічних процесів робочих органів засобів для гранулювання біомаси дозволяє визначити такі основні типи (рис. 2.1): поршневі, шнекові (екструдери), транспортерні, валкові, рулонні, матричні [2, 4, 8, 12]. На поршневих (рис. 2.1, а) і шнекових (рис. 2.1, г) пресах, як правило, отримують кормові і біо паливні брикети. Рулонні пресувальні засоби (рис. 2.1, б) формують циліндричні тюки із стеблових матеріалів. Валкові преси (рис. 2.1, д) частіше застосовують для отримання виробів з паливних відходів нафтопереробки, вугільного пилу тощо). Для отримання біо паливних гранул, як правило, застосовують матричні гранулятори, які поділяють на засоби з кільцевою та з плоскою матрицями (рис. 2.1, ж). Кільцеві матриці можуть бути встановлені горизонтально (рис. 2.1, є), або вертикально (рис. 2.1, е).

Гранулятори і з кільцевою, і з плоскою матрицями працюють за однаковим способом. Пресувальні обертові вальці (ролики) створюють інтенсивне контактне напруження стискання біомаси на поверхні матриці, і через отвори в матриці продавлюють сировину, яка формується у гранули, що зрізаються спеціальними ножами. Робочі елементи грануляторів виконані з особливо надійних металевих чи пластикових матеріалів з жорсткими міцними корпусами.

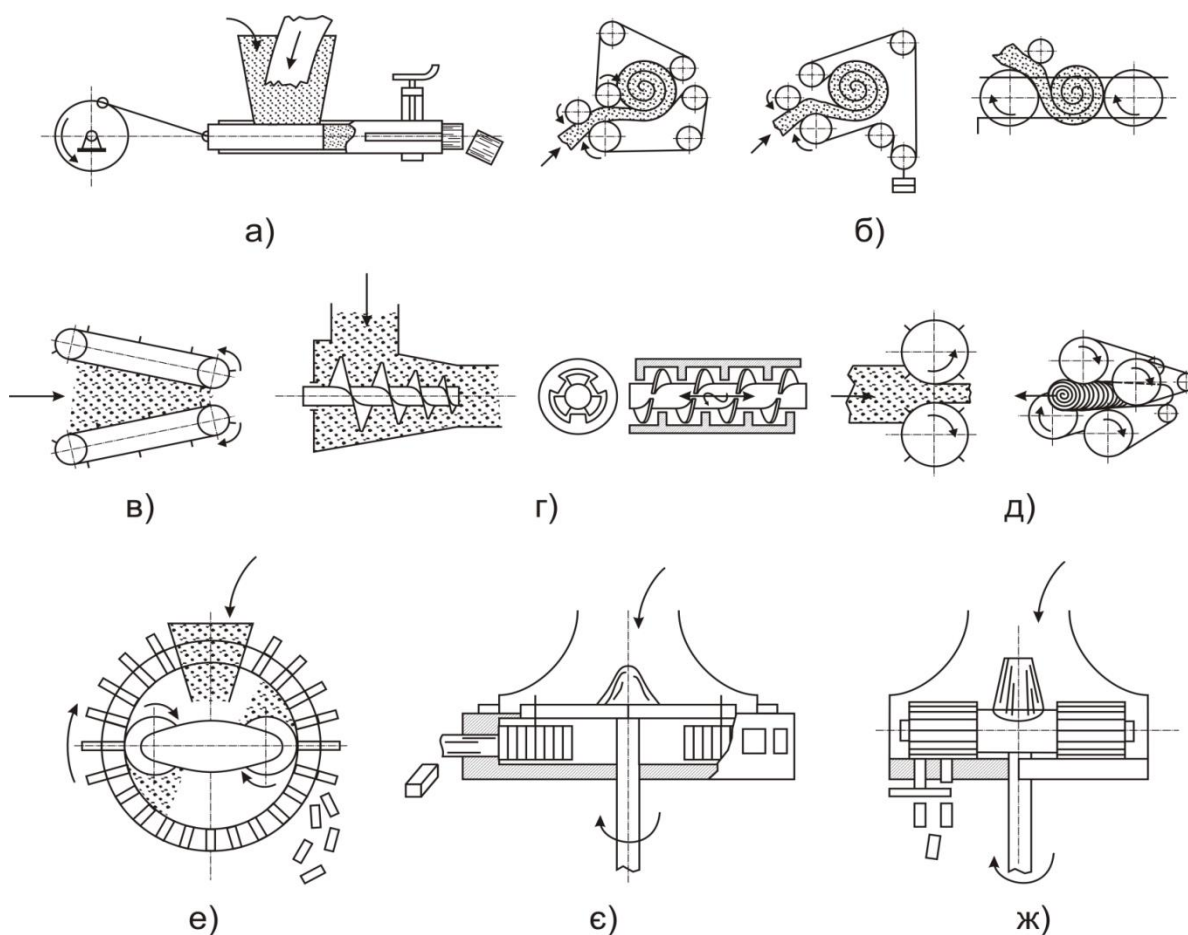


Рис. 2.1. Класифікація робочих елементів для гранулювання біомаси: а – поршневі; б – рулонні; в – транспортерні; г – шнекові; д – валкові; е, є, ж – матричні

Матриця і ролики виготовлені із зносостійких загартованих сталевих сплавів. Грануляційний матеріал повинен мати високу щільність $900-1400 \text{ кг/м}^3$, тому процес вимагає підвищеного зусилля при екструзії. Питоме споживання електроенергії складає $30-50 \text{ кВт год/т}$. Через сили тертя і складні процеси на молекулярному рівні, що відбуваються при різкому стисненні $40-100 \text{ МПа}$ сировини, температура в робочій зоні преса сягає 100°C .

Схеми гранувальних механізмів поширених матричних грануляторів представлені в додатку А. Матриця 1 є товстостінним перфорованим з радіальними філь'єрами кільцем (дод. А, а, г) або диском, в якому осі філь'єр паралельні осі диска (дод. А, б, в). На схемах, зображених у дод. А, а, б, тиск у

в'язко-пластинчастій сировині створюється при взаємодії матриці з пресувальним роликem 2. Матриця і ролики з'єднуються в механізм водила 3 так, що пресувальні ролики перекочуються по робочій поверхні матриці.

Формування гранул шляхом продавлювання в'язко-пластичної біомаси відбувається крізь отвори – філь'єри. Використовувані для цього грануляційні пристрої відрізняються методом створення високого тиску в біомасі безпосередньо перед філь'єрами, основні конструктивні схеми яких – на рис. 2.3. Для збільшення живого перетину перфорованої частини матриці вхідні отвори філь'єри виготовляють з діаметром більшим, ніж діаметр циліндричної частини..

Зазвичай філь'єри виготовляють з конічною вхідною порожниною, яка пов'язана з циліндричним каналом (рис. 2.3, а, б). Крім конічної вхідної порожнини, може бути застосована тороїдо-подібна вхідну порожнина, яка утворена у вигляді частини дуги кола (рис. 2.3, в, г).

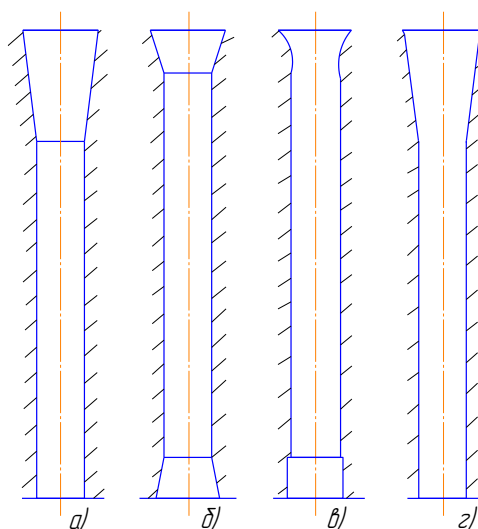


Рис. 2.3. Схеми основних типів технологічних каналів (філь'єр)

Серед твердопаливних грануляторів з кільцевою матрицею зарубіжних кампаній найбільшого поширення набули засоби виробничих фірм CPM Europe (Нідерланди), Munch (Німеччина), OGM (Литва), Andritz, Salmatec, Buhler та інші [1, 4, 5, 9, 13].

У грануляторах з плоскою матрицею крутний момент електромеханічного привода передається головному валу через черв'ячний редуктор, з яким з'єднані

ролики (рис. 2.4), що перекочуються по плоскій матриці. Ступінь притискування роликів-катків регулюється за допомогою гідравліки.

Біомаса примусово або під власною вагою подається на нерухому матрицю, потрапляє в зону грануляції під ролик і проштовхується крізь канал. Під матрицею створюється грануляційний джгут, із якого за допомогою ножа формуються пелети.

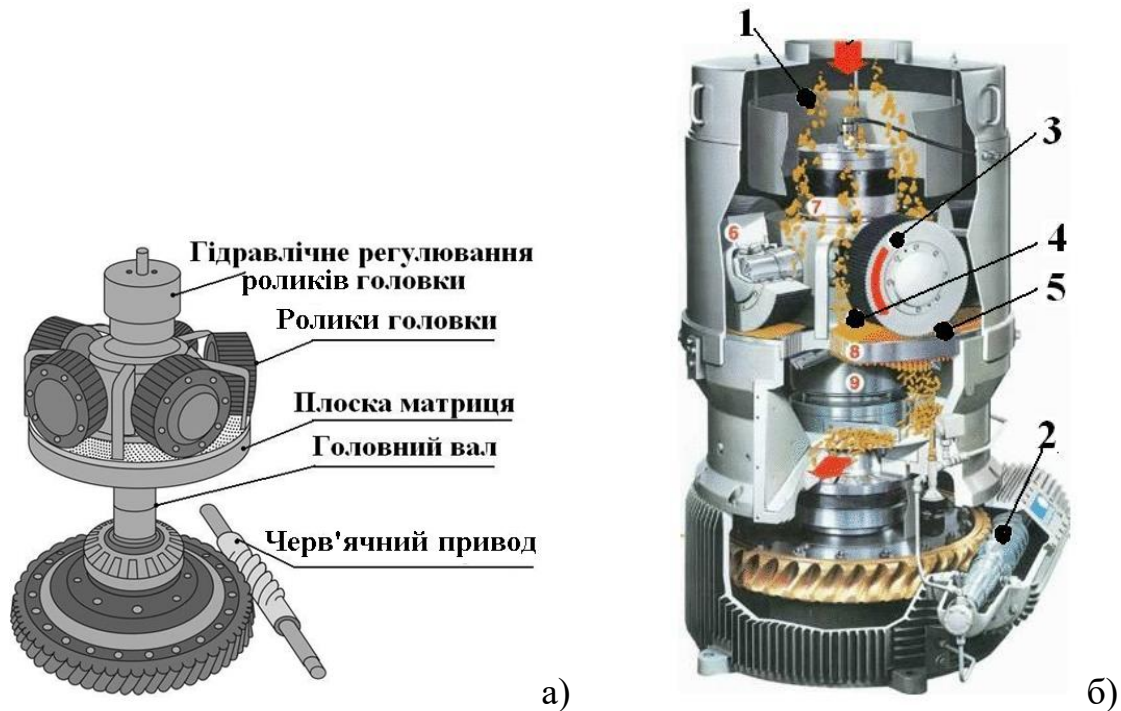


Рис. 2.4. Технологічно-модульна схеми гранулятора з плоскою матрицею

Таблиця 2.1. Конструктивно-технологічними перевагами грануляторів з плоскою матрицею

	- завантаження сировини проводиться самопливом або примусово, великі розміри робочої зони грануляції виключають блокування процесу;
	- крутний момент електродвигуна через черв'ячний редуктор передається головному валу, з яким з'єднані ролики, що пресують;

	- швидкість катків становить 2,5 м/с, що забезпечує ефективну деаерацію (усадку) сировини;
	- товстий шар маси перед катком при великій площі матриці забезпечує високу пропускну спроможність навіть при переробці важко пресованої біомаси;
	- зазор між роликками і матрицею можна регулювати без зупинки процесу і тим самим ефективно впливати на якість пелет

Одні з кращих грануляторів з плоскою матрицею розробила фірма KANL Group (Німеччина). Такий засіб (рис. 2.5) дозволяє гранулювати біомасу з великим зусиллям, і відповідно з твердіших порід дерева.



а)



б)

Рис. 2.5. Технологічний процес (а) і основні робочі вузли (б) гранулятора фірми KANL Group

Чотири притискні ролики підвищують продуктивність гранулятора при рівних робочих площах матриці. На кільцевих матрицях збільшення числа роликів може привести до порушення їх геометрії. Конструктивно матриця є плоскою матрицею, що дозволяє досить легко в польових умовах привести в

порядок "заїжджену" матрицю. Широке застосування отримали плоскі матриці в невеликих грануляторах (100-200 кг гранул за годину).

За результатами аналізу встановлено, що попередньо подрібнені рослинні матеріали мають характеристики наближені до сухого сипкого корму, тому доцільно застосувати прес-гранулятор з плоскою матрицею, оскільки вказаний технічний засіб для гранулювання з елементами удосконалення, за нашими прогнозами, матиме високі технологічні показники робочого процесу та надійності.

Для комплектування технологічної лінії в господарстві та конструкційних удосконалень засобу приймаємо матричний тип гранулятор малої потужності 200 кг за годину з плоскою матрицею, прототип якого треба визначити.

2.2. Вибір перспективного типу гранулятора з плоскою матрицею

Проведений огляд свідчить, що найбільш ефективним засобом для виробництва гранул для дрібносерійних виробництв буде гранулятор типу GC-9PK-260. Функціональна схема утворення гранул за допомогою гранулятора-прототипу з плоскою матрицею наведена на рис. 2.6, один з основних робочих органів – плоска матриця, показана на рис. 2.7, робочий ролик – на рис. 2.8.

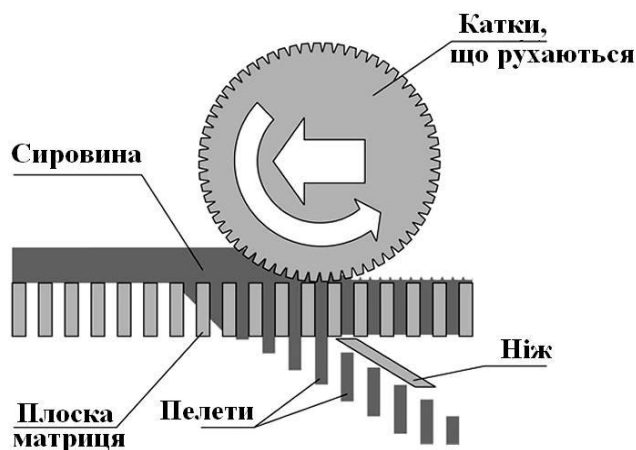


Рис. 2.6. Схема утворення гранул на плоскій матриці



Рис. 2.7. Матриця плоско-матричного гранулятора



Рис. 2.8. Обичайка робочого ролика гранулятора

Гранулятори з плоскою матрицею серії РК можуть виробляти гранули із різних рослинних відходів. У процесі грануляції температура матриці досягатиме 70-90°C, при чому деревна тирса перетворюється на масу з адгезійними властивостями. Термічній обробці підлягає вся поверхня гранул для того, щоб запобігти прояві плісняви, та мати можливість тривалого їх збереження. У таблиці 2.2 наведена технічна характеристика грануляторів серії РК (рис. 2.9).



Рис. 2.9. 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

Попередньо подрібнені рослинні відходи мають характеристики наближені до твердого сипучого корму, тому що зазначений технічний засіб для грануляції з елементами удосконалення має високі технологічні показники процесу та надійності.

Виробниче приміщення для грануляції біомаси розміщено на площі 145 м² (рис. 2.10). Етапи виробництва: біомасу попередньо подрібнюють, підсушують, подрібнюють до дисперсійного стану і піддають гранулюванню. Потім гранули охолоджують, просіюють і фасують.

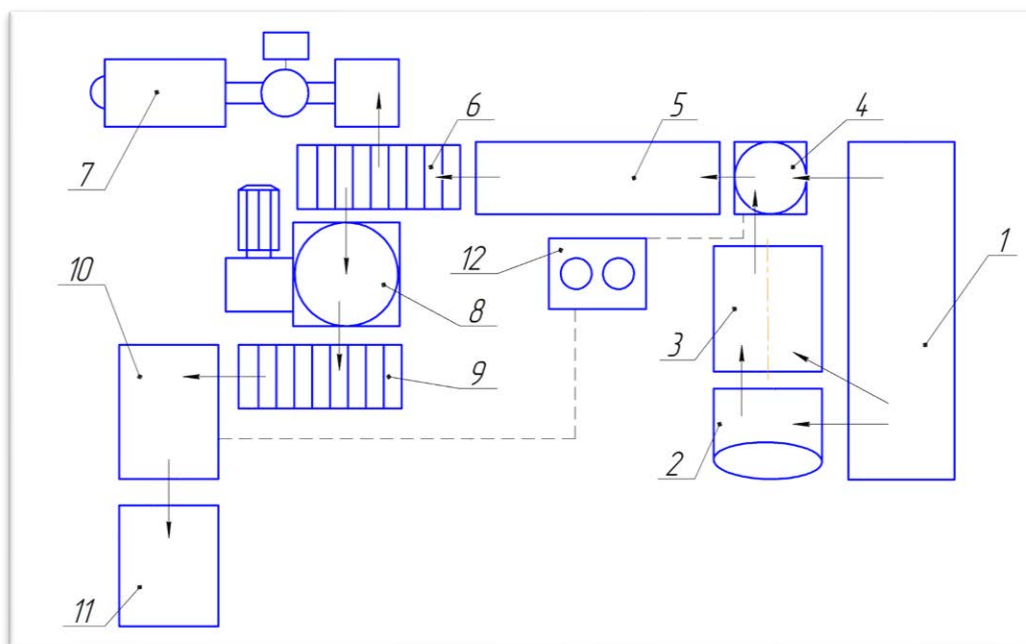


Рис. 2.10. Технологічна схема цеху грануляції біомаси: 1 – платформа сировини; 2 – подрібнювач тюків соломи; 3 – сушарка сировини; 4 – подрібнювач; 5 – бункер накопичувач; 6 – транспортер сировини; 7 – лінія грануляції; 8 – гранулятор з плоскою матрицею; 9 – транспортер гранул; 10 – сепаратор; 11 – платформа готової продукції з вагами; 12 – система пиловловлювання

Лінія грануляції біомаси має виготовляє гранули з розміром діаметру 4-8 мм та вологістю 12-14 %. Лінія дозволяє реалізувати технологічні операції: змішування, грануляції, охолодження і сушіння гранул та просіювання.

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

Для виробництва гранул буде застосовуватися сільськогосподарська та лісогосподарська сировина: солома, тирса, сіно, подрібнені зерноsumіші, хміль та інші види вторинної біомаси.

Продуктивність лінії грануляції сировини становить 2 т гранул за добу:

- біопаливні гранули (пелети), якість яких відповідає діючим стандартам ЄС EN 14961-2;
- гранульовані комбікорми.

2.3. Розробка функціональної схеми прийнятого гранулятора

Проведений аналіз свідчить про те, що найбільш ефективним пресувальним засобом для виробництва гранул з біомаси для твердопаливних виробництв в умовах господарства буде гранулятор з плоскою матрицею марки GC-9PK-260. Технологічна схема отримання біопаливних гранул за допомогою прийнятого гранулятора з плоскою матрицею наведена на рис. 2.11.

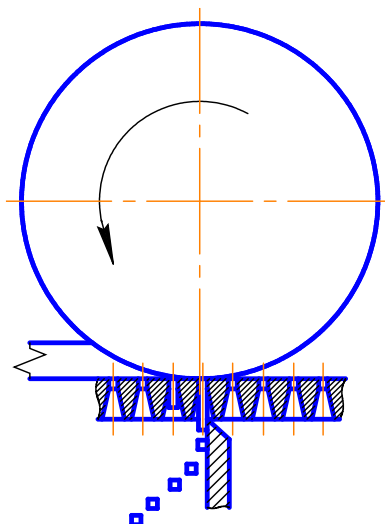


Рис. 2.11. Технологічна схема отримання гранул грануляційним плоско-матричним пристроєм

У грануляторі з плоскою матрицею (рис. 2.11) біомаса завдяки рифленій поверхні ролика втискається у клиновидний зазор, між матрицею і роликом. У зоні найбільшого тиску біомаса проштовхується крізь фільтри матриці. Спресована тирса на виході з фільтрів зрізується ножом, утворюючи гранули.

На підставі аналізу та попередніх розрахунків розроблена конструктивно-функціональна схема перспективного прес-гранулятора для визначення параметрів та удосконалення конструкції (рис. 2.12).

На раму встановлюється платформа з двигуном, яка за допомогою натягу переміщається щодо рами і здійснює натягнення ремня. Обертний рух від двигуна через пасову передачу, черв'ячний редуктор, муфту передається на головний вал, який надає обертання на ролики по матриці.

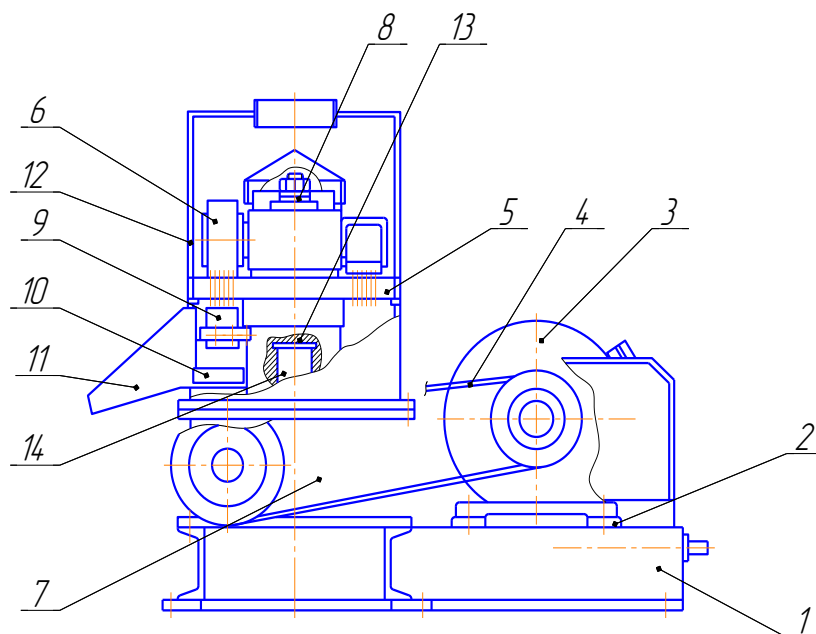


Рис. 2.12. Конструктивно-функціональна схема перспективного гранулятора з плоскою матрицею: 1 – рама; 2 - платформа; 3 - електродвигун; 4 - клинопасава передача; 5 - матриця; 6 - каток; 7 - черв'ячний редуктор; 8 - притиск; 9 - ніж; 10 - скребок; 11 - лоток; 12 - кожух; 13 - муфта; 14 - головний вал

Для підвищення ефективності виконання технологічної ділянки лінії від приймання біосировини та гранулювання (рис. 2.13) передбачаємо застосування системи автоматичного управління «EAPR». Ця система забезпечуватиме автоматизовану роботу прес-гранулятора та попереднього обладнання, надійність, точність, якість технологічних процесів, зменшує кількість обслуговуючого персоналу.

Дистанційне регулювання зазору між роликом і матрицею без зупинки технологічного процесу є одним із суттєвих переваг грануляторів з плоскою матрицею.

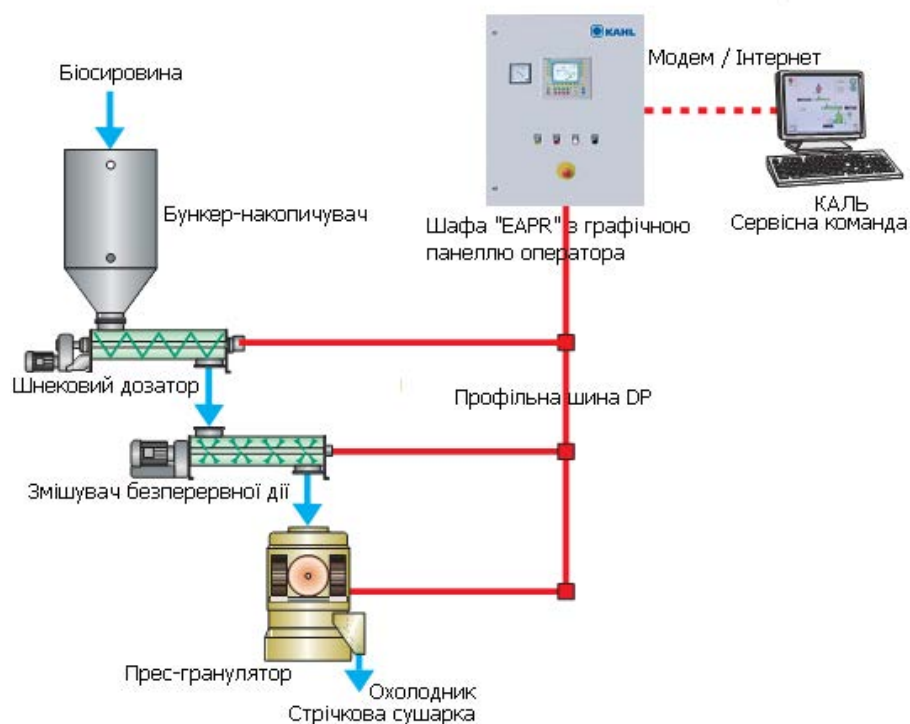


Рис. 2.13. Схема технологічної лінії гранулювання біомаси зі застосуванням автоматизованої системи управління гранулятора з плоскою матрицею

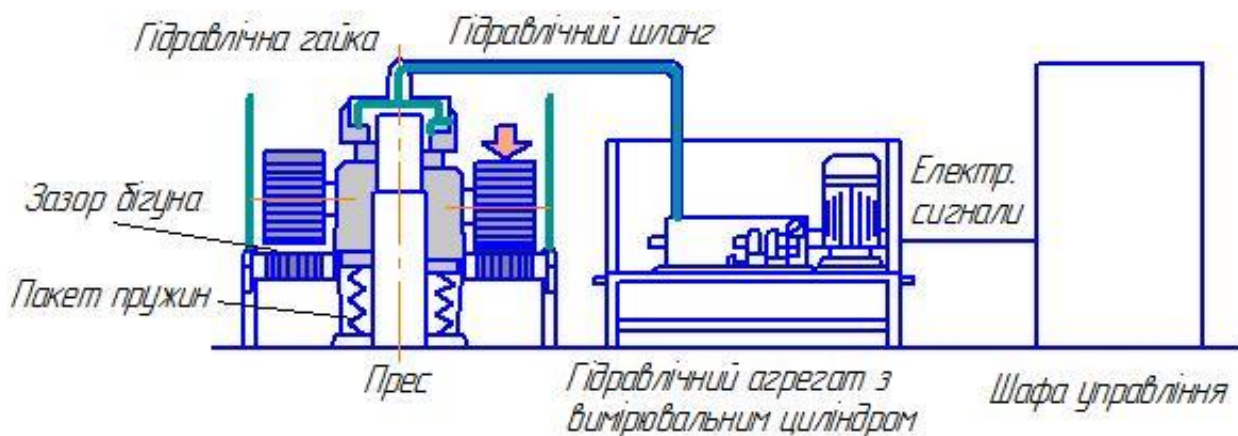


Рис. 2.14. Схема дистанційного автоматичного управління постійним зазором роликів

Передбачаємо в установчій схемі нашого гранулятора систему дистанційної автоматики типу «DISTAMAT» (рис. 2.14), яка підтримуватиме постійний зазор між роликом і матрицею для забезпечення раціональної якості гранул та підвищення строку служби робочих елементів.

Висновки до розділу 2

1. Для грануляції матеріалів рослинного походження застосовують пресувальні механізми з матрицями і роликами [1, 4-7, 9, 13, 15]. Ці механізми відносяться до механізмів безперервної дії. Відсутність холостого ходу робочих органів і незмінність їх швидкостей зводять до мінімуму інерційні сили. Робочі органи мають відносно просту конструкцію. Це свідчить про перспективність грануляційних механізмів як ефективного обладнання для грануляції біомаси у виробі.

2. Проведений аналіз свідчить, що найбільш сприятливим пресувальним засобом для прийнятої технологічної лінії виробництва гранул в умовах господарства буде гранулятор типу GC-9PK-260 з орієнтовною продуктивністю 150-200 кг/год з плоскою матрицею, як прототип. Попередньо подрібнена до 1-4 мм сировина має характеристики наближені до сухого (8-12%) сипкого корму, тому доцільно застосувати замість гранулятора з кільцевою матрицею вказаний технічний засіб для гранулювання з елементами удосконалення, який матиме техніко-технологічні показники роботи та надійності, що відповідають вимогам виробництва.

3. В процесі подальшого конструкторського проектування потрібно визначити і уточнити раціональний діаметр і форму каналів – філь'єр, геометричні розміри матриці і ролика, зазор між роликом і матрицею, пристрій регулювання цього зазору, потужність, необхідну для привода робочих органів.

Розділ 3.

РОЗРАХУНКИ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ МАТРИЧНОГО ВУЗЛА ГРАНУЛЯТОРА

3.1. Методика визначення параметрів гранулювання біомаси на плоскій матриці

На основі попереднього аналізу процесу (розд. 2) утилізації вторинної біомаси і отримання пелет шляхом гранулювання проведено вивчення цього явища і розробка методики в даному підрозділі.

При гранулюванні побічної продукції рослинного походження застосовуються прес-гранулятори з кільцевими або плоскими матрицями. В кільцевих грануляторах вузол грануляції являє собою безпосередньо кільцеву матрицю, закріплену в бандажних кільцях, з розміщеними всередині роликками, що пресують. При цьому технічно застосовуються два варіанти: кільцева матриця обертається, а блок роликів залишається нерухомим. Або навпаки – матриця є нерухома і обертається блок роликів [13, 18].

Недоліками грануляторів з кільцевими матрицями є ускладнення конструкції за рахунок наявності механізму примусової подачі матеріалу у внутрішню порожнину матриці, складність і дорожнеча виготовлення кільцевої матриці, підвищений знос поверхні матриці і роликів внаслідок нерівномірного, стрибкоподібного живлення біомасою.

Альтернативним напрямком розвитку грануляційної техніки є розробки й удосконалення грануляторів з плоскою матрицею [18, 19]. Відома конструкція гранулятора з плоскою матрицею, пружними роликками, які мають можливість переміщення уздовж осі приводного вертикального валу [18].

Узагальнена схема гранулювання біомаси обертовими роликками в плоско-матричному грануляторі наведена на рис. 3.1. У процесі перекочування роликів біомаса ущільнюється у канали на межі поверхонь матриці і елементів,

що пресують. Після проходження ролика над технологічним каналом матриці відбувається ущільнення і проштовхування чергової порції біомаси у відносно вільний простір каналу. Далі надходження під тиском нової порції біомаси у канал відбувається при проході наступного ролика, що пресує.

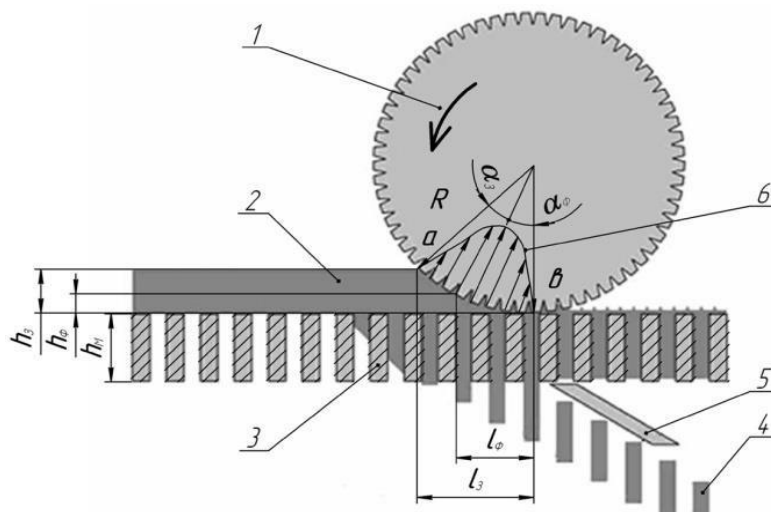


Рис. 3.1. Схема уцілювання і стискання біомаси крізь канали матриці: 1 - ролик; 2 - біомаса; 3- матриця; 4 - гранули; 5 - ніж; 6 - епюра напруги

Гранулятори з плоскою матрицею мають відносно не складну конструкцію, зручність обслуговування та експлуатації, досить тривалий період безперервного робочого процесу, підвищену зносостійкість, порівняну спрощеність у виробництві матриць. При виготовленні матриць технологічні канали у перетині виконують як циліндричної форми, так і змінної з елементами конусів або більших діаметрів [17, 19, 20] (рис. 3.2; табл. 3.1).

Використання каналів змінного перерізу та безпосереднє висока робоча температура 60-90°C матриці сприяють зміні реологічних властивостей біомаси, що гранулюється. При цьому пелети мають більш пластичні властивості, а енерговитрати процесу гранулювання у цілому знижуються [20].

захоплення біомаси $\alpha_3 = \varphi_1 + \varphi_2$; коефіцієнта C_M , що враховує реологічні характеристики біомаси $C_M = P_M^{max} / P_M^{min}$.

Розроблена методика розрахунків матричного вузла гранулятора.

3.1. Визначення головних геометричних показників. Об'ємна продуктивність гранулятора, м³/хв:

$$Q_{об} = \frac{Q}{60 \cdot \rho_{нас}}. \quad (3.1)$$

Площа перетину технологічного каналу, м²:

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d}{4}. \quad (3.2)$$

Число каналів у формуючій матриці:

$$m = \frac{Q_{об}}{S_0 \cdot z \cdot n \cdot l}. \quad (3.3)$$

Розрахунковий діаметр матриці (м) визначають за формулою:

$$D_{рас} = \sqrt{\frac{d^2 \cdot m}{\varphi} \cdot 100} \quad (4)$$

Радіус формуючого ролика (м) визначають за залежністю:

$$R = \frac{Q}{120 \cdot \pi \cdot z \cdot n \cdot \rho_{нас} \cdot (r_n^2 - r_{вн}^2) \sin^2(\alpha_\phi / 2) \cdot C_M} \quad (5)$$

де r_n і $r_{вн}$ - радіуси поверхні матриці, описувані зовнішнім і внутрішнім торцями ролика відповідно, м.

Довжину ролика (м) розраховують як :

$$L_{рол} = \frac{D_{рас}}{2} \quad (6)$$

Число отворів з урахуванням кроку між ними t на кожному діаметрі їх розташування:

$$m_t = \frac{\pi \cdot D_n}{t} \quad (7)$$

Площа робочої поверхні матриці, м²:

$$S = S_n - S_{en} = \pi(r_n^2 - r_{en}^2) \quad (8)$$

Розрахунок живого перетину матриці:

$$\varphi = \frac{S_0 \cdot m_t}{S} \quad (9)$$

б) Визначення параметрів граничного стану.

Визначається гранична швидкість обертання вала, об/хв

$$n_{\max} \leq 30 \sqrt{\frac{f}{4 \cdot R}} \quad (10)$$

При цьому максимальна годинна продуктивність гранулятора (т/ч) дорівнює

$$Q_{\max} = 120 \cdot \pi \cdot z \cdot n_{\max} \cdot \rho_{nac} \cdot R \cdot (r_n^2 - r_{en}^2) \sin^2(\alpha_\phi / 2) \cdot C_M \quad (11)$$

в) На цьому етапі визначають силові параметри процесу формування.

Середнє нормальне напруження (МПа) розраховують за залежності:

$$\sigma_b^{\max} = P_{y\phi} (1 + 2\xi) (1 + \sin\varphi_1) + P_M \cdot \sin\varphi_1 \quad (12)$$

Результуючий момент формування (Н м) визначається за формулою:

$$M_\phi = \frac{L \cdot R^2 \cdot f}{2} \cdot \sigma_b^{\max} (\alpha_3 - 2\alpha_\phi) \quad (13)$$

Момент опору при зрушенні надлишків матеріалу (Н м) розраховують за формулою:

$$M_c = \frac{42 P_M \cdot \pi \cdot R^3}{ctg(\varphi_1)} \quad (14)$$

Результуючу силу тиску на валки (МН) можна визначити з виразу:

$$P = \frac{L_{pol} \cdot R \cdot \alpha_3}{2} \cdot \sigma_b^{\max} \quad (15)$$

Кутова швидкість обертання роликів (с⁻¹) дорівнює:

$$w = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (16)$$

Потужність приводу гранулятора (кВт) дорівнює:

$$N = \frac{z \cdot (M_\phi + M_c)}{\eta}, \quad (17)$$

де $\eta = 0,95$ – ККД.

Потужність, що витрачається на нагрів шихти N_n (кВт), визначається за стандартною методикою [5].

Встановлюючи потужність приводу (кВт) дорівнює:

$$N = \frac{(N + N_n) \cdot 1,2}{\eta} \quad (18)$$

Наведена нами методика дозволяє проводити розрахунок основних

техніко-технологічних параметрів грануляторів з плоскою матрицею, призначених для гранулювання різних типів рослинних матеріалів. Ця методика враховує зміну реологічних властивостей біомаси, що гранулюється, внаслідок їх термічного нагріву і використання каналів змінного перерізу.

3.2. Модернізація входної частини філь'єри гранулятора

Гранули з біомаси в матричних прес-грануляторах формуються методом екструзії. Екструзія (лат. *extrusio* – виштовхування) – це процес утворення гранульованих виробів шляхом продавлювання пружно-пластичне-в'язкої маси крізь формувальні отвори (філь'єри) в матриці. Для гранулювання матеріалів органічного походження у корми, паливо, добрива тощо найбільшого застосування отримали матричні робочі органи, що складаються з матриці і пресувальних вальців. Біомаса, що подається на внутрішню поверхню кільцевої чи плоскої матриці, спочатку стискується вальцями, а потім вдавлюється у філь'єри. За мірою заповнення філь'єр опір збільшується, в зв'язку з чим тиск гранулювання зростає і досягає найбільшого значення до 90-100 МПа при повністю заповнених філь'єрах. У подальшому виконанні процесу сформовані гранули виходять за межі матриці [13].

Такі функціональні дії супроводжуються інтенсивним тертям у філь'єрах та зносом їх поверхонь. Філь'єри матриці у формувальній частині, як правило, є циліндричними у подовжній своїй площині. Тоді технологічний простір між філь'єрами становить близько 50 % від робочої поверхні матриці. Найбільш поширені конструкції філь'єр з конусною входною частиною, що сприяє збільшенню «живого перетину» до 75 % [13, 20].

За результатами аналізу технічних розробок (патент на корисну модель UA № 30058, B01J 2/00) встановлено, що кут конусної входної частини філь'єри від 10° до 80° суттєво не впливає на кінцеву щільність гранул, зокрема з соломистих матеріалів та лузги соняшнику. Разом з цим, відомо [23], що після значного терміну експлуатації понад 1500 годин експлуатації матричного вузла в

результаті зносу поверхонь твірна лінія вхідної частини філь'єри набуває форму гладенької випуклої кривої, а знос циліндричної і вихідної частин філь'єри практично відсутній.

Експлуатаційна продуктивність, навантаження на виконавчі органи та енерговитрати гранулятора залежать від опору філь'єр при переміщенні в них технологічного матеріалу. Тому до основних параметрів філь'єр матриці належать їх діаметр та конфігурація вхідної частини [25].

Одним із шляхів зменшення опору гранулювання та підвищення зносостійкості філь'єр є надання їхнім вхідним частинам тороїдальної форми, тобто близької до тієї, яка утворюється при їх зносі після тривалої експлуатації (а.с. SU № 888855, A01F 15/02). На випробуваннях матриці з тороїдальними вхідними поверхнями філь'єр отримані позитивні результати, але тільки при значеннях кута близько 90° при вершині оберненого конуса вхідної частини [23].

Відома конструкція філь'єри (патент на корисну модель UA № 79984, H01L35/00) передбачає введення на початку формуючого каналу невеликої конусності $3-5^\circ$, що внаслідок пластичної деформації органічного матеріалу створює протитиск. При цьому загальна довжина формуючого каналу зменшується до 3-6 значень вихідного отвору формуючого каналу. Застосування філь'єр, створених у такий спосіб, дозволяє зменшити початковий тиск у вхідній частині, усунути причини появи кільцевих тріщин на гранулах.

Проте, таке виконання філь'єри має техніко-технологічні недоліки. У вхідній частині філь'єри при збільшенні прохідності мають місце два кутові елементи на сторону в проекції, які не сприяють плавності переміщення технологічного матеріалу, а тільки стримують його при тисках понад 10 МПа. Окрім того, довжина формуючого каналу зменшується на $2/3$.

В зв'язку з цим, потрібно враховувати, що за технологічними вимогами певна довжина каналу філь'єри сприяє ефективному формуванню гранульованих виробів, забезпечує протитиск для отримання гранул заданої щільності, а також витримку спресованої біомаси під тиском протягом певного часу, необхідного для релаксації напружень. В іншому випадку, через пружну 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 тривалості її пересування [13]. Таким чином, зменшення довжини формуючого каналу філь'єри призводить до низької якості гранульованих виробів.

Проведений аналіз конструкційних рішень філь'єр матриць прес-грануляторів дозволив визначити засіб (а.с. SU № 1253815, B01B 3/06), що містить матрицю з пресувальними каналами, які включають вхідну порожнину в формі усіченого зворотного конуса, циліндричну формуючу частину та пов'язану з нею вихідну тороїдальну порожнину. Таке конструкційне виконання пресувального каналу (філь'єри) прийнято за основу в наших дослідженнях.

Виявлені недоліки вищенаведеної конструкції філь'єр, а саме: при виготовленні кормових гранул вхідна частина філь'єри забезпечує поступове пружне розширення виробів і уникнення тріщин у гранулах. Проте, при виготовленні паливних гранул з сухої біомаси в більш жорсткому технологічному режимі значно важливішою є вимога збільшення експозиції гранул, що утворюються у стислому стані у філь'єрах, для повної релаксації напружень у готових виробах [19, 21].

Завдання створення графоаналітичної моделі вхідної частини філь'єр матриці полягає у підвищенні ефективності екструзії біомаси у філь'єрах, зменшенні зносу поверхонь вхідної частини філь'єри та зменшенні енерговитрат процесу без зниження показників якості гранул.

Поставлена задача вирішується конструктивним удосконаленням філь'єри матриці для формування гранул з біомаси методом екструзії [19], вхідна частина якої має форму оберненого конуса, а формуючий канал має однаковий переріз за діаметром по всій довжині, згідно пропонованого 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. Технічна суть запропонованої графоаналітичної моделі вхідної частини філь'єри схематично пояснюється на рис. 3.3.

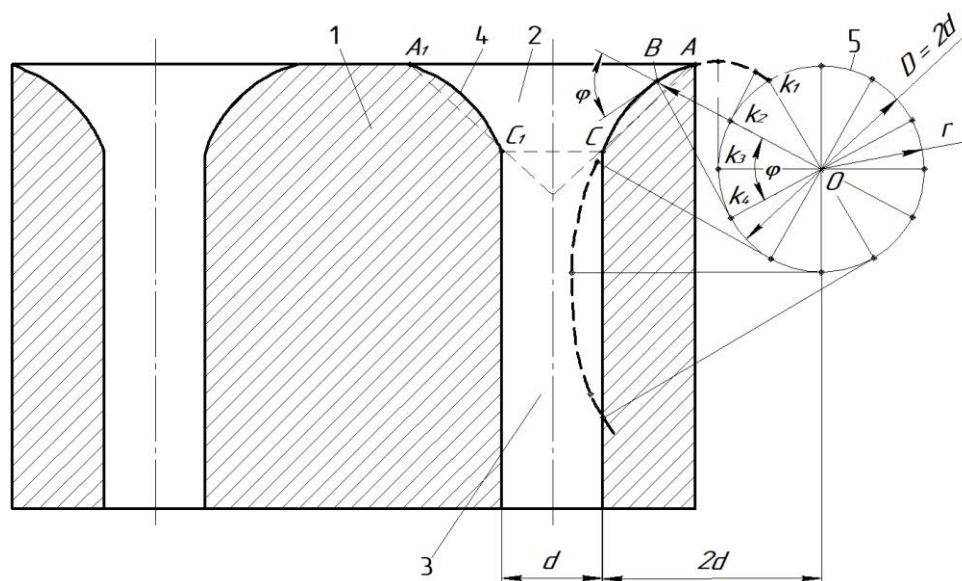


Рис. 3.3. Схема філь'єри у поперечному перетині з формою вхідної частини у вигляді евольвенти кола

Технологічний процес перетворення біомаси у гранульовані вироби у технологічних каналах (філь'ерах) матриці 1 (рис. 1) відповідає вимогам сухої екструзії. Тому навантаження та знос робочих поверхонь в 1,2-1,5 раза завбільшки, ніж при виробництві гранульованих кормів. За результатами аналізу твірна лінія зношеної входної частини 2 філь'єри після тривалої експлуатації понад 1500-2000 годин умовно описується за правилами побудови евольвенти [19]. Для попередження додаткового опору та зносу входних поверхонь філь'єри приймаємо форму входної частини 2 як евольвенту 4 з плавним переходом поверхні входної частини 2 в циліндричну частину формуючого каналу 3 діаметром d .

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 (еволюта) 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. 3.3).

Точка k_1 є початковою точкою евольвенти. Методом перекочування прямої проти стрілки годинника побудовано криву евольвенти. Гострий кут φ між дотичною до евольвенти 4 у точці B і 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'єри від т. A (A_1) до т. C (C_1) буде зустрічати найменший опір від сили тертя.

Ефективність запропонованої графоаналітичної моделі вхідної частини філь'єри доводять такі властивості евольвенти.

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

2. Твірна пряма є радіусом кривизни евольвенти 4 в розглянутій точці B і відповідно є нормаллю до неї. Така 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 за формулою:

$$B k_4 = r_e \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (3.19)$$

Отримана графоаналітична модель філь'єри матриці 1 (рис. 3.3) для формування гранул з біомаси методом екструзії реалізується за рахунок виконання вхідної частини 2 у формі об'ємної евольвенти 4, що сприяє суттєвому зменшенню технологічного опору під час екструзії біомаси у вхідній частині 2 та формуючому каналі 3, підвищенню зносостійкості вхідної порожнини філь'єри, досягненню показників нормативної якості гранул з біомаси при незмінній довжині формуючого циліндричного каналу 3, зниженню енерговитрат на процес гранулювання зі збереженням показників технологічного тиску в моноліті гранули, що формується.

3.3. Кінематичні розрахунки матричного вузла

Максимальну колову швидкість ролика $V_{\max}$ приймають приблизно в два рази меншою від швидкості проходження біомаси крізь канал матриці $v_y = 18$ м/с, при якій формуються в каналі матриці, тобто $v_{\max} \approx 10$ м/с.

Колова (окружна) швидкість при екструзії різних видів біомаси має бути нижче за ту величину, при якій не достатньо, згідно вимог, ущільнюються пелети. Максимальне значення цієї швидкості можна приблизно визначити на основі закону перетворення кількості руху матеріальної точки за проміжок часу [27].

$$\text{В даному випадку} \quad m(V_2 - V_1) = P\tau, \quad (3.20)$$

де m - маса одної гранули, кг; для гранул з біомаси приймаємо $m = 6 \cdot 10^{-4}$ кг;

V_2 - швидкість частинки після екструзії його в отворі матриці, м/с;

V_1 - швидкість частинки на вході у отвір, м/с;

P - сила прикладена до частинки при зіткненні з роликами, яка має бути достатній для формування гранул, але значно менше сили опору;

τ - тривалість екструзії, с. Приймаємо $\tau = 10^{-3}$ с.

При $V_1 = 0$ маємо:

$$V_2 = \frac{P\tau}{m} \quad \text{або} \quad V_2 = \omega \cdot R, \quad \text{м/с}, \quad (3.21)$$

де ω - кутова швидкість ролика, с^{-1} ;

R - відстань від центру обертання до кінця катка (радіус ролика), м.

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad \omega = \frac{3,14 \cdot 4,9}{30} = 0,5 \text{ с}^{-1}$$

де n - частота обертання ротора, об/хв.

Розраховуємо відстань R від осі обертання ролика [13]:

$$R = \frac{D}{2} - S, \quad (3.22)$$

де D - зовнішній діаметр притискного ролика, мм;

S - відстань від зовнішньої грані катків до внутрішньої поверхні матриці, мм. При гранулюванні біомаси рекомендується приймати $S = 1,7$ мм.

Отже $R = \frac{160}{2} - 1,7 = 78,3 \text{ мм.}$ Приймаємо $R = 80 \text{ мм.}$

З рівняння (3.20) визначимо силу прикладену до частинки при зіткненні з роликами:

$$P = \frac{m \cdot V_2}{\tau}; \quad P = \frac{6 \cdot 10^{-4} \cdot 1300}{10^{-3}} = 780 \text{ Н.}$$

За довідковими даними [19, 33], сила необхідна для екструзії деревних гранул рівна $P_{\min} = 745-760 \text{ Н,}$ що менше отриманої розрахункової сили. Це означає гранулятор забезпечує ущільнення поверхні гранул. Сила ж опору руйнуванню гранул $P_{\max} = 1020-1100 \text{ Н,}$ а оскільки отримана сила має менше значення, то не буде руйнування гранул механізмом грануляції.

За результатами розрахунків одержані такі показники:

- кутова швидкість роликів пресувальних, $\nu - 0,5 \dots 0,65 \text{ м/с;}$
- радіальний зазор між матрицею та катками, $\delta - 2,5 \dots 3,0 \text{ мм;}$
- радіус ролика (катка), $R - 80 \text{ мм;}$
- сила прикладена до біомаси при зіткненні з роликами, $P - 780 \text{ Н.}$

3.4. 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, 22, 25]:

$$\Pi = \gamma \rho f \frac{100 - W_T}{100 - W_C}, \quad (3.23)$$

де γ - швидкість проходження процесу грануляції, м/с;

ρ - щільність сировини, кг/м³;

W_T - вологість сировини, %;

W_c - вологість отриманих пелет, %;

f - корисна площа живого перерізу плоскої матриці, м².

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

$$f_v = \pi n d^2 / 4, \quad (3.24)$$

де d - діаметр формуючої філь'єри, м;

Діаметр матриці [2, 32, 35]:

$$D = \sqrt{4F/\pi}. \quad (3.25)$$

Площа робочої поверхні матриці (м²):

$$F = \Sigma f l k_f, \quad (3.26)$$

де k_f - довідниковий коефіцієнт живого перерізу плоскої матриці ($k_f = 0,035 \dots 0,140$).

Сумарний живий переріз формувальних матричних філь'єр:

$$\Sigma f = [Pk/\gamma\rho][(100 - W_c)/(100 - W_T)], \quad (3.27)$$

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

З метою визначення номінальної товщини h матриці проводимо розрахунок на міцність

$$h = b \sqrt{A_{p\Pi}/[\sigma]}, \quad (3.28)$$

де b - ширина матриці, м;

P_{Π} - тиск пелетування, МПа;

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

$A_{p\Pi}$ - емпіричний коефіцієнт ($A=1,4 \dots 13,7$).

Ця формула 3.28 є базовою для можливості проведення рядку 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 філь'єр, доцільно приймати з урахуванням наявності 10 % пресових відходів (кінцівок, обривів, руйнованих гранул).

3.5. Продуктивність матричного вузла

Визначаємо за формулою [20, 21]:

$$Q_{nv} = k\pi \cdot D \cdot L \cdot g, \quad (3.29.)$$

де D - діаметр внутрішній матриці, м;

L - довжина робочої поверхні, м.

k - коефіцієнт, що враховує завантаженість робочої поверхні матриці гранулятора; $k = 0,8$;

g - питоме розрахункове навантаження, що приймається залежно від виду сировини, кг/с на м² робочої поверхні матриці .

Враховуючи, що продуктивність нашого гранулятора складає 200 кг/год., виберемо машину за площею F пропускної ситової поверхні матриці.

$$F = \frac{Q}{k \cdot g}, \quad (3.30.)$$

З конструктивних міркувань приймаємо довжину перфорованої поверхні матриці $L = 0,06$ м.

Визначаємо внутрішній діаметр матриці [20, 21]:

$$D = \frac{F}{\pi L}, \quad (3.31.)$$

$$D = \frac{0,81}{3,14 \cdot 0,06} = 0,43 \text{ м.}$$

Приймаємо $D \approx 0,40$ м.

Таким чином, продуктивність прийнятої виробничої лінії гранулювання технологічної лінії задовольнятиме гранулятор з наступними параметрами внутрішньої перфорованої поверхні матриці: $L = 60$ мм, $D = 406$ мм.



Рис. 3.4. Загальний вигляд удосконаленого матричного вузла гранулятора

3.6. Пропозиції удосконалення гранулятора з плоскою матрицею

- 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 проштовхування біомаси крізь філь'єри матриці. Привод гранулятора залишився незмінним;
- збільшення навантаження при грануляції 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'єри з формою вхідної частини у вигляді евольвенти кола у поперечному перетині;
- пресувальному вузлу передбачено встановлення стандартного вузла дистанційного автоматичного управління з постійним зазором роликів.

Розділ 4.

РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ БЕЗПЕЧНОЇ ПРАЦІ

4.1. Організація праці на робочому місці оператора гранулятора

Організація праці на робочому місці – це комплекс заходів, що забезпечують трудовий процес та ефективне використання знарядь виробництва і предметів праці.

Робоча поза. Правильно вибрана робоча поза сприяє зменшенню втоми та збереженню працездатності працівника (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Характеристика робочих поз працівника

Робоча поза	Зусилля, Н	Рухливість під час роботи	Радіус робочої зони, мм	Особливості діяльності
Сидячи - стоячи (позмінно)	50... 100	Середня (можливість періодичної зміни пози)	500...750	Достатньо великий огляд і зона досяжності рук
Сидячи	до 80	Обмежена	380...500	Невелика статична стомлюваність, спокійне положення рук, можливість виконання точної роботи
Стоячи	100...1 20	Велика (вільність пози і рухів)	750 та більше	Краще використовування сили, більший огляд; передчасна стомлюваність

Робоча поза може бути вільною або заданою. Вільна поза роботи означає можливість працювати позмінно сидячи і стоячи. Це найзручніша поза, бо дає змогу чергувати навантаження м'язів і зменшує загальну втому.

Задані робочі пози - сидячи або стоячи. Робоча поза «сидячи» найзручніша, вона може застосовуватися для робіт з невеликими фізичними зусиллями, з помірним темпом, що потребують великої точності. Пози «стоячи» є найтяжча, бо потребує витрачання енергії і на виконання роботи, і на підтримку тіла у вертикальному чи похилому положенні, що зумовлює швидке стомлення.

Робоче місце – це зона, оснащена технічними засобами, в якій відбувається трудова діяльність працівника чи групи працівників.

Організація праці на робочому місці полягає у виборі робочої пози та системи робочих рухів, визначення розмірів робочої зони та розміщення у ній органів керування, інструментів, заготовок, матеріалів, пристроїв та ін., а також у виборі оптимального режиму праці та відпочинку.

Система робочих рухів. Основним принципом у виборі системи робочих рухів є принцип «економії рухів», який сприяє підвищенню продуктивності праці і, водночас зменшенню стомлюваності, кількості помилок і травматизму.

Принципи «економії рухів» полягають у такому: обидві руки повинні починати і закінчувати рух одночасно; руки не повинні бути бездіяльними, окрім періодів відпочинку; рухи рук повинні виконуватися одночасно у протилежних і симетричних напрямках; найкращою є така послідовність дій, яка вміщує найменше число елементарних рухів; руки треба звільняти від усякої роботи, яка може успішно виконуватися ногами чи іншими частинами тіла; за змоги об'єкт праці має закріплюватися за допомогою спеціальних пристроїв, щоб руки були вільні для виконання операцій.

Робота має організовуватися так, щоб ритм робочих операцій був, за змоги, чітким і природним, а послідовність рухів такою, щоб один рух легко переходив у інші. Рух менш втомлювальний, якщо він відбувається у напрямку, що збігається з напрямком сили тяжіння. Різкі коливання швидкості та невеликі перерви в русі мають бути виключені.

Варто також враховувати низку положень щодо швидкості руху рук людини: там, де потрібна швидка реакція, треба використовувати рух «до себе»; швидкість руху зліва направо для правої руки більша, ніж у зворотному напрямку; обертові рухи у 1,5 разу швидші, а ніж поступальні; плавні криволінійні рухи рук швидші, а ніж прямолінійні з миттєвою зміною напрямку; рухи з великим розмахом швидші; рухи, орієнтовані механізмами, швидші, а ніж рухи, орієнтовані «на око»; рухи слід обмежувати обмежувачами скрізь, де це можливо. Треба також уникати рухів, метою яких є точне встановлення вручну, наприклад, збіг двох рисок мікрометра; вільні ненапружені рухи виконуються швидше, легше і точніше, а ніж вимушені рухи, що визначаються певними обмежувачами; точні рухи краще виконувати сидячи, а ніж стоячи. Максимальна частота рухів руки (під час згинання та розгинання) – близько 80; ноги – 45, корпусу – 30 раз на хвилину, а пальця – 6 раз і долоні – 3 рази на секунду.

Оснащення робочого місця. Оснащення та обладнання робочого місця залежить від виконуваної роботи (технологічних операцій), від характеру роботи (розумова, фізична, тяжка, монотонна) та від умов праці (комфортні, нормальні, несприятливі).

Безпосередньо на робочому місці потрібно передбачати інформаційне устаткування та органи управління, а також технологічне оснащення (опорні елементи, швидкодіючі затискачі, шарнірні монтажні головки, настільні бункери і касети з гніздами тощо); додаткове обладнання (робочий стіл, сидіння оператора, підставка для ніг, шафа для інструментів та ін.); транспортні засоби (транспортери, підвісні конвеєри тощо.); пристрої для укладення матеріалів, заготовок, готових виробів; засоби сигналізації; засоби безпеки.

Робоче місце працівника (особливо оператора) характеризує два поля: інформаційне поле (простір із засобами відображення інформації) і моторне поле (простір з органами управління та об'єктом праці).

В інформаційному полі зорового спостереження вирізняють три зони (рис. 4.1): у зоні 1 розміщують засоби відображення інформації, які використовуються дуже часто і потребують точного та швидкого зчитування інформації; у зоні 2 –

засоби інформації, які використовуються часто і потребують менш точного і швидкого зчитування інформації; у зоні 3 – засоби відображення інформації, які використовуються зрідка.

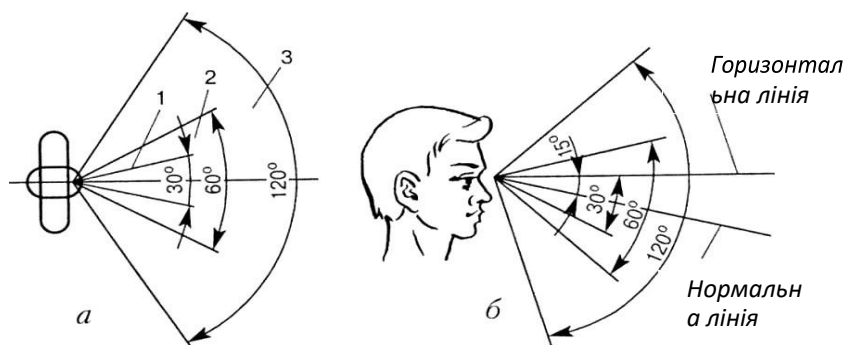


Рис. 4.1. Зони в полі зорового спостереження:

а-в горизонтальній площині; б - у вертикальній площині

В моторному полі також вирізняються три зони (рис. 4.2): 1 - зона оптимальної досяжності, в якій розміщують дуже важливі і дуже часто використовувані (більше 2 раз за хвилину) органи управління; 2 - зона легкої досяжності, в якій розміщують часто використовувані (2 рази за хвилину) органи управління; 3 - зона досяжності, в якій розміщують рідко використовувані (менше 2 раз за хвилину) органи управління.

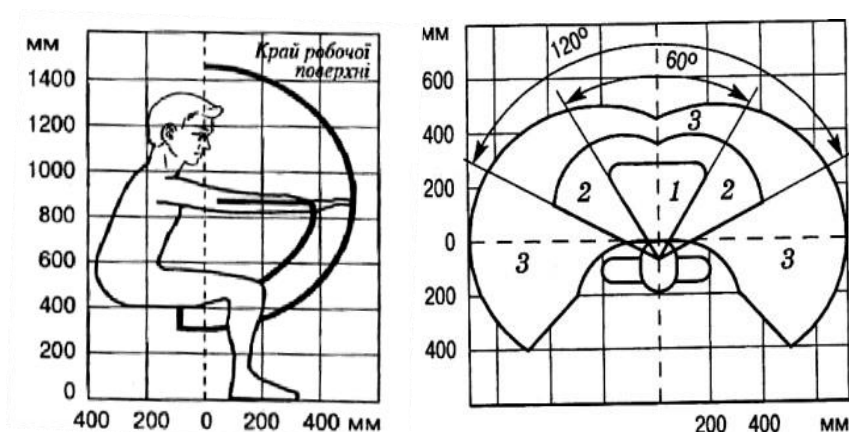


Рис. 4.2. Зона в моторному полі за виконання ручних операцій і розміщення органів управління у робочій позі «сидячи»: 1 - зона оптимальної досяжності; 2 - зона легкої досяжності; 3 - зона досяжності

Зони в моторному полі при виконанні робочих операцій при робочій позі «стоячи» наведені нижче (рис. 4.3).

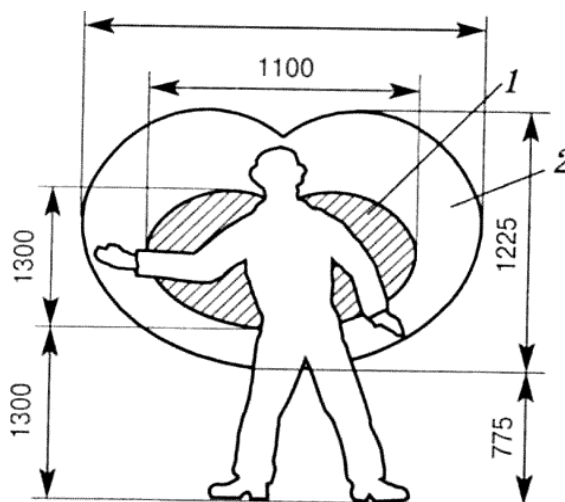


Рис. 4.3. Зони в моторному полі за виконання ручних операцій у робочій позі «стоячи»: 1 - оптимальна робоча зона; 2 - зона досяжності рук за фіксованого положення ніг

Вимоги виробничої санітарії до робочого місця:

- обладнуватися необхідними засобами колективного захисту;
- укомплектовуватися необхідними засобами індивідуального захисту;
- мати параметри санітарно-гігієнічних факторів такими, що не перевищують гранично допустимих значень нормативних документів.
- мати достатнє природне та штучне освітлення;
- мати параметри мікроклімату відповідно до санітарних норм;
- мати вентиляцію.

4.2. Заходи безпечної праці на твердопаливному виробництві

З метою покращення умов охорони праці вся відповідальність покладається на адміністрацію підприємств, а саме щоб 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 ділянках пелетного підприємства невраховуючі характер, походження і ступінь небезпеки процесів та кваліфікації, виробничого стажу осіб, які виконують роботу (ДЕРЖСТАНДАРТ-12.004.-97)

Одним із напрямків розвитку альтернативної енергетики є виробництво паливних гранул (пелет). Сировиною для їх виробництва є побічна продукція аграрних підприємств та лісової промисловості. Гранули виробляють з відходів аграрних і деревообробки, що зменшує їх вартість і вирішує проблему утилізації відходів. Тому виробництво пелет в Україні в останні роки стало популярним і постійно збільшується [32].

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. 4.4. Цей розділ присвячено питанням оцінювання ризику пожеж, травмування і професійної захворюваності працівників на виробництві рослинних пелет [32].

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 дробарці; 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 [32].

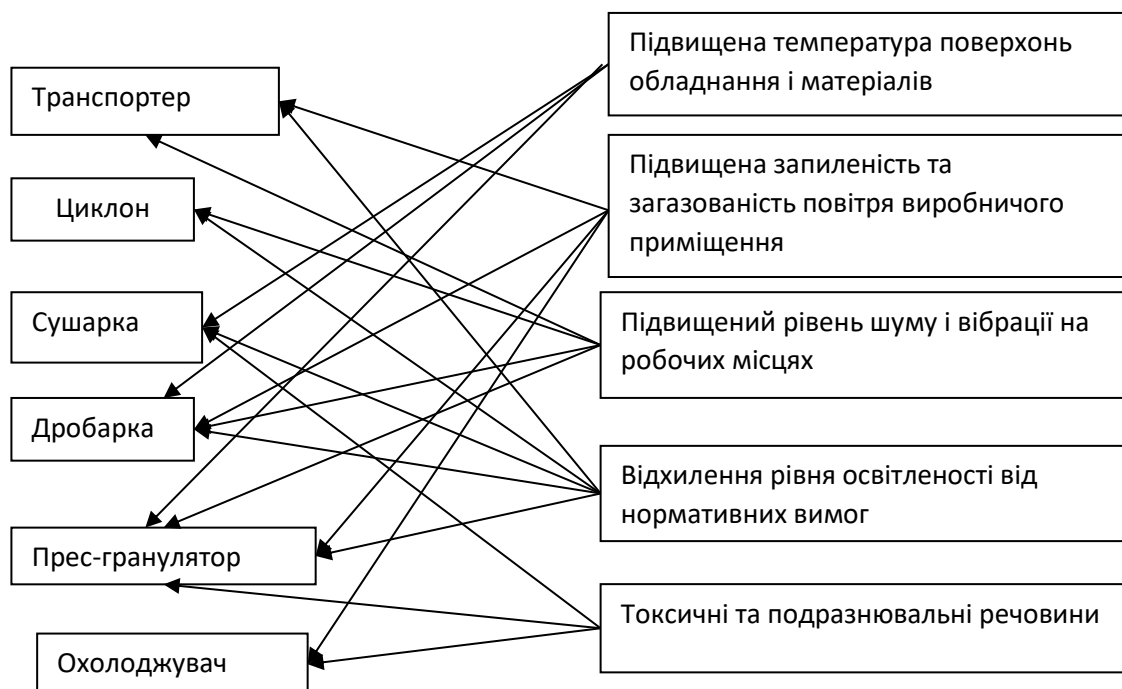


Рис. 4.4. Блок-схема небезпек, характерних для технологічно обладнання пелетного виробництва

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°C і більше та енергію близько 40 мДж, які є можливими джерелами займання. Вони не мають яскраву світимість, тобто це „темні” (чорні) частинки, які потрапляючи на подрібнену висушену сировину викликають її самозаймання. Ці частинки є набагато небезпечнішими іскор з температурою понад 1000°C [32].

Виявленню небезпечних гарячих „темних” частинок сприяє встановлення на технологічне обладнання спеціальних детекторів, наприклад, датчика GD (400°) 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°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[32]. 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 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 [32].

Вібрація і шум в пелетних 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.

4.3. Норми і вимоги до виробничого середовища

Інтенсивний розвиток енергоємних виробництв, пов'язаних з переробкою природної сировини, активна хімізація сільського господарства і багатьох галузей промисловості породили складні екологічні проблеми. У сучасній екології важливе місце займає розробка питань взаємодії людини і біосфери.

Небажаний вплив підприємств нашої галузі на навколишнє середу пов'язане з низкою факторів, серед яких найбільш значущими є:

- забруднення прилеглої території пилоподібними відходами; при встановлених аспіраційних устаткуваннях це практично виключається;
- шум, що виник при роботі технологічного і допоміжного устаткування, особливо при роботі подрібнювальних машин і повітродувок; слід приймати спеціальні заходи для його зниження;
- вібрація, при сучасних методах монтажу обладнання та зведення промислових будівель не відчувається навіть в виробничому корпусі;
- скидання в каналізацію неочищених стічних вод з виробництва.

Однак повністю визнати екологічно чистими наші переробні підприємства не можна. При розміщенні їх серед житлових масивів шум все таки турбує жителів розташованих поблизу будинків, але в іншому вони екологічної небезпеки не являють.

Виробниче приміщення повинно 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.

Вимоги до виробничих приміщень. Вибір типу приміщення визначається технологічним процесом та можливістю боротьби з шумом, вібрацією і забрудненням повітря. Виробничі приміщення відповідно до вимог чинних нормативів мають бути забезпечені достатнім природним освітленням. Обов'язковим є являється також улаштування ефективної за екологічними і санітарно-гігієнічними показниками вентиляції.

Висота виробничих приміщень повинна бути не менше 3,2 м, а об'єм і площа 15 м³ та 4,5 м² відповідно на кожного працівника (для користувачів

комп'ютерів на одного працюючого повинно бути не менше: площі - 6 м^2 і об'єму - 20 м^3).

Приміщення чи дільниці виробництв з надлишками тепла, а також зі значними виділеннями шкідливих газів, пару чи пилу слід, як правило, розміщувати біля зовнішніх стін будівель, а у багатоповерхових будівлях – на верхніх поверхах.

Підлога на робочих місцях має бути рівною, теплою, щільною та стійкою до ударів, мати неслизьку та зручну для очистки поверхню; бути стійкою до дії хімічних речовин і не вбирати їх.

Стіни виробничих та побутових приміщень мають відповідати вимогам шумо- і теплозахисту; легкому піддаватись прибиранню та миттю; мати покриття, що виключає можливість поглинення чи осадження отруйних речовин (керамічна плитка, олійна фарба).

Приміщення, де розміщені виробництва з виділенням шкідливих та агресивних речовин (кислоти, луги, ртуть, бензол, сполуки свинцю та ін.), повинні мати стіни, стелю та конструкції, виконані і оздоблені так, щоб попереджувалась сорбція (осідання) цих речовин та забезпечувалась можливість очищення та миття цих поверхонь.

У приміщеннях з великим виділенням пилу (шліфування, заточка тощо) слід передбачити прибирання за допомогою пиłosосів чи гідро-змивання.

Колір інтер'єрів приміщень має відповідати вимогам технічної естетики.

Вимоги до допоміжних приміщень та будівель. До допоміжних відносяться приміщення та будівлі адміністративні, санітарно-побутові, громадського харчування, охорони здоров'я, культурного обслуговування, конструкторських бюро, для учбових занять та громадських організацій.

Допоміжні приміщення різного призначення слід розміщувати в одній будівлі з виробничими приміщеннями або прибудовах до них у місцях з найменшим впливом шкідливих факторів, а якщо таке розміщення неможливе, то їх можна розміщувати і в окремих будівлях. Висота поверхів окремих будівель, прибудов чи вбудов має бути не меншою $3,3 \text{ м}$, висота від підлоги до

низу перекрить – 2,2 м, а у місцях нерегулярного переходу людей – 1,8 м. Висота допоміжних приміщень, що розміщені у виробничих будівлях, має бути не меншою 2,4 м.

Площа допоміжних приміщень має бути не меншою ніж 4м² на одне робоче місце у кімнаті управління і 6 м² - у конструкторських бюро; 0,9 м² на одне місце в залі нарад; 0,27 м² на одного співробітника у вестибулях та гардеробних.

До групи санітарно-побутових приміщень входять: гардеробні, душові, туалети, кімнати для вмивання та паління, приміщення для знешкодження, сушіння та знепилювання робочого одягу, приміщення для особистої гігієни жінок та годування немовлят, приміщення для обігрівання працівників. У санітарно- побутових приміщеннях підлоги мають бути вологостійкими, з неслизькою поверхнею, світлих тонів, стіни та перегородки – облицьовані вологостійким, світлих тонів матеріалами на висоту 1,8 м.

В гардеробних приміщеннях для зберігання одягу мають бути шафи розмірами: висота 1650 мм, ширина 250-400 мм, глибина 300 мм. Кількість шаф має відповідати спискові кількості працівників.

4.4. Пилоутворення і вибухонебезпечність на пелетних комплексах

Всі транспортні та технологічні процеси зберігання та переробки відходів біомаси супроводжуються значними пиле-виділеннями. 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.

4.3.1. Заходи щодо запобігання та локалізації пилових вибухів. Все технологічне та транспортне устаткування повинно мати аспіраційно обладнанням (витяжки). При надійній та ефективній роботі аспіраційних установок забезпечується оптимальний повітряний режим в машинах за межами нижчої вибухонебезпечної концентрації пилу.

Аспіраційно 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 герметизовано, а фільтри і циклони надійно працювати. Крім систематичного очищення від пилу повітроводів і пиле-відхідників, 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 деревної біомаси перед надходженням в переробку потрібно очищати від металевих і мінеральних домішок. Приймальні бункери, куди надходять деревні 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.

Розділ 5.

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЙНИХ УДОСКОНАЛЕНЬ ГРАНУЛЯТОРА

5.1. Економічні розрахунки удосконаленого 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:

$$Q = 2\pi b\rho z R^2 \beta (1 - \beta) \left(1 - \cos \frac{\gamma}{\beta}\right) \omega ; \quad (5.1)$$

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

$\rho = 1400$ кг/м³ - щільність біомаси;

$z = 3$ - кількість пресувальних роликів;

$R = 0,2$ м - радіус матриці;

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

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

ω = кутова швидкість обертання роликів, с⁻¹.

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

Приймаємо розрахункову продуктивність прес-гранулятора 200 кг/год .

Визначаємо ціну удосконаленого пристрою:

$$Ц_{с.г} = \left(\frac{12500}{430} \cdot 435 + 280\right) = 32925 \text{ грн} \quad (5.2)$$

де $Ц_{с.г}$ - ціна удосконаленого прес-гранулятора, грн.;

$Ц_{с.м} = 32500$ грн - ціна базового прес-гранулятора;

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

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

$V = 780$ грн – вартість корпусних деталей;

Визначаємо загальні капіталовкладення, враховуючи їх установку в технологічній лінії:

$$K_3 = B_B(K_T + K_M) + Z_{\Pi} = 20500(1,12 + 1,3) + 30 = 47950 \text{ грн} \quad (5.3)$$

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;

$Z_{\Pi} = 30$ грн – затрати на підключення та прокладання.

Визначаємо прямі експлуатаційні витрати за залежністю:

$$C = C_0 + C_{ел.ен} + C_p + C_{м.м} + C_a \quad (5.4)$$

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:

$$C_0 = \frac{N \cdot S}{Q} = \frac{1 \cdot 184}{0,15} = 1226,67 \text{ грн/т.} \quad (5.5)$$

де $N = 1$ – кількість робітників;

$S = 184$ грн/год. - оплата праці одного робітника за годину роботи;

$Q = 0,15$ т/год – продуктивність прес-гранулятора;

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

$$C_a = \frac{B_B \cdot X}{100 \cdot Q_p} = \frac{20500 \cdot 12}{100 \cdot 294} = 8,3 \text{ грн/т} \quad (5.6)$$

де B_B – балансова вартість пристроїв, грн.;
 $X = 12 \%$ - відсоток амортизаційних відрахувань;
 Q_p – наробіток удосконаленого гранулятора за 1 рік;

$$Q_p = n \cdot k \cdot T \cdot Q = 265 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 0,2 = 848 \text{ т.} \quad (5.7)$$

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:

$$C_p = \frac{B_B \cdot A_1}{100 \cdot Q_p} = \frac{20500 \cdot 14}{100 \cdot 848} = 14.5 \text{ грн/т} \quad (5.8)$$

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

Витрати на електроенергію за 1 годину роботи:

$$C_{\text{ел.ен}} = \frac{C_{\text{ел.ен}} \cdot P_{\text{ел.дв}}}{Q} = \frac{1,48 \cdot 7,5}{0,2} = 147 \text{ грн/т} \quad (5.9)$$

де $C_{\text{ел.ен}} = 5,48 \text{ грн.}$ – 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:

$$C_{\text{м.м}} = 48 \cdot 0,5 = 24 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Отже прямі експлуатаційні витрати складають:

$$C = 253 + 147 + 14.5 + 8,3 + 24 = 426,8 \text{ грн/т.}$$

Визначимо кількість виготовленої продукції на удосконаленому грануляторі за зміну (за 1 добу):

$$P = Q \cdot T = 0,2 \cdot 8 = 1,6 \text{ т.} \quad (5.11)$$

Визначимо добовий прибуток:

$$\Pi = P \cdot C_r = 1,6 \cdot 2800 = 4480 \text{ грн} \quad (5.12)$$

де $C_r = 4800$ грн –орієнтовна ціна паливних біо паливних гранул.

Термін окупності капіталовкладень удосконаленого гранулятора:

$$t = \frac{C_{с.г}}{\Pi} = \frac{32925 \cdot 1,2}{4480} = 0.8 \text{ рік.} \quad (5.13)$$

Отримані результати обчислень заносимо у таблиці 5.1 і 5.2.

Таблиця 5.1. Порівняльна техніко-економічна характеристика

Найменування	Прототип	Проект гран-р
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 5.2. 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 гранул, 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 гранул з біомаси, грн./т	2389
10	Ціна реалізації гранул з біомаси, грн./т	2800
11	Прибуток річний, грн.	349390
12	Строк окупності лінії, років	1,4

ВИСНОВКИ

1. До техніко-технологічних переваг грануляторів з плоскою матрицею належать наступні:

- подача сировинної біомаси відбувається, як правило, під власною вагою сировини (самопливом)
- відносно великі розміри робочої зони грануляції сприяють безупинній роботі на предмет забивання робочих елементів;
- крутний момент електромеханічного привода надходить до головного валу і до роликів прямим з'єднанням;
- ролики перекочуються з раціональною швидкістю 2,5-2,8 м/с, що сприяє достатній усадці і деаерації сировини;
- на поверхні матриці перед роликами створюється достатній для підвищення продуктивності матричного вузла шар сировини;
- робочий нормований зазор 2-3 мм між роликами і поверхнею матриці піддається регулюванню без зупинки гранулятора, що суттєво підвищує технологічну і економічну ефективність в цілому.

2. Аналіз технологій підтверджує гіпотезу про доцільність виробництва гранульованого біопалива. Зокрема грануляційним засобом, таким як плоско матричний гранулятор GC-РК 260 з елементами технічного удосконалення в умовах господарства досягаються високі техніко-технологічні показники.

3. За результатами кінематичних та технологічних розрахунків отримано наступні параметри: швидкість пресувальних роликів, v - 0,5...0,65 м/с; радіальний зазор між матрицею та роликами, δ - 2,5...3,0 мм; ущільнююча сила до біомаси при перекочуванні роликами, P становить 780 Н.

4. За результатами інженерних розрахунків отримані наступні технічні параметри робочих елементів матричного вузла:

- діаметр технологічного каналу (філь'єри) – 6 мм;
- кут між осями каналів для грануляції - 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.

5. Пропозиції щодо удосконалення матричного 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 проштовхування біомаси крізь філь'єри матриці. Потужність привода гранулятора залишається без змін;
- збільшення навантаження при грануляції створює підвищений знос поверхні матриці, тому приймаємо замість сталі матриці Ст 40Х більш зносостійку сталь – Ст 1Х13;
- для зменшення опору проходження біомаси крізь отвори матриці філь'єри виконані з формою входної частини у вигляді евольвенти кола у поперечному перетині;
- передбачено встановлення вузла дистанційного автоматичного управління для підтримання постійного зазору між роликами і матрицею.

6. Розроблення заходів безпечної праці та пожежної безпеки при роботі на грануляторі передбачає нормативну організація на робочому місці оператора гранулятора, заходи безпечної праці на усьому твердопаливному виробництві, дотримання норм і вимог до виробничого середовища, обмеження пилоутворення і вибухонебезпечність на лінії виробництва біопаливних гранул, системні пристрої автоматичного контролю, вчасного виявлення та гасіння іскор і частинок тління з енергією до 40 мДж та температурою до 470°C.

7. Отримані показники техніко-економічного оцінювання проєкту свідчать про доцільність і ефективність розроблених заходів, а саме: продуктивність плоско-матричного гранулятора в результаті удосконалення підвищена у 1,2 рази; загальні експлуатаційні витрати знижені на 9-12%; приведені витрати виробництва за рік зменшені на 420 грн./т., прибуток виробництва біо паливних гранул дорівнює 349 тис. грн. за рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yeremenko O.I., Zubok T.O. Scientific and technical aspects of granulation of energetic willow tree. Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences, 2019, Volume 30 (69), № 3, pp. 16-22.
2. Дубровін В.О., Єременко О.І., Виговський С.М., Чорний Р.М. Методика розрахунку параметрів матриці твердопаливних грануляторів. Mechanization and electrification of agriculture, 2013, Vol. 98, т. 2, pp. 280-289.
3. Проспекти компаній виробників обладнання для гранульованого біопалива. Режими доступу до журн.: www.bioresurs.com.ua; www.pelletsgold.com/; www.ick.ua; www.alterenergy.info; www.biofuel.in.ua; www.bioresurs.com.ua; www.ivtech.de; www.weima.com.ua
4. 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.
5. Polishchuk, V.M.. Theoretical and experimental justification of the technical and technological system of production and use of biofuel in agriculture. Kyiv: NULES of Ukraine. 2019. 830-.
6. Богомолов О.В., Гурський П.В. Курсове та дипломне проектування обладнання переробних і харчових підприємств: посібник. Харків: Еспада, 2005. 432 с.
7. Muller, O.D., Melekhov, V.I., Ponomareva, N.G., Tyurikova, T.V., Khrustaleva, M.O. Mathematical model of the process of pressing thermally modified bark in drum-type granulators. Forest magazine. 2. 2017. 130-148. doi: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.130.
8. Voicea I., Vlăduț V., Matache M., Danciu A., Voicu Gh. Influence of agricultural and forestry biomass physical characteristics on compacting pelleting process, Proceedings of the 42nd International Symposium on Agricultural Engineering “Actual Tasks on Agricultural Engineering”, Opatija – Croatia, 2014, pp. 387-396.
9. Capareda S. C., Introduction to biomass energy conversions, CRC Press Taylor and Francis Group, 2014.

10. Piskunova L.E., Yeremenko O.I., Zubok T.O., Serbeniuk H.A., Korzh Z.V. Scientific and methodological aspects of solid biofuel production processes in compliance with labor protection and environmental safety measures. *Polityka energetyczna – energy policy Journal*, 2022, Volume 25. Issue 1. 143-154. DOI: 10.33223/epj/144008.
11. Gageanu I., Voicu G., Bunduchi G., Bracacescu C. Experimental research on the process of pelleting *Salix viminalis* depending on humidity and granulation. *Proceedings of 15th International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”*, May 25-27, 2016, Jelgava, Latvia, pp. 624-628.
12. Pocius, A., Jotautiene, E., Mieldazys, R., Jasinskas, A., Kucinskas, V. Investigation of granulation process influence to granulated organic compost fertilizer properties. *Engineering for rural development*. 2014. 407-412.
13. Єременко О.І., Поліщук В.М., Шворов С.А., Скібчик В.І. Розрахунок обладнання для отримання біопаливних гранул і брикетів: монографія. Київ: НУБіП України, 2021. 244 с.
14. Mieldazys R., Jotautiene E., Gaudutis A., Jasinskas A. Comparison of physical mechanical properties of granulated fertilizer produced from composted cattle and dried cow, pig, and poultry manure. *Proceedings of 22nd International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”*, May 24-26, 2023, Jelgava, Latvia, pp. 258-263.
15. Chlopek, M., Hryniewicz, M. Determining the grip angle in a granulator with a flat matrix. *Eksplotacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. 16 (2). 2014. 337–340.
16. Macko, M., Mrozinski, A. Work Parameters Research of Wood Pellet Machine. *Proceedings of the 10th International Conference on Applied Mechanics (23 November 2018, Bydgoszcz, Poland), Scientific Session on Applied Mechanics X*. 020038. doi: org/10.1063/1.5091899.
17. Dubrovin V.O., Polishchuk V.M., Tarasenko S.Ye., Dragnev S.V. *Workshop on bioenergy machinery and equipment*: Kyiv: Agrar Media Group, 2013. 208.

18. Гелету́ха Г.Г., Петро́ва Ж.О., Корі́нчук Д.М., Желе́зна Т.А. та ін. Технології та обладнання для виробництва і споживання альтернативних видів палива. Київ: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2020. 375 с.

19. Штефан Є.В., Риндюк Д.В. Використання методів математичного моделювання для проектування вузлів преса-гранулятора. *Mechanics and computer science*, 2005, pp. 172-175.

20. Олексієнко В.О., Фучаджи Н.О., Червоткіна О.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ ВІДХОДІВ НА РОТОРНИХ ПРЕСАХ З ПЛОСКОЮ МАТРИЦЕЮ. Праці ТДАТУ. Вип. 15. Т. 1. Мелітополь: 2020. С. 234-239.

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

22. Gageanu, I., Cujbescu, D., Persu, C., & Gheorghe, G. Experimental research on evolution over time of fir tree sawdust pellets. In *Engineering for Rural Development. Proceedings of the International Scientific Conference (Jelgava, Latvia)*, 2021, September, No. 20. pp. 1402-1408. DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF300

23. Găgeanu I., Voicu Gh., Vlăduț V., Voicea I. Experimental research on the influence of recipes used on the quality of biomass pellets, *Proceedings of the 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”*, Jelgava, Latvia, 2017, pp. 785-791, ISSN 1691-5976.

24. Патент на корисну модель № 95209 Україна. МПК B01J 2/00. Валець шліцьовий для гранулювання біомаси. О.І. Yeremenko, V.O. Dubrovin, S.M. Vyhovsky. Published. 10.12.2014. Bull. No. 23. 4 p.

25. Патент на корисну модель № 134305 Україна. МПК B30B 11/20. Матрично-роликовий механізм для виготовлення біопаливних гранул. О.І. Yeremenko, O.V. Voynalovych. Published. 05/10/2019. Bull. No. 9. 4 p.

26. Патент на корисну модель № 139677 Україна. МПК B30B 11/20. Фільєра матриці для формування біогранул методом екструзії. О.І. Єременко, О.В. Войналович. Опубл. 10.01.2020, Бюл. № 1. 4 с.

27. [Polishchuk V.M.](#), [Derevianko D.A.](#), [Dvornyk Ye.O.](#) Efficiency of Production and Application of Solid Fuels in Rural Areas. Machinery and Energetics, 2021, 12 (1). 31-38. doi: 10.31548/machenergy2021.01.031.

28. Ungureanu N., Paraschiv G., Ionescu M., Zăbavă B.Șt., Vlăduț V., Grigore I. Production status of biomass pellets – Review, Scientific International Conferences. Annals of the University of Craiova - Agriculture, Montanology, Cadastre, Series, Vol. 46, No. 2. 2016. pp. 574-581.

29. Єременко О., Халін С., Майданович В. МОДИФІКАЦІЯ ВХІДНОЇ ЧАСТИНИ ФІЛЬ'ЕРИ МАТРИЦІ ТВЕРДОПАЛИВНОГО ГРАНУЛЯТОРА. Збірник наукових праць Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для с.-г. України. Дослідницьке: 2024. Вип. 35(49). С. 39-47.

30. O. Yeremenko, S. Khalin, V. Khmelovskyi, T. Zubok, L. Piskunova. IMPROVEMENT OF BIOMASS GRANULATOR MATRIX MECHANISM. Proceedings of 24nd International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”, May 21-23, 2025, Jelgava, Latvia, pp. 536-541. DOI: 10.22616/ERDev.2025.24.TF113

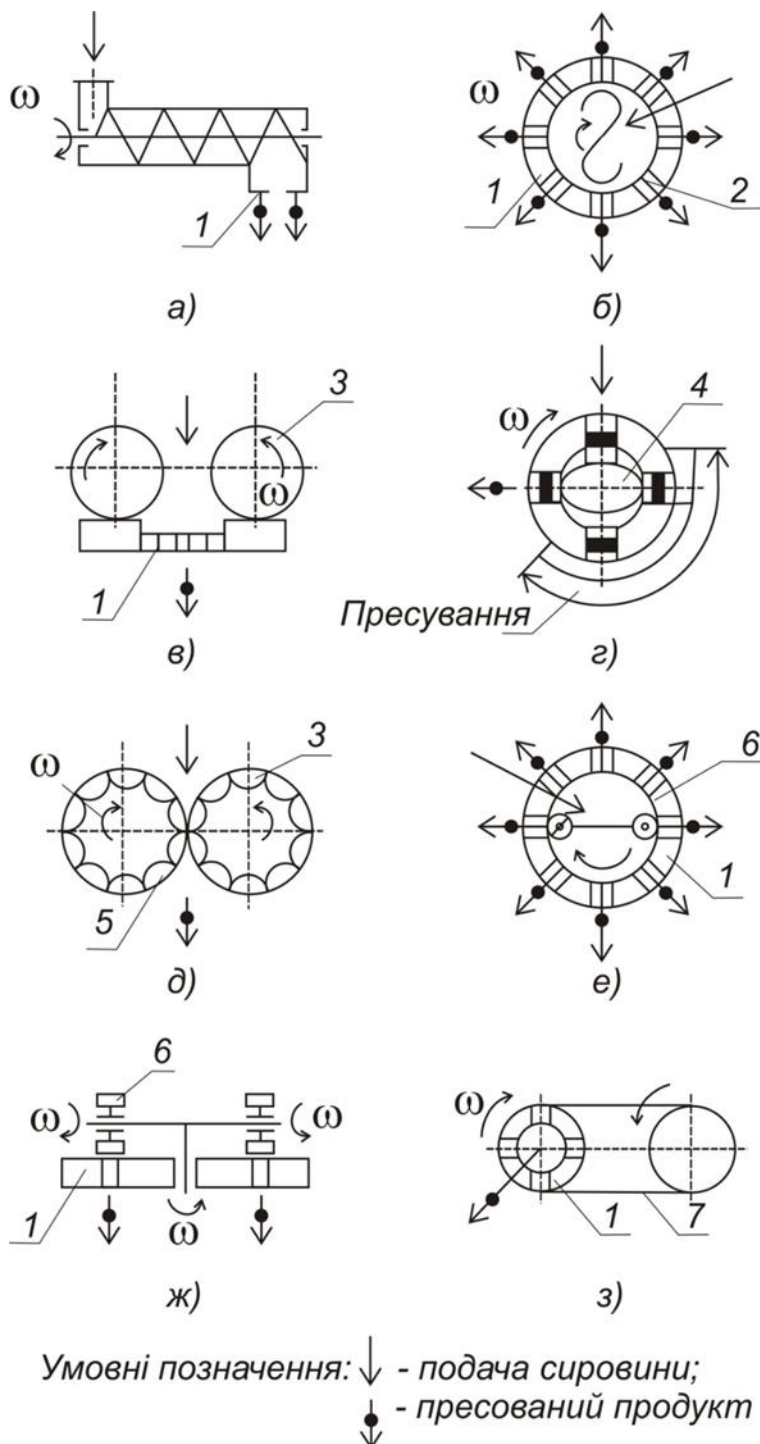
31. O. Voinalovych, O. Yeremenko, T. Zubok, M. Motruch. Components of the system for identification and assessment of occupational risks in agricultural enterprises. 24th International Scientific Conference «Engineering for rural development», Jelgava, Latvia, 21-23.05.2025. Vol. 24. 185-191. DOI: 10.22616/ERDev.2025.24.TF033

32. Войналович О.В., Голопура С.М. Основи охорони праці. Практикум: навч. посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2015. 249 с.

33. Невлюдов І.Ш. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень в інтелектуальному виробництві: підручник. Кривий Ріг: Чернявський Д.О., 2024. 388 с.

ДОДАТКИ

Додаток А – Класифікація грануляторів за типорозмірами робочих елементів



1 – матриця; 2 – лопать; 3 – валець; 4 – ротор; 5 – ролики (вальці); 6 – ролики (катки); 7 – стрічка конвеєра

Додаток Б – Теплоутворення узагальнене твердих видів біопалива

Біологічне паливо	Теплота згорання, МДж/кг
Деревне вугілля	31,5-34,4
Дерешина суха з вологістю 0%	18,4
Дерешина з вологістю 10%	16,3
Дерешина з вологістю 20%	14,2
Дерешина з вологістю 30%	12,1
Дерешина з вологістю 40%	9,9
Кора суха з вологістю 0% (різних порід дерев)	19-23
Кора з вологістю 50%	8,3
Сульфітний щолок (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 тритікале (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 В – Класифікація виконавчих механізмів прес-грануляторів

