

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Механіко-технологічний факультет

УДК 631.3:620.925:331.45

НУБІП України

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві
(назва кафедри)
д.т.н., проф. _____ Хмельовський В.С.
(підпис) (ПІБ)

“ _____ ” 2023 р.

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему **Дослідження завершальних операцій в лінії гранулювання біомаси та обґрунтування комплексу машин за критерієм безпечної праці**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
Освітня програма – Агроінженерія
Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

д.т.н., проф. _____ Братішко В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник магістерської роботи

к.т.н., доцент _____ Єременко О.І.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ Мазій Р.Я.
(підпис) (ПІБ студента)

НУБІП України

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

охорони праці та біотехнічних систем у гваринництві

д.т.н., проф. Хмельовський В.С.
(наук. ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ ” 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

Мазію Руслану Ярославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)
Тема магістерської роботи Дослідження завершальних операцій в лінії гранулювання біомаси та обґрунтування комплексу машин за критерієм безпечної праці
затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 30 ” грудня 2022 р. № 1943 С

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 20 жовтня 2023 р.
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до роботи Техніко-технологічна документація твердопаливних виробництв.
Науково-технічні матеріали щодо процесів сортування паливних гранул з біомаси.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз стану та сучасних технологій виробництва твердого біопалива.
2. Аналіз робочих процесів та конструкцій засобів для сортування біопаливних гранул.
3. Дослідження процесу сортування гранул та розрахунки параметрів сортувальника.
4. Безпека праці та пожежна безпека на виробництві паливних гранул.
5. Бізнес-планування твердопаливного виробництва в умовах господарства.

Перелік обов'язкових слайдів презентації

1. Схема технологічної лінії виробництва паливних гранул в умовах господарства.
2. Схематичне компонування комплексу машин лінії твердопаливного виробництва.
3. Класифікація технічних засобів для сортування паливних гранул з біомаси.
4. Конструктивно-технологічна схема перспективного решітного сортувальника.
5. Структура організації запобіжних заходів з охорони праці на підприємстві.

Дата видачі завдання “30” грудня 2022 р.

Керівник магістерської роботи

(підпис)

Сременко О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Мазій Р.Я.
(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

Завдання до виконання магістерської роботи	4
Реферат	5
Вступ	6
1. Технологічні передумови розвитку твердопаливних виробництв	8
1.1. Перспективи розвитку твердопаливної енергетики	8
1.2. Сучасні технології та обладнання для енергетичного використання відходів біомаси в Україні	
1.3. Технологічні положення виробництва пелет	
1.4. Фізико-механічні вимоги і властивості паливних виробів з біомаси	
3. Аналіз процесів сортування та вибір перспективного засобу	
3.1. Вихідні вимоги до сортувальників гранульованих виробів	
3.2. Процеси і засоби для сепарування сипких матеріалів	
3.3. Аналіз решітних робочих органів для сортування сипких матеріалів	
3.4. Теоретичні аспекти вібраційних машин для сортування	
3.5. Обґрунтування функціональної схеми сортувальника гранул	
4. Дослідження процесу сортування та обґрунтування параметрів машини	
4.1. Огляд результатів досліджень решітної сепарації	
4.2. Перспективні напрямки досліджень сепарації дискретних матеріалів	
4.3. Методика розрахунків плоско-решітних коливальних машин	
4.4. Розрахунок динамічних параметрів вібратора сортувальника	
4.5. Технологічний і енергетичний розрахунки	
4.6. Технічна характеристика і порівняльна оцінка сортувальника	
5. Заходи з безпеки праці та пожежної безпеки	
5.1. Основні вимоги з охорони праці на твердопаливних підприємствах	
5.2. Розробка заходів безпечної праці	
5.3. Заходи усунення пожежних і вибухових ситуацій	

6. Бізнес-план на виконання замовлення

6.1. Резюме/.....

6.2. Характеристика послуг

6.3. Оцінка сировинної бази регіону

6.4. Оцінка ринку збуту

6.5. Конкуренція

6.5. План виробництва

6.6. Стратегія маркетингу

6.7. Оцінка ризиків

6.8. Фінансовий план

6.9. Стратегія фінансування

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

України

України

України

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему: **Дослідження завершальних операцій в лінії гранулювання біомаси та обґрунтування комплексу машин за критерієм безпечної праці** складається з розрахунково-пояснювальної записки обсягом сторінок машинописного тексту, що включає 28 формул, 25 рисунків, 10 таблиць, 42 використаних джерела, 2 додатки та презентацію на 12 слайдах.

ТЕХНОЛОГІЯ, БІОМАСА, ГРАНУЛЮВАННЯ, ЗАВЕРШАЛЬНІ ОПЕРАЦІЇ, ОХОЛОДЖЕННЯ, СОРТУВАННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ОБґРУНТУВАННЯ, КОМПЛЕКС МАШИН, БЕЗПЕКА ПРАЦІ

Магістерська кваліфікаційна робота має мету підвищення ефективності виробництва паливних гранул з біомаси шляхом дослідження завершальних операцій в лінії гранулювання та обґрунтування комплексу машин за критерієм безпечної праці.

У вступі надані відомості про стан у галузі виробництва твердого біопалива.

У першому розділі проаналізовано технології виробництва пелет, прийнято схему технологічної лінії для умов господарства, обґрунтована актуальність теми.

У другому розділі розраховано технологічну лінію для переробки аграрної рослинної продукції з використанням відходів на біопаливні гранули.

У третьому розділі проведено аналіз процесів і конструкцій сортувальних решітних засобів, обрано перспективний тип для подальших досліджень.

У четвертому розділі проведено дослідження, обґрунтовані основні параметри сортувальника гранул, описано будову і робочий процес машини.

У п'ятому розділі запропоновані заходи з безпеки праці та пожежної безпеки на твердопаливному виробництві та під час роботи на сортувальних машинах.

У шостому розділі розроблено бізнес-план на замовлення та доведена техніко-економічна ефективність розробки.

У висновках представлені результати роботи, висунуті пропозиції щодо підвищення ефективності виробництва паливних гранул з біомаси.

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 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.

Згідно з законопроектами України про стимулювання виробництв різних видів біопалива, а також враховуючи небезпеку світової енергетичної кризи, сучасну екологічну ситуацію і таке ін., необхідно розвивати твердопаливне виробництво з використанням відходів та побічної продукції аграрних та лісових господарств для поповнення паливно-енергетичного місцевого та регіонального ресурсу. Паливні гранули (пелети) в теперішній час інтенсивно набувають поширення в країнах світу.

Рослинні пелети отримують шляхом гранулювання (екструзії) біомаси в прес-грануляторах. В процесі виробництва сировина подається послідовно в подрібнювач, сушарку, гранулятор, де сипкий матеріал пресується і формується в гранули. Під час ущільнення підвищується температура біомаси, а лігнін, що міститься в рослині, розм'якшується і склеює частинки в каналах матриці у щільні вироби циліндричної форми. Готові пелети охолоджують, пакують в упаковки по 12-40 кг. На виробництво 1 т паливних гранул витрачається 4-5 м³ рослинних відходів, а лушпиння соняшнику до 7 м³.

Біопаливні гранули виготовлюють діаметром від 4 мм до 25 мм (діаметр 6...8 мм – євро-стандарт) і довжиною 10...50 мм у відповідності до вимог.

Важливою перевагою застосування пелет також є екологічний фактор, адже 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. У той же час, при згорянні корисних копалин звільняється вуглекислота, зібрана за мільйони років, що призводить до підвищення змісту CO_2 в атмосфері, тобто до антропогенного парникового ефекту.

При використанні біопаливних гранул зменшуються викиди двоокису сірки, що зменшує ймовірність кислотних дощів і загибелі лісів.

Мета магістерської роботи - підвищення ефективності виробництва паливних гранул з біомаси шляхом дослідження завертальних операцій в лінії гранулювання та обґрунтування комплексу машин за критерієм безпечної праці.

Для здійснення мети роботи необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати технології виробництва біопаливних гранул з рослинних матеріалів та обґрунтувати технологічну лінію і комплекс для умов господарства;

- визначити фізико-механічні властивості гранульованих виробів для дослідження процесу сортування продукції;

- провести аналіз технічних засобів для сортування гранул та обрати перспективний тип сортувальника для подальших досліджень;

- дослідити процес сортування паливних гранул з біомаси;

- обґрунтувати основні параметри удосконаленого сортувальника;

- розробити заходи з охорони праці та пожежної безпеки на виробництві;

- визначити економічну ефективність виробництва шляхом бізнес планування.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Розділ 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ ТВЕРДОПАЛИВНИХ ВИРОБНИЦТВ

1.1. Перспективи розвитку твердопаливної біоенергетики

Переважаюча більшість спеціалістів [1-4] сходиться до думки, що посилення проявів парникового ефекту викликано антропогенними чинниками, зокрема, викидами газів, що виникають під час спалювання надрових палив, насамперед нафти, газу, кам'яного вугілля, як залишків колишньої біосфери. На сьогодні людуство отримує близько 80% всієї енергії зі згаданих видів паливних джерел [3-5].

Сталий розвиток цивілізованих країн передбачає боротьбу з парниковим ефектом, що загрожує глобальною екологічною катастрофою. Окрім того, основні копалини нафти і газу вичерпаються до середини XXI століття [2, 4, 5]. Тому інтенсивний пошук і стратегічне впровадження альтернативних видів енергетики у великих масштабах здійснюється протягом останніх двох десятиліть. Перспективним та ефективним енергетичним потенціалом є біологічні палива, які виробляють з сировини органічного походження – біомаси. Біопалива поділяють на три групи: тверде (наприклад, пелети, брикети), рідинне (біодизель, біоетанол), газоподібне (біогаз, біоводень). Використання біопалив не підвищує вміст парникових газів в атмосфері, оскільки викиди двоокису вуглецю під час спалювання дорівнюють видученій його кількості в процесі фотосинтезу [1-7]. Тобто для виробництва енергії фактично використовується перетворена енергія сонця.

Виробництво твердого біопалива не потребує відносно великих інвестицій і може бути організоване як на великих, так і на малих підприємствах. Сировиною для виробництва можуть бути відходи лісозаготівлі та деревообробки, побічні продукти та відходи аграрного виробництва (незернова частина врожаю зернових та їм подібних культур, відходи зернопереробних, круп'яних та олійних виробництв), торф, матеріали енергетичних насаджень [1-7]. Слід відзначити, що на відміну від викопних вуглеводнів, ліс і агропромислова біомаса – це сировина, що швидко відновлюється. Для

НУБІП України

виращування лісу потрібно декілька десятків років, для виробництва сільськогосподарської продукції – всього один рік [7-9].

На агропромислових та переробних підприємствах, починаючи зі збирання врожаю до отримання кінцевої продукції, утворюються побічні продукти і відходи, які займають певні площі і забруднюють довкілля. Сучасні санітарно-екологічні вимоги передбачають суворі обмеження на зберігання відходів, а вивіз їх на звалища потребують суттєвих витрат [3, 6]. Отже, вирішення проблемного питання утилізації згаданих матеріалів повинно здійснюватися на промисловому рівні.

З іншого боку, вторинна біомаса є традиційним паливом, що має відносно високу теплотворність та екологічну безпеку, оскільки при його згоранні утворюється порівняно незначна кількість золи і шкідливих речовин [1, 3-7, 9]. До певного історичного періоду органічне паливо, не могло успішно конкурувати з іншими паливними ресурсами, зокрема природним газом, продукцією нафтопереробки, кам'яним вугіллям тощо. На сьогодні 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 [10].

Біомаса – це сумарна маса організмів в біологічних системах на одиницю площі.

Первинна біомаса – це рослини, тварини, мікроорганізми. Вторинна біомаса – це побічна продукція і відходи переробки первинної біомаси [1, 2].

Щорічний приріст наземної біомаси у світі становить близько 400 млрд т. Енергетичний вміст приросту біомаси еквівалентний 3000 ЕДж (1021 Дж) / рік, що майже у 8 разів перевищує споживання усіх видів енергії. Використання енергії біомаси забезпечує на сьогодні 14 % енергетичних ресурсів, що дорівнює 55 ЕДж / рік або 1,7 ТВт (1012 Вт) [2].

Відновлення органічної речовини в рослинах забезпечується шляхом фотосинтезу. Енергія фотонів сонячного світла перетворюється в енергію збуджених станів електронів пігменту. За рахунок електромагнітних процесів енергія акумулюється в хімічних сполуках. На 1 м² листя рослин за одну годину

синтезується до 1 г вуглеводних енергосмічних речовин. Зеленими наземними рослинами в процесі фотосинтезу зв'язується у вигляді цукрів близько 200 млрд. т вуглецю з атмосфери. Зв'язана хімічна енергія перетворюється в термохімічних процесах, тобто виконується біоенергетична конверсія (рис. 1.1). Основна частина біомаси формується в лісах (приблизно 68%) та в сільськогосподарських виробництвах (8%) [1, 2].

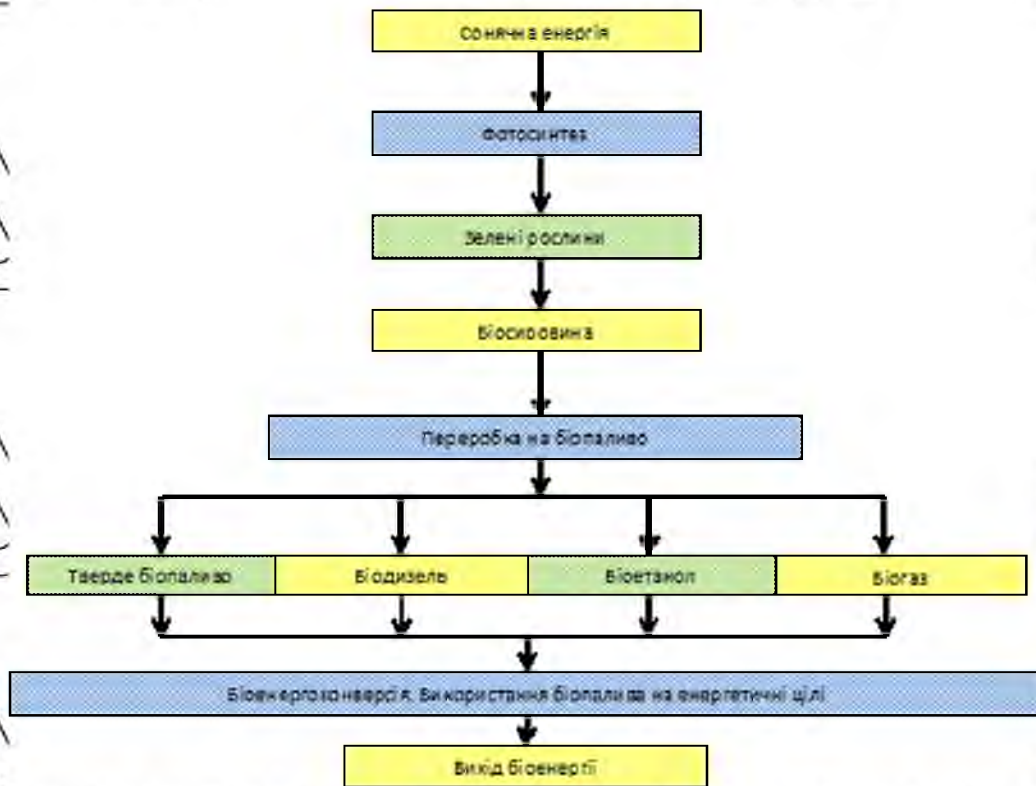


Рис. 1.1. Схема перетворення сонячної енергії в енергетичний ресурс

Відходи сільськогосподарського виробництва, як вторинна біомаса, відповідно до визначення в методичних вказівках (Methods Handbook) проекту Biomass Energy Europe поділяють на дві групи [1, 2, 4-5]:

первинні відходи лісової та аграрної галузі – це ті матеріали, які залишаються як побічні продукти після збору врожаю сільськогосподарських культур, лісозаготівлі. Вони складаються із лісосічних решток, соломи злакових, круп'яних і олійних культур, рослинних залишків кукурудзи, соняшнику та ін.

- вторинні відходи лісової та аграрної галузі, що утворюються в результаті деревообробки, перероблення продукції сільськогосподарського виробництва на промислову харчові продукти чи корми. Це тріска, стружка, тирса та ін. деревообробки, рослинні домішки, залишки зернопереробних та олійних виробництв, жом цукрових буряків тощо.

Економічно доцільний потенціал біомаси для виробництва біопалив в Україні становить 30 млн. т у т./рік [1, 2, 4-5].

За прогнозом Світової енергетичної ради [3] у 2020 р. частка біомаси для енергетичної конверсії (рис. 1.2) становитиме 650-800 млн. т умовного палива (у. п.) на рік. Це складе 42-46 % від загальної частки викопних палив та понад 70 % поновлюваних джерел енергії. Біомаса має теплотворність 10-19 МДж/кг та сприятливі екологічні показники. Частка біомаси у загальній щорічній поставці первинної енергії сягає 10 %, що становить 1 272 млн. т нафтового еквіваленту (н. е.). В багатьох країнах Африки використовують як первинні енергоносії від 45 % до 80 % біомаси, Латинської Америки – 30-40 %, в Індії – до 50 % [1, 2]. Частка біомаси в загальному споживанні енергії в Європейському Союзі (ЄС) на теперішній час становить 7 %, а для отримання тепла (табл. 1.1, рис. 3) – 15 % [7]. Наприклад, частка біомаси в Латвії у валовому внутрішньому енергоспоживанні складає 28 %, в Швеції – 22 %, в Фінляндії – 21 %, в Данії – 17 %, Австрії – 16 %. Проте, у США вклад біомаси в загальне енергоспоживання складає 3,9 %.

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

Країни ЄС	Вид біопалива, відсотки				Всього, ТДж/рік
	тверде	рідке	біогаз	тверді побутові відходи	
Швеція	78	5	1	17	113405
Фінляндія	94	-	2	4	51595
Данія	62	-	3	36	41252
Німеччина	37	1	3	58	37758
Австрія	89	1	2	8	24471
Польща	93	-	7	-	11270

Франція				100	10613
Нідерланди	24	-	3	73	6869
Італія	37	17	12	34	6861
Чехія	56	-	5	39	3703

В Україні сектор енергетики з біомаси і побутових відходів розвивається досить повільно і складає на теперішній час 1,6 млн. т н.е., або 1,3% від 126 млн. т н.е. загального постачання первинної енергії (рис. 1.4). Обсяг споживання теплової енергії в Україні на сьогодні становить 964 млн. ГДж (10^9 Дж), в т.ч. 67% - побутові потреби, 20% - промисловість, 13% - інші галузі. Згідно проекту Енергетичної стратегії України до 2030 р. витрат на теплову енергію зросте до 1135 млн. ГДж [2, 8-10, 14-18].

Наведені загальні положення не несуть вичерпної інформації про сучасний стан та тенденції розвитку виробництва твердого біопалива в країнах світу та Україні. Тому необхідно провести поглиблений системний аналіз для визначення перспективи твердопаливної галузі.

1.2. Сучасні технології для енергетичного використання біомаси в Україні

Зараз в Україні експлуатуються лише кілька сучасних котлів для спалювання біомаси. У держлісгоспах і на деревообробних підприємствах експлуатується значна кількість котлів, спершу спроектованих для спалювання вугілля і мазуту, а потім переобладнаних для спалювання біомаси. Зараз в Україні працює тільки одна теплоелектростанція на біомасі для спалювання соломи потужністю 980 кВт [1, 4].

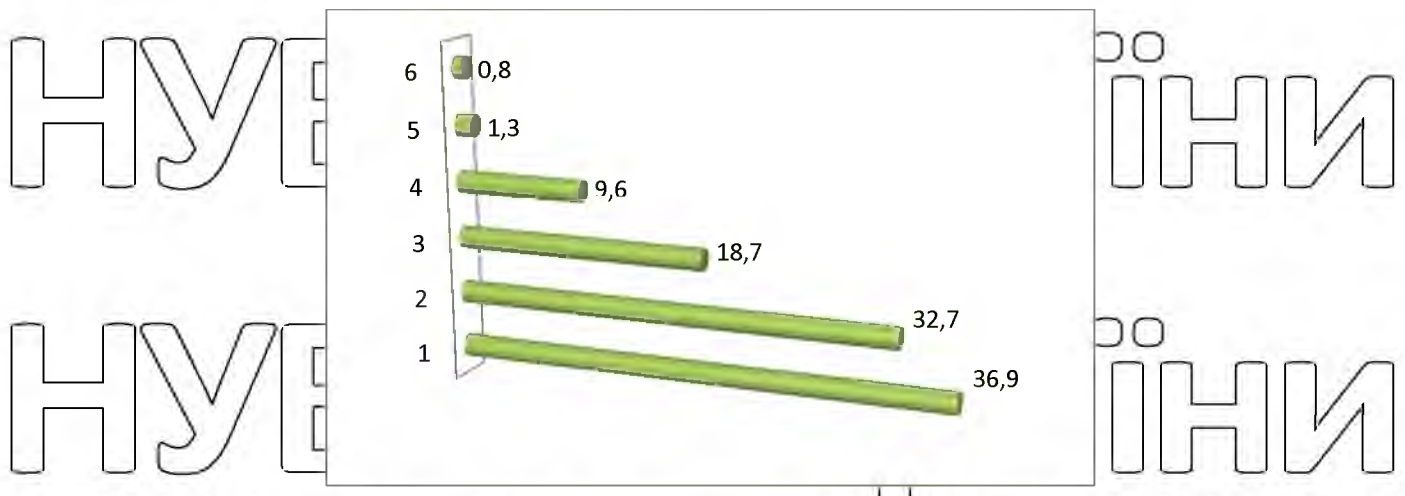


Рис. 1.4. Розподіл у відсотках загального обсягу постачання (126 млн. т н.е.) первинної енергії в Україні: 1 – природний газ; 2 – вугілля; 3 – атомна енергетика; 4 – нафта; 5 – біомаса; 6 – гідроенергетика

В Україні при організації енергетичного використання біомаси в даний час переважає тенденція модернізації існуючих парових та водогрійних котлів. На підприємствах широко впроваджується спалювання відходів біомаси, відходів перероблення сільськогосподарської продукції в існуючих водогрійних та парових котлах потужністю від 1 до 30 МВт. Вибір технології спалювання здійснюється виходячи з характеристик відходів, конструктивних особливостей наявних котлів та котельні, екологічних та економічних вимог, фінансових можливостей підприємства. Розглядаються можливості перетворення котельні на ТЕЦ шляхом встановлення парових турбін з протитиском або з проміжним відбором пари. Щодо реконструкції потужних котлів та котельні найбільший досвід має ВАТ "Оргхарчопром" (м. Київ).

Організації України розробляють біогазові технології та обладнання для анаеробного перероблення стоків целюлозно-паперової, цукрової, спиртової промисловості, гною та стоків тваринництва та птицевництва. Створені технології та обладнання впроваджуються в Росії та Канаді (НВО ім. Фрунзе м. Суми).

В Україні розроблено, виготовлено та поставлено до США систему очищення біогазу зі звалищ перед його подачею в газопроводи природного газу (Інститут газу НАН України, НВО ім. Фрунзе, м. Суми)

НВО "Машпроект" поставило до Канади газотурбінну електричну станцію потужністю 2,5 МВт для використання рідкого палива від установки швидкого піролізу біомаси.

Наведені приклади свідчать про технологічні та технічні можливості підприємств енергомашинобудівного комплексу України щодо створення енергетичних об'єктів з використанням біомаси.

При відповідній державній політиці підприємства України можуть забезпечувати необхідним обладнанням внутрішній ринок і розширювати експортні можливості.

Успішно виконано Дансько-український проект технічної допомоги, у рамках якого в с. Дрозди Київської області було встановлено і введено до експлуатації котел потужністю 980 кВт для спалювання великих тюків соломки.

Капітальні витрати включають вартість котла, допоміжного обладнання, автоматики і системи регулювання, мультициклону, димової труби, а також витрат на монтаж і введення до експлуатації. Вартість будинку котельні і теплових мереж не включена до капітальних витрат. При розрахунках варіювалися такі параметри: річне завантаження котла, вартість палива, вологість палива та інші. Період навантаження котла 8000 год/рік відповідає котлу, що виробляє технологічну пару; 4400 год/рік відповідає котлу, що працює протягом опалювального сезону. У таблиці 1.2 також є результати техніко-економічного обґрунтування для двох котлів для спалювання соломи. Автоматичний котел потужністю 800 кВт виробництва данської

фірми Linka призначений для спалювання соломи-січки. Капітальні витрати складаються з вартості котла, димової труби, споруд, витрат на транспортування та монтаж обладнання. Котел данської фірми PASSAT як паливо використовує великі тюки соломки.

При проведенні розрахунків було прийнято такі параметри:

термін амортизації - 15 років;

НУВБІП України

заробітна платня 0,65 тис. дол./рік - для трьох робітників (1 люд. у зміну) при роботі установки 6 міс/рік; 1,30 тис. дол./рік - при роботі установки 12 міс/рік;

ціна природного газу - 280 дол./ 1000 м куб. (на 2013 рік).

Витрату палива розраховано з урахуванням середньої потужності установки за опалювальний період, що становить 0,89 від номінальної потужності. Собівартість теплової енергії визначалася шляхом розподілу експлуатаційних витрат на річний

виробіток теплової енергії. Термін окупності розраховувався шляхом ділення капітальних витрат на різницю між вартістю зекономленого природного газу й експлуатаційних витрат. При цьому до експлуатаційних витрат не включено амортизацію і прибуток.

У таблиці (див. додаток А) наведено техніко-економічні показники котлів українського виробництва для спалювання біомаси. Однак серійне виробництво зазначених у табл. 1.3 котлів поки не налагоджено, що призводить до необхідності використання котлів іноземного виробництва.

При цьому котли вітчизняного виробництва будуть мати досить малий термін окупності - 1-2,5 року.

Одержання теплової енергії з відходів біомаси і соломи сьогодні є рентабельним для України навіть при використанні імпортних котлів. Найбільш рентабельним є виробництво технологічної пари при великому періоді завантаження установки.

1.3. Технологічні положення виробництва пелет

За результатами досліджень та передового досвіду доведено, що для ефективного спалювання відходів органічного походження 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 [1,4,7]

Сучасні технології, що передбачають пресування заздалегідь подрібнених матеріалів, реалізують ці умови. Вони дозволяють зробити основне виробництво безвідхідним, поліпшити екологічний стан та прибутки підприємства, підвищити культуру виробництва, зменшити витрати на зберігання і транспортування одержаного біопалива порівняно з необробленими відходами [1-10].

В 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. Пелети першого сорту (класу) виготовляються з вищими показниками, а промислові гранули виготовляються з низькосортних матеріалів. Промислові пелети призначені для систем комбінованого виробництва тепла і електроенергії. Вони містять до 5% кори, зольний залишок становить 3-5%. Вологість гранул обох класів не повинна перевищувати 10-14% [1, 5, 9-11]. У Європі в 2002-2010 рр. ціна гранул першого класу становила 200...250 євро за тону, а промислових 75...100 євро за тону [9, 10].

Інтерес до застосування твердого біопалива ще більш зріс в XXI столітті у зв'язку з підписанням в 1997 р. Кіотського протоколу по скороченню викидів парникових газів в атмосферу. Це призвело до розширення номенклатури сировини для виробництва твердого біопалива. В багатьох країнах пелети почали виробляти не тільки з відходів, а зі спеціальних енергетичних посадок, соломи, енергетичних трав, побутових відходів [2-5, 10]. Поступово до виробництва твердого біопалива залучається круглий ліс. В Німеччині в 2006 р. введений в дію перший завод по отриманню паливних гранул з круглого лісу [12], що свідчить про зростаючу потребу в поновлюваних джерелах енергії.

Виробництво енергії з біомаси динамічно розвивається у більшості Європейських країн. На початку століття в країнах ЄС на долю відновлюваних джерел енергії припадало приблизно 75 млн. т нафтового еквіваленту, що становило близько 6 %

загального споживання енергоносіїв. Частка біомаси складала понад 60 %, що еквівалентно 3 % загального споживання первинних енергоносіїв [2, 5, 10]. В окремих країнах частка біомаси в загальному споживанні первинних енергоносіїв значно перевищує середньоєвропейську, а саме: у Фінляндії - 23 % (світовий лідер серед розвинутих країн), у Швеції - 18 %, Австрії - 12 %, Данії - 8 %, Канаді та Німеччині - 6 %, США - 3 % [5, 10].

Німецька компанія Muench-Edelstahl GmbH запропонувала заводи-контейнери по виробництву твердого біопалива [10]. Такий завод може бути змонтований на бетонній підлозі за 3...4 години. Є розробки щодо розміщення лінії гранулювання на автомобільних прасі [8].

Таким чином, актуальність розглянутого напрямку альтернативної енергетики безсумнівна. Окрім того, застосування твердого біопалива покращує екологічну ситуацію порівняно з використанням мінерального пального. Так, при спалюванні біопалива звільняється стільки вуглекислого газу, скільки рослина сприйняла під час вегетації. Також відбувається зменшення викиду двоокису сірки, що сприяє зменшенню кислотних дощів [1, 2, 4, 5, 9, 10].

1.3.1. Технологічні процеси виготовлення твердопаливних виробів. Для

отримання якісних паливних виробів з біомаси, якими є пелети чи брикети, необхідно здійснювати за рекомендаціями фірми BUNLER [9, 10] такі технологічні процеси:

- первинна обробка органічної сировини, що передбачає подрібнення частинок до розмірів не більш 4 мм та доведення вологості матеріалу до 8...14%;

- кондиціонування, що передбачає введення пари або води у біомасу для поліпшення властивостей лігніну;

- пресування у грануляторах шляхом продавлювання сировини роликками крізь філь'ери матриці під тиском до 30 МПа або в брикетних машинах шляхом ущільнення шнековими чи поршневыми робочими органами [13];

- охолодження, тому що температура пелет складає 90...120°C, а брикетів – до 200°C;

сортування охолоджених гранул для відділення дрібної фракції та некондиційних виробів.

Паливні гранули є стандартизованим видом біопалива. Проте, до теперішнього часу, ще не встановлено українського стандарту на паливні гранули, окрім проекту ДСТУ «Брикети та гранули паливні. Технічні умови. Частина 1. Брикети та гранули паливні з деревинної сировини», розробленого в Національному університеті біоресурсів і природокористування України у 2011 р.

Тому вітчизняні виробники орієнтуються на західноєвропейські стандарти. У Германії нормативи (вимоги якості) називаються DIN (Німецький промисловий стандарт). В Європі до недавнього часу користувались німецьким стандартом DIN 51731 і стандартом Австрії O-Norm M 7135. Проте, у зв'язку з приходом на ринок низькосортних паливних гранул, виготовлених в основному за кордоном, з 2002 року в Германії впровадили новий сертифікат DIN plus. Цей сертифікат об'єднав німецький і австрійський стандарти. В таблиці 1 приводяться нормативні показники на пелети країн Німеччини, Австрії і Швеції.

Таблиця 1.4. Показники якості паливних гранул за вимогами сертифікатів країн Європи

Параметр	DIN 51 731, ФРН	O-Norm M 7135, Австрія	DIN plus, ФРН	SS 18 71 20, Швеція
Діаметр, мм	4-10	4/10	00	< 25
Довжина, мм	< 50	< 5 x d	< 5 x d	< 5 x d
Щільність, кг/дм ³	> 1,0-1,4	> 1,12	> 1,12	не має
Вологість, %	< 12	< 10	< 10	< 10
Насипна маса, кг/м ³	650	650	650	> 500
Брикетна пил, %	не має	< 2,3 %	< 2,3 %	не має
Зольність, %	< 1,5	< 0,5	< 0,5	00 < 1,5
Теплота згорання, МДж/кг	17,5-19,5	> 18	> 18	> 16,9
Вміст сірки, %	< 0,03	< 0,04	< 0,04	< 0,08
Вміст азоту, %	< 0,3	< 0,3	< 0,3	не має
Вміст хлору, %	< 0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,03
Миш'як, мг/кг	< 0,8	не має	< 0,8	не має
Свинець, мг/кг	< 10	не має	< 10	00 не має

Хром, мг/кг	< 8	не має	< 8	не має
Мідь, мг/кг	< 5	не має	< 5	не має
Цинк (мг/кг)	< 100	не має	< 100	не має

Державними програмами біоенергетики більшості країн Євросоюзу до 2020 р. передбачено доведення рівня споживання енергії з відновлювальних джерел до 20 % [10, 14].

На теперішній час Європейський Союз є найбільшим виробником і споживачем паливних гранул у світі. Загальний обсяг виробництва паливних гранул в країнах Європи у 2011 р. виріс в порівнянні з 2010 р. на 3 % і досяг у 2011 р. 7,9 млн. т.

Лідерами по виробництву пелет в країнах ЄС виступають Німеччина, Швеція, Австрія, Італія, Фінляндія, Росія. Не дивлячись на те, що європейські підприємства мають суттєвий резерв збільшення обсягу виробництва, країни ЄС імпортують з-за кордону близько 3,5 млн. т пелет. Загальний обсяг споживання твердого біопалива у 2011 р. в Європі становив 11,4 млн. т. Такі крупні споживачі як Німеччина і Австрія повністю покривають потреби місцевих ринків і експортують паливні гранули споживачам в інших країнах ЄС [10, 14].

За попередніми підрахунками [1, 10, 14] невикористаний потенціал щорічно відновлюваного твердого біопаливного ресурсу в Україні досягає 30 млн. т, у т.ч.:

- дрова, лісосічні рештки та відходи деревообробки – 2,5... 3 млн. т;
 - рослинна біомаса агропромислового виробництва (солома) – 25... 27 млн. т.
- За теплотворною здатністю це еквівалентно 10-12 млрд. м³ природного газу.

Дані з таблиці 1.5 свідчать про те, що у деяких пробах волога перевищує 10 %. Це може бути чинником руйнування пелет і брикетів в процесі їх транспортування. Нормована європейськими стандартами величина зольності (0,5 %) практично недосяжна для вітчизняних виробників, лише деякі проби витримують вимоги стандартів DIN 51731 і SS 187120. За вмістом загальної сірки в товарній продукції вітчизняні виробники витримують вимоги (менше 0,04 %). Теплота згорання твердого

біопалива, в основному, перевищує нормативні значення європейських технологічних стандартів.

Таблиця 1.5. Характеристика якості зразків твердопаливних виробництв України

№ з/п	Найменування проби	Вологість, W, %	Зольність, A, %	Вміст сірки, S, %	Нижча теплота згорання, Q, МДж/кг
1	Пелети з деревної тирси	6,7-11,7	1,0-4,3	сліди	15,90-18,30
2	Брикети з деревної тирси	4,2-9,9	1,1-3,6	сліди	17,85-18,38
3	Пелети з лузги соняшника	6,6-10,6	2,3-4,1	сліди	16,79-18,69
4	Пелети з висівок пшениці	14,0	6,9	сліди	15,94
5	Брикети з лузги соняшника	2,8-11,5	3,1-5,0	сліди	16,60-18,94
6	Брикети з оболонки гречки	8,1	1,9	сліди	17,33
7	Брикети промислові	9,0	1,6	сліди	16,87

На якість паливних гранул суттєво впливають вологість, ступінь подрібнення і фізико-хімічні властивості сировини. При вологості сировини понад 14 % зменшується щільність гранул і внаслідок винарковування вологи в гранулах виникають тріщини, що знижують їх міцність. Зі зменшенням середніх розмірів частинок біомаси до 2 мм [8, 9] якість паливних виробів зростає. Проте існує спірна думка, що дрібна біомаса сприяє зношуванню матриць [10].

Найбільшої міцності набуває біомаса, що пресується при температурі понад 150°C. Верхньою межею температури пресування є 250°C, коли розпочинається реакція піролізу, тобто відбувається часткове розкладання біомаси [13-15]. За даними компанії California Pellet Mill [9, 10] оптимальна температура гранулювання має бути 88...102°C, тому що забезпечується плавлення лігніну при 90°C і відсутнє утворення водяної пари, що розриває гранули.

При гранулюванні біомаси насипна щільність продукції збільшується з 100 до 650 кг/м³. Щільність гранул становить 1120...1700 кг/м³. Гранули повинні зберігатися при вологості не більше 10%. Це забезпечує потрібну стандартом теплоту згорання гранул 18 МДж/кг [9, 11, 13].

Найбільший виробник паливних гранул в Україні – компанія “Пелет-енерго Україна” (Житомирська обл.). Компанії належить біопаливний завод потужністю 50 тис. т продукції в рік, вона є членом Асоціації учасників ринку альтернативних видів палива і енергії України (АПЕУ) [10, 14].

1.4. Фізико-механічні вимоги до паливних гранул з біомаси

Пелетами називають шматочки екструдованого матеріалу, як правило, циліндрової форми, довжина яких приблизно в два рази більше діаметру. Екструдат з розміром поперечного перетину понад один дюйм (25 мм) називають брикетами.

До пелет пред'являють загальні вимоги [5, 7]:

- поверхня гранул має бути гладенькою без тріщин і здуття;
- діаметр гранул має бути 4,6,8,10 мм, причому найбільший і найменший діаметри застосовують рідше;
- довжина гранули не повинна перевершувати 50 мм;
- від гранул повинен виходити легкий солодкуватий запах клею;
- сірий колір указує на довге зберігання гранул, що знижує їх якість;
- світлий колір гранул свідчить про їх хорошу якість;
- темний колір гранул ні є ознакою поганої якості, проте неякісні гранули мають зазвичай темний колір;
- наявність органічного пилу на гранулах є ознакою їх крихкості.

Гранули першого класу мають діаметр 6 мм, щоб забезпечити малу крихкість, промислові гранули можуть мати діаметр до 10 мм.

На якість одержаних гранул впливають вологість, крупність і матеріал напівфабрикату [2]. При пресуванні гранул з відходів, оптимальною є кімнатно-суха вологість напівфабрикату 6-12%. При більшій вологості зменшується щільність

гранул і внаслідок випаровування вологи в гранулах виникають тріщини, що знижують їх міцність.

Зі зменшенням розміру частинок напівфабрикату якість гранул зростає. Щонайкращу якість мають гранули з біомаси. Кускові відходи слід подрібнювати до середньої крупності 0,5... 1,0 мм, причому доля частинок розміром 1,0...5,0 мм не повинна перевищувати 25%. Якнайкраща якість ущільненого напівфабрикату спостерігається у разі, якщо розмір частинок не перевищує 2 мм [2, 5]. Проте існує спірна думка, що дрібна біомаса менше зношує матрицю [7].

Кускові деревні відходи зазвичай мають значно великі розміри: довжина 10...6000 мм, ширина 10...400 мм, товщина 1...100 мм. Тому їх заздалегідь необхідно подрібнити. Подрібнена біомаса за ГОСТ 23246-78 підрозділяється на тріску, стружку, шену, полову, оболонки, стеблові частинки і рослинне борошно [2].

Якщо об'єм кускових відходів невеликий, їх відразу подрібнюють в сировину. Якщо випуск складає більше 3000 т пелет у рік, ефективніше спочатку подрібнювати кускові відходи до тріски, а потім здрібнювати до мульчі, що пов'язано з малопродуктивністю подрібнювачів кусків у сировину [2].

Окрім вологості і крупності частинок на екструзії, так само як і при гранулюванні комбікормів, впливають тиск і час його дії, температура сировини.

Щільність ущільненого напівфабрикату збільшується при збільшенні тиску екструзії і зниженні вологості. При вологості біомаси понад 15% гранули і брикети мають недостатню щільність і відповідно малу міцність [2, 5].

Необхідно витримувати пресовану сировину у формуючій дорожчині під тиском протягом певного часу, щоб відбулася релаксація пружного напруження. Чим вище температура пресованої біомаси, тим менший тиск необхідний, щоб її спресувати до високої якості. При проходженні біомаси по формуючому каналу на її контактній поверхні утворюється міцна і гладка плівка.

Найбільшої міцності набуває біомаса, що ущільнюється при температурі понад 150°C. При меншій температурі екструзії міцність продукції знижується. Верхньою межею температури екструзії є 250°C, коли розпочинається реакція піролізу, тобто відбувається часткове розкладання біомаси [2].

При гранулюванні рослинної біомаси за даними компанії California Pellet Mill оптимальна температура екструзії є від 88 до 102°C. Це пояснюється [5] тим, що повинне забезпечуватися плавлення лігніну, яке відбувається при 90°C, і має бути відсутнім утворення водяної пари, що розриває гранулу.

Споживчі властивості спресованої біомаси визначають їх зольність і теплоту згорання [2]. Сировина має зольність від 0,1 до 1,0%, а у рослинній корі вона досягає 7%. Солома має зольність від 0,5 до 3,0%. Золю використовують як добриво.

Вища теплота згорання біомаси визначається її складом і тому приблизно однакова для всіх порід дерев. У корі теплота згорання вища, ніж у деревині. Нижча теплота згорання вологої біомаси суттєво зменшується зі збільшенням вологості. При вологості 70% вона зменшується більш, ніж в 20 разів [2].

Біопаливні гранули мають питому теплоту згорання 16...21 МДж/кг (табл. 1.6; 1.7). Це більше, ніж у бурого вугілля і торф'яних брикетів [5, 7].

При гранулюванні біомаси насипна щільність продукції збільшується з 100 до 650 кг/м³. Щільність гранул становить понад 1120 кг/м³ і може сягати 1700 кг/м³. При цьому, насипна щільність складає 850 кг/м³. Гранули повинні зберігатися при вологості менше 10%. Це забезпечує потрібну стандартом теплоту згорання гранул 18 МДж/кг [5-7]. При вологості понад 30% гранули перетворюються на крихту. На гранулювання сухої рослинної біомаси витрачається енергія, що становить близько **3-5%** енергетичного вмісту гранул. Якщо гранули вимагають сушки, витрата енергії на їх приготування може зрости до **20%** від енергетичного вмісту [5, 7].

Вважається, що при гранулюванні біомаси хвойних порід продуктивність грануляторів вища, ніж при гранулюванні біомаси листяних порід [5-7].

До крихкості паливних гранул пред'являють високі вимоги. Якщо кількість гранул довжиною менше 10 мм в масі перевищує 20%, це може привести до спіканню шлаку і виходу з ладу топки, в якій згоряють гранули [5, 7].

Таблиця 1.6. Технологічні і енергетичні характеристики біопаливних гранул

Характеристики	Од. вимі	Сировинний матеріал
----------------	----------	---------------------

НУБІП України

	сиріювання	лушпиння соняшнику	деревина	костра льону
Діаметр пелет	мм	8 - 10	6 - 10	8 - 14
Довжина пелет	мм	8 - 25	10 - 20	10 - 30
Вологість робоча (W_p)	%	6,8	9,7	4,7
Леткі речовини:				
– до абсолютної маси палива (V_a)	%	78,9	81,6	78,2
– до маси горючих речовин палива (V_r)	%	87,0	90,5	91,5
Зольність робоча (A_p)	%	2,53	0,29	11,41
Вміст сірки (S)	%	0,24	0,215	0,25
Теплота згорання:				
– нижча сухої речовини ($Q_{нс}$)	кДж/кг	20030	19320	17520
– нижча робоча ($Q_{нр}$)	кДж/кг	18500	17217	16580
– вища робоча ($Q_{вр}$)	кДж/кг	19870	18643	17805
Коефіцієнт переводу в умовне паливо	доляна одиниця	0,63	0,59	0,57

Отже, визначені основні фізико-технологічні вимоги до біопаливних виробів та нормативні бази якості їх виготовлення.

Як правило, розробка і оптимізація технології здійснюються за багатьма техніко-економічними критеріями (рис. 1.5). Завдання, що вирішуються на етапі перед-проектних досліджень і розрахунків, визначаються й коригуються в залежності від техніко-технологічних та фінансових можливостей замовника.

НУБІП України

НУБІП України



Рис. 1.5. Узагальнена схема виробництва твердих біопалив

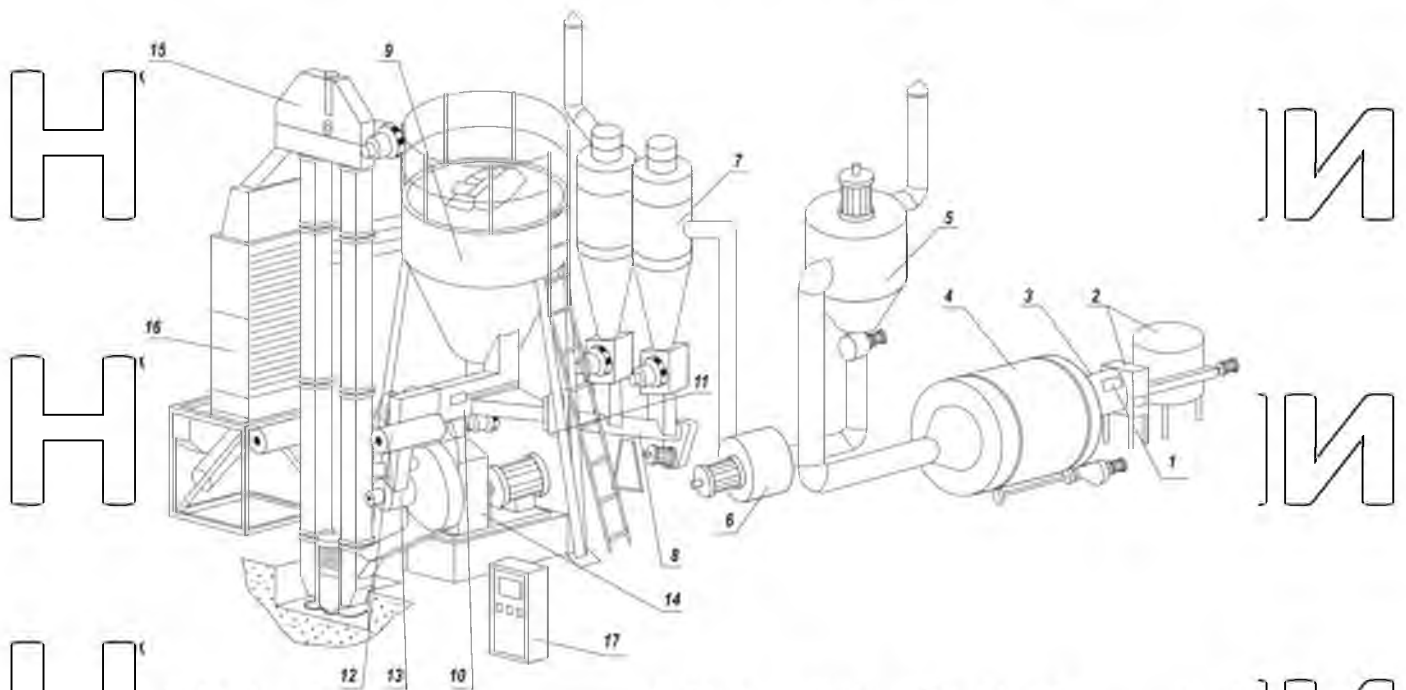


Рис. 1.6. Схема універсальної лінії для виробництва паливних гранул:

1 – пристрій подачі сировини; 2 – енергетична установка; 3 – теплогенератор; 4 – барабанна сушарка; 5 - циклон; 6 – подрібнювач; 7 – пневмосистема очищення; 8 – шнековий транспортер; 9 – накопичувальний бункер; 10 – дозатор; 11 –

НУБІП України

зволожувач; 12 – змішувач; 13 – живильник; 14 – прес-гранулятор; 15 – норія; 16 – охолоджувач-сортувач; 17 – пульт керування

Основні техніко-технологічні характеристики розглянутої лінії наступні:

- продуктивність – до 800 кг/год. при роботі з одним гранулятором;

- кількість біомаси для виробництва 1 т гранул становить $0,8 \text{ м}^3$;

- параметри пелет: діаметр 6-8 мм, довжина 10-20 мм, щільність виробів $1100-1200 \text{ кг/м}^3$, насипна маса $650-700 \text{ кг/м}^3$, теплота згорання $17,5-19,5 \text{ МДж/кг}$.

Отже, прийнята для підприємств малої потужності схема технологічної лінії для виготовлення пелет (рис. 1.6) передбачає виконання основних технологічних операцій з використанням універсальних технічних засобів вітчизняних виробників, що сприяє підвищенню ефективності твердопаливного виробництва.

Висновки до розділу 1

1. Визначені основні фізико-технологічні вимоги до паливних гранул свідчать про високу технологічну складність їх виготовлення.

2. Встановлено, що процес гранулювання, який передбачає ущільнення і екстрагування технологічного матеріалу крізь канали матриці, є найбільш раціональним, оскільки реалізується в безперервному режимі й дозволяє отримати вироби з найбільшою щільністю, правильною формою, а також забезпечує ефективність подальшого використання гранул як біопалива. Тому гранули інтенсивно набувають поширення в країнах світу.

3. Прийнята схема технологічної лінії для виготовлення гранул передбачає виконання основних технологічних операцій з використанням технічних засобів вітчизняних виробників, що підвищує ефективність на 12-16 % твердопаливного виробництва. Разом з цим, в даній лінії відсутній ефективний просіювач біопаливних гранул, тип і техніко-технологічні характеристики якого потрібно обґрунтовано розрахувати і включити в технологічний процес.

Розділ 2.

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ СОРТУВАННЯ ТА ВИБІР ПЕРСПЕКТИВНОГО ЗАСОБУ

Паливні гранули, що надходять після гранулятора і охолодника при температурі 40-50°C, містять певну кількість домішок, а саме: частинки зруйнованих виробів, пилові сполуки, що спресувались, тощо. До переробки гранул на готову продукцію ці сторонні речовини мають бути вилучені, що є першим завданням сортування гранульованої маси. Друге завдання сортування передбачає сортування гранул за розмірами (крупністю) на фракції. На міні-лініях рекомендується сортувати гранули на дві фракції, на твердопаливних заводах – на чотири фракції. Тому одним з найбільш відповідальних процесів виробництва паливних гранул є очищення і сортування їх шляхом сортування крізь отвори сепаруючих поверхонь. Цей технологічний процес забезпечує підвищення ефективності реалізації, енергетичної конверсії та збереження даної паливної продукції.

3.1. Вихідні вимоги до сортувальників гранульованих виробів

При проектуванні машин, призначених для очищення та сортування сипких чи гранульованих матеріалів, необхідно дотримуватись таких вимог.

1. Можливість використання сортувальника в сучасних виробничих лініях виробництва гранул.
2. Легкий доступ до робочих органів сепарації, зручність їх регулювання.
3. Можливість завантаження сировиною для безперервного та рівномірного протікання робочого процесу.
4. Технологічність машини має забезпечуватися відповідністю конструкції оптимальним способам виготовлення та економія матеріалів.
5. Застосування доступних і надійних конструкційних матеріалів при виготовленні деталей, використання стандартних деталей та вузлів.
6. Наявність запобіжних пристроїв уникнення пошкоджень робочих органів.
7. Відповідність сортувальників вимогам техніки безпеки та виробничої санітарії.
8. Автоматичний контроль роботи та регулювання робочих органів.

3.2. Процеси і засоби для сепарування сипких матеріалів

При виборі способу очищення сипких мас від домішок і необхідного технологічного обладнання використовують принципи і способи очищення матеріалів, класифікацію процесів сепарування, різниці фізико – механічних властивостей основних складових і домішок (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1. Класифікація процесів і засобів сепарування

Ознаки розрізнення складових частин		Спосіб сепарування	Машини	Характерні випадки застосування
Головні	Супутні			
1. Довжина	Форма	Трієрування	Трієри	Очищення, виділення ядра після обрушування вівса.
2. Ширина	Щільність, форма	Коливання сита з круглими і квадратними отворами	Сепаратори	Розділення на фракції пшениці, очищення від великих домішок
3. Товщина	Щільність, форма	Коливання з прямокутними отворами	Сепаратори	Очищення від мілких тяжких домішок
4. Щільність і коефіцієнт тертя	Розміри, форма	Вібраційне переміщення з аерацією	Сортувальні столи, вібропневмо машини	Очищення від мінеральних домішок, розділення продуктів обрушування
5. Швидкість витання (щільність)	Стан поверхні	Пневматичне сепарування	Аспіраційні колонки, сепаратори	Очищення від легких домішок, виділення шуплого зерна
6. Швидкість витання	Форма	Ситовіальний процес	Ситові машини	Сепарування продуктів подрібнення
7. Розміри	Щільність, форма	Сортування на горизонтальних ситах з круговими коливаннями	Розсівні мучні і круп'яні	Сепарування продуктів, подрібнення зерна
8. Пружність і коефіцієнт тертя	Щільність, форма	Віброударне сепарування	Падді-машини	Виділення ядра з продуктів обрушення

9. Щільність, коефіцієнт тертя	Розміри	Вібраційне переміщення	Сепараційні столи	Виділення ядра з продуктів обрушення круп'яних культур
10. Щільність	Розміри, форма, стан поверхні	Сортування на коливальних поверхнях	Камене-відокремлююча машина	Очищення від мінеральних домішок
11. Магнітна чутливість	Розміри, коефіцієнт тертя	Магнітне сепарування	Магнітні пристрої	Виділення феромагнітних домішок

Сипкі технологічні матеріали (зерновий ворох, гранули тощо) просіюють під час їх переміщення відносно робочої поверхні решета чи сита. Таке переміщення можна забезпечити на решетах, що встановлені до горизонту під кутом, більшим, ніж кут тертя матеріалу. Найчастіше відносне переміщення сипкої маси виконують на рухомих решетах.

3.2.1. Розподіл сипких матеріалів на решетах за розмірами (по товщині і ширині). Це розповсюджений спосіб сортування та сортування. Тому решета є одним з основних робочих органів очисних машин. Сипку чи гранульовану продукцію подають на решето (сито), що є основним робочим органом для сортування. Дрібні частинки проходять крізь отвори й утворюють фракцію, що називається проходом. Більші частинки затримуються на поверхні решета і утворюють схід. За довгий час їх вдосконалення та розвитку створено багато різних зразків робочих органів, які в залежності від технічного рівня та технологічної ефективності можна умовно віднести до кількох поколінь.

Значного поширення набули сортувачі гравітаційні плоскорешітні, що виконують коливальні або вібраційні рухи. Коливальні решета (рис. 3.1) приводяться в дію ексцентриковим або інерційним коливальником. Коливання можуть бути прямолінійні (горизонтальними або під кутом до горизонту) та інерційні. За конструкцією решітне полотно коливальних сортувальників може бути перфорованим плоским, перфоровано-гофрованим або гофрованим.

НУБІП України

Сепарація на перфорованих гофрованих полотнах характеризується питомою продуктивністю вищою ніж при розділенні на плоских полотнах на 50-85% при аналогічних значеннях показника повноти виділення.

Для підвищення питомої продуктивності плоскорешітних сортувальників було запропоновано збільшити корисну площу решета, застосувавши поділяючу поверхню утворену натягнутими паралельними струнами. Завдяки цьому вдалося досягти питомої продуктивності $12000 \text{ кг/м}^2 \text{ год.}$ при повноті виділення 0,7.

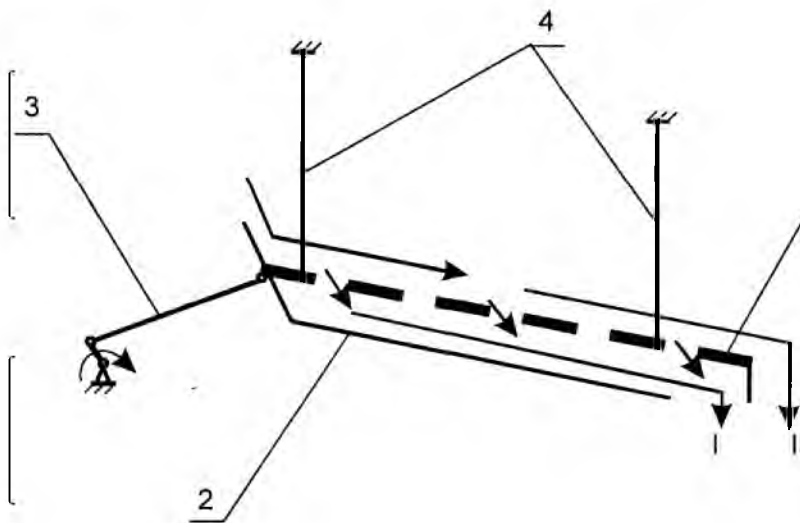


Рис. 3.1. Плоске решето

коливальне для поділу частинок по товщині або ширині на дві фракції:

І - решето; 2- кожух; 3- механізм привода; 4- підвіска. I, II - дрібна і крупна фракція.

Широкого

розповсюдження набули плоскі хитні грохоти (рис. 3.2) Вони складаються з горизонтального або похилого решета 2 з бортами, що розміщене в жолобі 1. Конструкція грохота, що закріплена на пружинних опорах 3, здійснює зворотно-поступальний рух за допомогою кривошипно-шатунного або ексцентрикового механізму 4. Сипка маса переміщується по решету, просіяна фракція потрапляє в нижній короб і відводиться. Для сортування потрібно, щоб частинки рухались на решеті вгору-вниз, не відриваючись від нього.

НУБІП України

НУБІП України

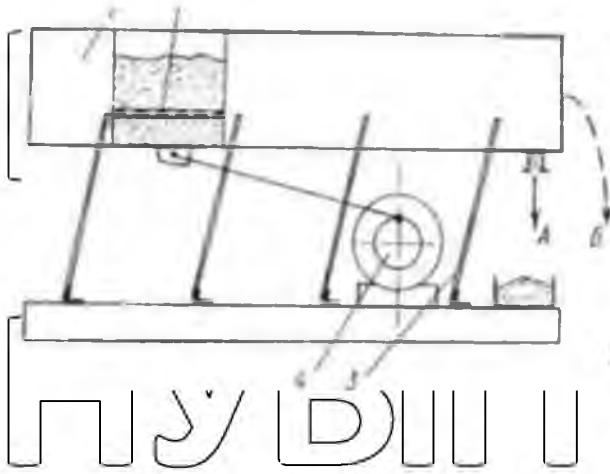


Рис. 3.2. Схема плоского хитного грохота:
А – прохід; Б – схід

Гранична частота обертання кривошипа за хвилину, при якій частинка не відривається від решета визначається за формулою:

$$n = 30 \sqrt{\frac{1}{r \cdot \operatorname{tg} \alpha}}, \quad (3.1)$$

де r – радіус кривошипа, м;

$\alpha = 7 \dots 14^\circ$ – кут нахилу решета, град.

Мінімальна частота обертання кривошипа за хвилину, при якій частинка рухається відносно решета вниз, визначається так:

$$n_{\min} = 30 \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\varphi - \alpha)}{r}}, \quad (3.2)$$

де $\varphi = 32 \dots 35^\circ$ – кут тертя зернових частинок по металу, град.

При розподілі гранульованого вороху на кілька фракцій хитні грохоти мають декілька решіт. Так, очисні сортувачі, які використовують у переробних виробництвах, оснащені трьома хитними решетами з різними розмірами отворів.

Схеми типових хитних грохотів наведені на рис. 3.3. Ці конструкції продуктивні,

ефективні, зручні в обслуговуванні, але

спричинюють високі динамічні навантаження.

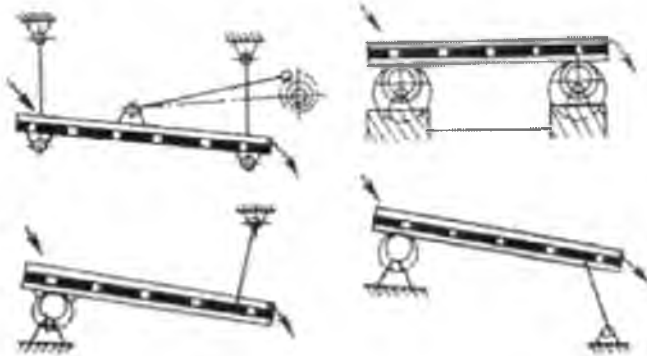


Рис. 3.3. Схеми основних

типів плоских хитних грохотів

Для фракційної обробки кормових гранул використовують три-решітні машини, в яких виділяються компоненти смітної та гранульованої домішок. На них обробляють гранули основної виробничої лінії з домішками, які неможливо віділити робочими органами машин первинного сортування, та відділяють малоцінні, як корм, частинки. Машини виробництва Німеччини мають велику продуктивність і якість роботи, тому що оснащені двома решітними станами та потужними вентиляторами.

Гранульована маса у сортувальниках шафного типу також розділяється за геометричними розмірами та аеродинамічними властивостями. Шафова конструкція сортувальника з висувними решітними рамами полегшує його обслуговування, а коловий поступальний рух його робочих органів забезпечує само-сортування гранул. В цьому разі збільшення площі решітної поверхні сприяє зниженню питомого навантаження, внаслідок чого гранули розділяється на дві фракції, що полегшує їх подальшу обробку.

Окрім сортувальників з плоскими решітними органами, відомі конструкції з циліндричними решетами, що обертаються або мають додаткові переміщувачі маси.

Вібраційні грохоти нині набули значного поширення. В них горизонтальні або похилі сита (рис. 3.4) роблять коливний рух з частотою 900-1500 коливань за хвилину за допомогою спеціального пристрою – вібратора.

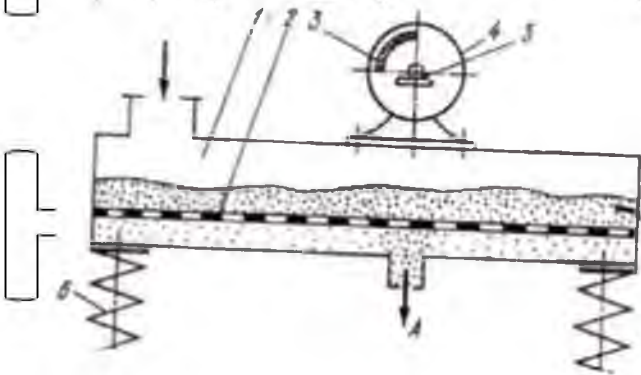


Рис. 3.4. Схема вібраційного грохота.

А – прохід; Б – схід

Найчастіше використовують механічні (інерційні) грохоти (рис. 3.4). Вони складаються із решета 2 встановленого в корпусі 1 на пружинах 6, і дисків 4 з дебалансами 3, що обертаються на валу 3. Амплітуда коливань у різних точках решета неоднакова і становить 0,5...12,0 мм, а траєкторія руху решіт близька до еліпса. Ці конструкції забезпечують вищу продуктивність та ефективність розподілу. Вони

універсальні, дають змогу розподіляти вологі матеріали, мають малу засміченість і невеликі витрати енергії.

Вібраційні решета відрізняються від коливань значно більшою частотою 1200-2000 колів./хв. і меншою амплітудою коливань 1-2 мм. Коливання можуть бути направлені по вертикалі, під кутом або круговими в вертикальній площині.

Сепаратори відцентрово-інерційні (рис. 3.5) більш складні за конструкцією та приводом, але вони достатньо надійні і значно продуктивніші плоско-рештників. Чим і пояснюється їх широке застосування в більшості сучасних ліній, які застосовуються на сьогодні як в Україні, так і за її межами.

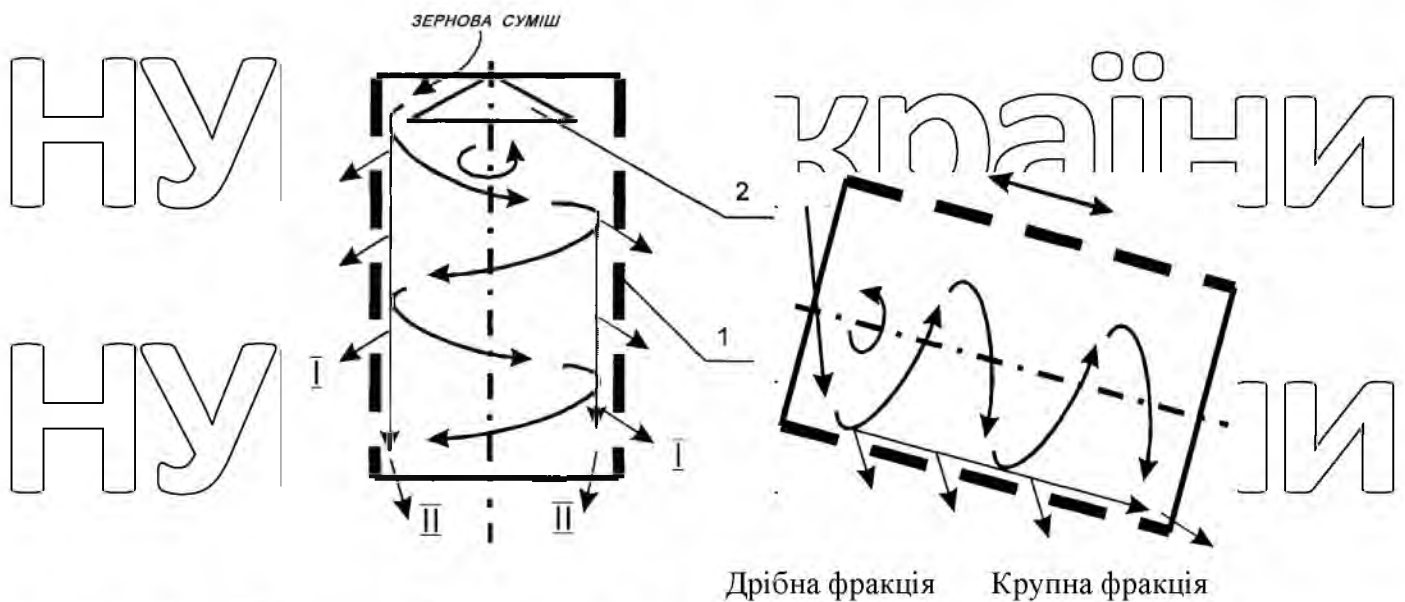


Рис. 3.5. Віброцентрифуги з вертикальною і похилою осью обертання:

1 - решето; 2 - розподільник. І - дрібна фракція, ІІ - крупна фракція

Машини, в яких використовуються відцентрові сили інерції, мають показники питомої продуктивності в кілька раз вищі, ніж гравітаційні, при аналогічних показниках повноти виділення. Однак інтенсифікація процесу призвела також до негативних наслідків. Одним з основних негативних явищ, що стримує широке застосування вказаних робочих органів, є травмування частинок основного матеріалу, очищувачами робочих отворів, власне циліндром, що обертається та ін. Крім цього недоліку, притаманного таким сепараторам, є недолік характерний тільки для віброцентрифуг – наявність вібраційного руху у частин, що мають значну масу, в результаті якого

виникають невідношені сили інерції, які передаються на корпус і слугують джерелами додаткових напружень у вузлах машини.

Процес розподілу частинок за швидкістю осідання в повітряному середовищі підпорядковується загальним законам осідання твердих тіл. Цей метод можна використовувати для сортування гранул від легких домішок. Повітря продувають крізь потік гранул, воно захоплює і виносить легкі частинки.

На частинку, що рухається у вертикальному повітряному потоці, діє сила тяжіння G і сила опору середовища P . Ці сили у висхідному потоці протидіють одна одній. За умови $G > P$ частинки опускаються, якщо $G < P$, то частинки піднімаються і здійснюється їх розподіл. Якщо $G = P$, то частинка витає у повітрі. Швидкість потоку повітря, при якому частинка втримується у завислому стані, називають швидкістю витання. Швидкість частинки у завислому стані дорівнює нулю, а відносна швидкість стає рівною швидкості повітряного потоку. Швидкість витання домішок значно нижча від швидкості витання гранул і визначається аеродинамічними властивостями частинок.

Так, наприклад, для пшениці, жита, ячменю вона коливається в межах 8,5...11,5 м/с.

Отже, якщо потік гранул продувати повітрям зі швидкістю, меншою від вказаної швидкості витання частинки гранул, то гранули можна очистити від легких домішок.

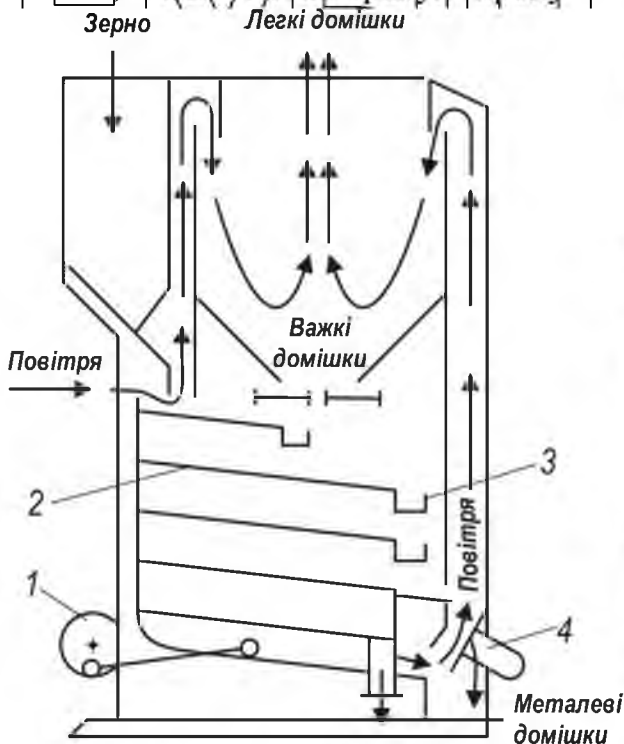


Рис. 3.6. Функціональна схема повітряно-решітного сортувальника

Цей спосіб розподілу використовують у поширеному типовому повітряно-решітному сепараторі (рис. 3.6). На решетах 2 вилучають домішки, що різняться за розмірами. Решета оснащені ексцентриковим механізмом для створення зворотно-поступального руху і

пристрєм 3 для збирання гранул і домішок. Струмені повітря, що нагнітається

вентилятором, вилучають легкі домішки. Магніт 4 вловлює металеві домішки з феромагнітними властивостями.

Отже, повітряні сортувачі використовують для відокремлення домішок, які відрізняються від основної маси аеродинамічними властивостями. До легких домішок відносять оболонки, частинки стеблин, що не спресувались, зруйновані гранули, пил тощо.

Побічні компоненти сипкого матеріалу, що різняться аеродинамічними властивостями (парусністю), виділяють за допомогою повітряних струменів.

Горизонтальні потоки застосовують у машинах первинного сортування, вертикальні - в очищувальних колонках, на сортувальних столах та ін.

Для нормальної роботи грануло-очисників регулюють силу струменя повітря, періодично очищають фільтри та збірники пилу. При обробці вологого гранульованого вороху швидкість повітряного струменя збільшують. Вертикально повітря подається у пневматичних сортувальних гірках, де воно надходить знизу під металеву сітку і розділяє гранульовану масу за щільністю та коефіцієнтом тертя.

Перед початком роботи сортувальних столів потрібно перевірити щільність робочої сітки, кут поздовжнього ($5-6^\circ$) та поперечного ($2-3^\circ$) нахилу решета. На початку роботи встановлюють відповідну частоту коливання решета за рівномірним розміщенням гранульованої маси на її поверхні: більш товстий шар гранул біля верхньої крайки решета - велика частота коливання, товстий біля нижньої крайки решета - мала. Слід зазначити, що при великій частоті коливання дискретна маса переміщується не плавно, а стрибкоподібно. Проте збільшення поздовжнього кута нахилу решета зменшує швидкість руху матеріалу. Якщо кут нахилу решета відрегульовано правильно, то шар матеріалу під завантажувальним вікном для крупних частинок повинен бути до 6 см, а для дрібних - до 3 см. Нормальною вважається подача повітря, коли сипка маса доведена до стану "псевдо кипіння".

Провівши аналіз існуючих конструкцій повітряно-решітних сортувальників, можна зробити наступні висновки:

НУВБІП України

- одним з найбільш перспективних шляхів підвищення ефективності сепарації є створення робочих органів, відносно поверхні сортування якого матеріал рухається поступально тонким шаром в полі дії інерційних сил;

- застосування решіт, робочі отвори яких виконано у вигляді нескінченно довгих каналів, що не мають поперечних перетинок дозволить уникнути пошкодження гранул під час обробки;

- застосування сепаруючих поверхонь з клиновидною формою робочих каналів може дозволити вирішити проблему розділення продукту на кілька фракцій на одному решеті;

- форма перетину направляючих елементів, що утворюють робочі канали решета, має бути сприятливою (круглою, овальною) для орієнтації гранул вздовж

- поступальний рух матеріалу відносно решета зумовлює його направлений схід, що при достатній швидкості доцільно використовувати для само транспортування в місце відвантаження.

3.2.3. Класифікація засобів для сепарування сипких матеріалів.

Узагальнюючи результати проведеного короткого аналізу технічних засобів для очищення, сепарації і сортування дискретних матеріалів, розроблені класифікація машин (рис. 3.7) і схема технологічного алгоритму (рис. 3.8) на прикладі виробничої обробки зернових матеріалів.

В багатьох випадках домішки, що важко відділяються, мають схожі характеристики за розмірами та аеродинамічними властивостями з основною сипкою масою. Тому для відокремлення деяких видів на очисних машинах з повітряно-решітними чи трієрними робочими органами практично неможливо. Для цього необхідно використовувати машини з пристроями, які розділяють суміші за іншими фізико-механічними характеристиками. До таких машин відносять вібраційні очисні установки з робочими органами у вигляді фрикційних перфорованих поверхонь, що вібрують. Такі поверхні мають подвоєні подовжно-поперечні кути нахилу до горизонту, на яких розділення здійснюється по комплексу фізико-механічних властивостей, а саме: фрикційних, пружних і за формою. В результаті на поверхнях

виділяється більшість домішок, що важко відділяються. Для підвищення продуктивності вібросортувальників фрикційні поверхні об'єднують в пакети-блоки та виготовляють у вигляді окремих модулів, встановлюючи на раму.

Перспективним напрямком підвищення ефективності решітної сепарації гранульованих сумішей є вдосконалення прямоточних робочих органів, що характеризуються найбільш повним використанням інерційних силових полів, і як наслідок - вищими технологічними показниками.

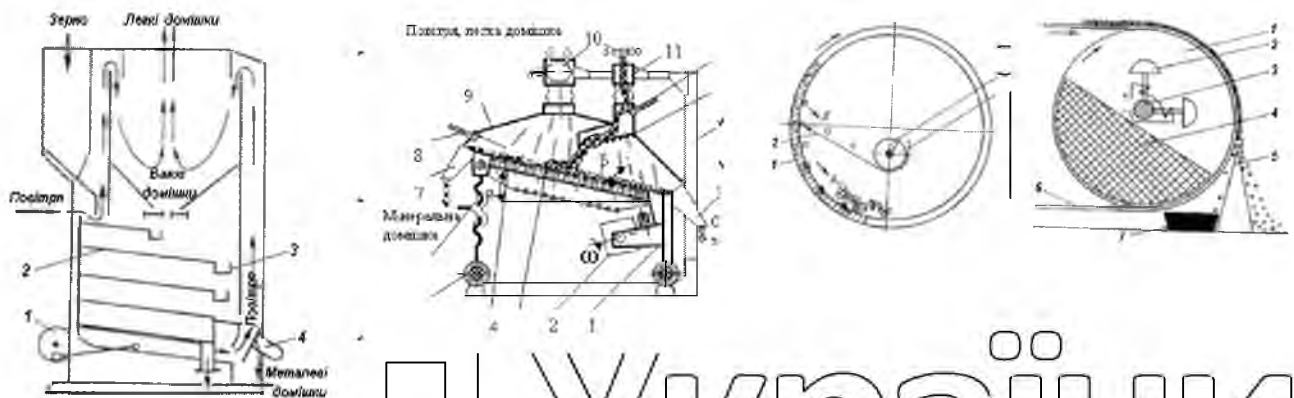
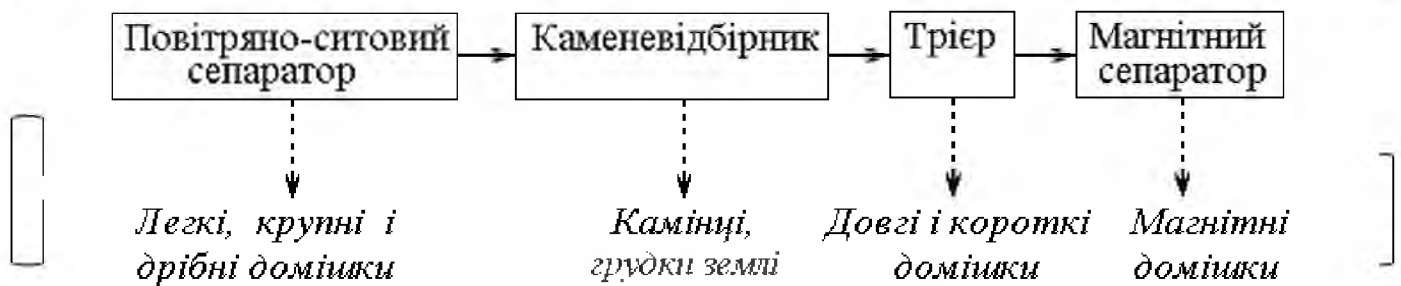


Рис. 3.8. Схема типового технологічного алгоритму очисних машин

На підставі проведеного аналізу конструкційно-технологічних схем засобів для сепарування (сортувальників) дискретних матеріалів ми дійшли до висновку, що перспективною машиною для сортування паливних гранул в нашій технологічній лінії має бути решітний очисник з вібраційним модулем. В основі його конструкції має закладено новітні принципи теорії корисної вібрації очисних та сортувальних машин, а також технічні рішення сучасних механічних систем. Проведений аналіз свідчить про те, що при великій кількості типів очисних і сортувальних машин проблеми зниження

витрат технологічного процесу при нормативних показниках якості, залишаються актуальними і вимагають подальших досліджень і вивчення.

3.3. Аналіз решітних робочих органів для сортування сипких матеріалів

Машини можуть мати один або декілька робочих органів, в тому числі і основних. При цьому робочі органи можуть бути всі рухомими, деякі рухомі, а деякі – нерухомі, усі нерухомі. В останньому випадку технологічний ефект досягається в більшості випадків за рахунок руху продукту. Робочими органами можуть також слугувати повітряні та водяні потоки, поля (магнітні, електричні, світлові, температурні та ін.), а також реакційні простори (камери), де утворюються певні умови для впливання на продукт, що обробляється. Впливання досягається зміною вологості, тиску (вакууму), температури, хімічного складу навколишнього середовища або іншим способом.

3.3.1. Решітні робочі органи. У переробних, твердопаливних та ін. виробництвах поширені здебільшого сортувачі з решетами з листового матеріалу зі штампованими отворами круглої або продовгуватої форми. Круглі отвори розташовані, як правило, в шаховому порядку, що забезпечує високий коефіцієнт використання поверхні листа і поліпшує умови розподілу матеріалу. Використовують також плетені решета з металевого дроту і сита з невеликими розмірами отворів із шовкових, нейлонових і капронових ниток. Форма отворів плетених решіт – квадратна або прямокутна, причому має бути забезпечена точність розміру отворів і їх незмінність в процесі роботи. Розмір отворів коливається в межах 0,04... 140,0 мм. Промисловість випускає плетені решета згідно зі стандартом. Стандартний ряд металевих плетених решіт має отвори, в яких розмір сторони вічка кожного наступного решета перевищує розмір вічка попереднього в 1,22 рази. Це відношення називається модулем сита (решета). Металеві решета вирізняються зносостійкістю, шовкові – еластичністю та гігроскопічністю. Тому останні доцільно використовувати для сортування теплового і вологого гранульованого вороху.

Ефективність сортування визначається живим перерізом ϕ – світловою площею решета у відсотках, яка дорівнює відношенню площі отворів F_0 до площі всього сита

F , тобто $\phi = (F_0 / F) \cdot 100$. Живий переріз штампованих решіт не перевищує 50 %. Плетені дротяні решета мають більшу світлову площу – до 70 %.

Усі решета позначені номерами, які відповідають розміру сторони отвору в міліметрах.

Просіювати гранульований матеріал можна послідовно крізь декілька решіт. При багаторазовому просіюванні спочатку відділяють дрібні частинки, а потім більші, якщо решета розміщені в одній площині і розміри їхніх отворів збільшуються в напрямку переміщення матеріалу. Якщо спочатку потрібно відділити більші частинки, то решета розміщують одне над одним, а розміри отворів зменшують зверху вниз. Можливі комбіновані способи розміщення решіт.

Ефективність сортування оцінюють коефіцієнтом корисної дії решіт, який є відношенням маси «проходу» до маси частинок такого ж розміру у вихідній гранульованій суміші.

Решітні (ситові) робочі органи застосовують в сепараторах (сортувальниках) для розділення сипких суміші за крупністю (розмірами), для контролю крупності в подрібнювачах в якості фрикційної поверхні, а також як повітряно- і водо-проникливі поверхні. В галузі використовують штамповані (пробивні), метало-тканні решета, а також тканні сита з шовкових та синтетичних тканин.

Решета є металічними листами із штампованими отворами різної форми, розміру і взаємного розташування. Листи виготовляються з тонколистової оцинкованої сталі товщиною 0,5-1,5 мм.

Решітні полотна в залежності від виду отворів виготовляються таких типів:

1 – з круглими отворами, центри яких розташовані в верхівках правильного шестикутника;

2 – з подовжніми отворами, розташованими рядами;

3 – з трикутними, рівнобічними отворами, розташованими рядами.

Решітні полотна типу 2 виготовляються в двох виконаннях: з прямими рядами та з поперечно зміщеними рядами.

Типи решітних полотен та їх виконання діляться за номерами, що відповідають робочим розмірам отворів, помноженим на десять. Робочим розміром отворів є: для

круглих – діаметр; для подовжніх – ширина; для трикутних – сторона трикутника. Кожне виконання може виготовлятися в двох варіантах: з довжиною отвору $L1$ і з довжиною отвору $L2$. Крім того, кінці отворів кожного виконання $2a$ і $2b$ можуть бути закругленої форми.

В залежності від товщини листа штамповані решета діляться на три групи: першу, другу і третю.

Довжиною полотна є три типу:

- для полотнищ типу 1 – сторона, перпендикулярна двом сторонам шестикутника, в вершинах якого розташовані центри отворів;

- для полотнищ типу 2 – сторона, паралельна довжині подовжнього отвору;

- для полотнищ типу 3 – сторона, перпендикулярна стороні трикутного отвору.

Габаритні розміри полотнищ в залежності від типорозміру наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Габаритні розміри полотнищ в залежності від типорозміру

Позначен. типорозміру	Довжина L, мм		Ширина B, мм		Номінальна площа полотна, м ²
	номінальне значення	граничне відхилення	номінальне значення	граничне відхилення	
1	990	3,0	990	3,0	0,98
2	990	3,0	790	2,5	0,78
3	790	2,5	990	3,0	0,78
4	900	3,0	490	2,0	0,44

На рис. 3.9. зображено розташування отворів в штампованих решетах.

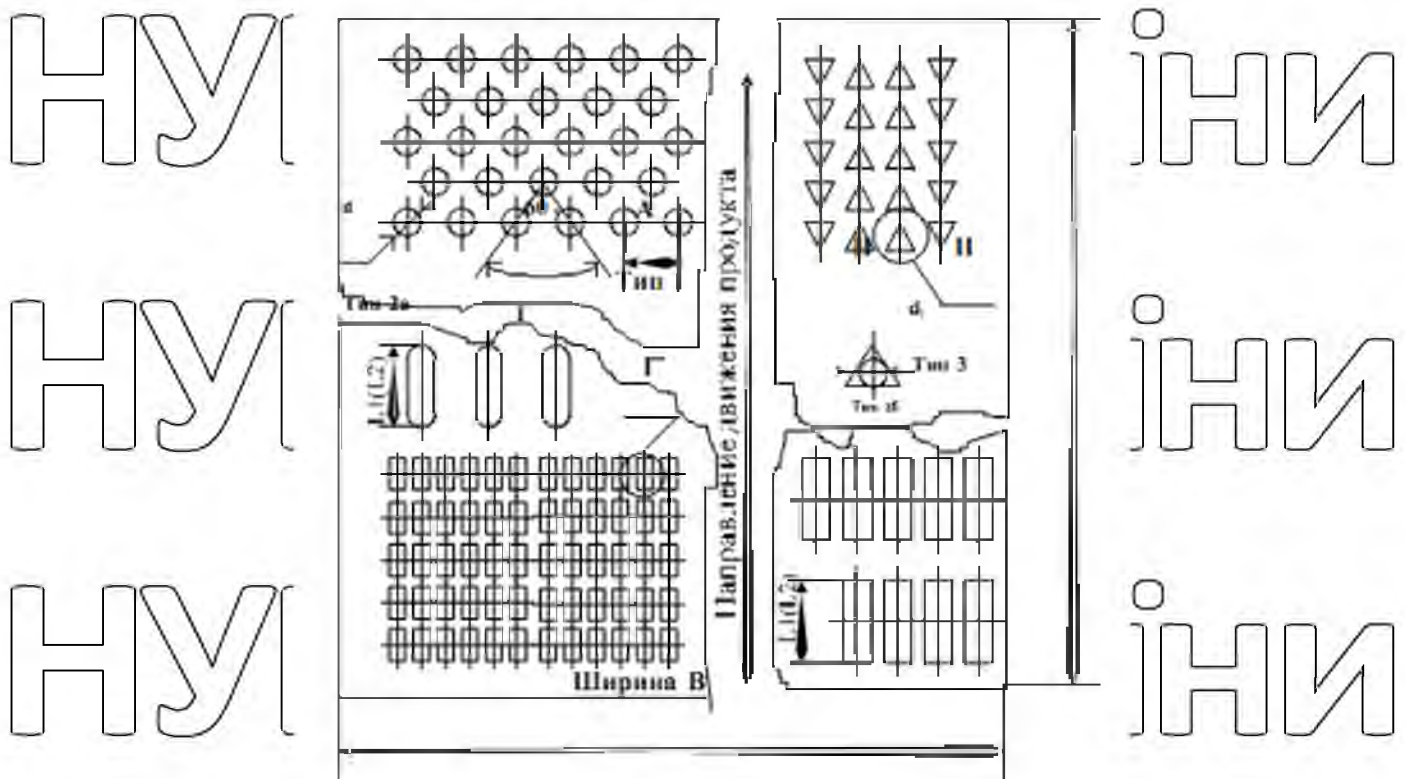


Рис. 3.9. Класифікація форм отворів в штампованих решетах

Решета типу 1 виготовляють виключно від 07 до 200-го номеру, типу 2 – від 05 до 50-го номеру. Тип, виконання, номер, типорозмір (габаритні розміри), варіант виконання та товщина полотна повинні бути вказані при замовленні в умовному позначенні решітного полотна. Приклади умовних позначень:

- решітне полотно типу 1, номер 25, типорозмір 3, другої групи товщини: полотно 1-25-3x1,0;
- решітне полотно типу 2, виконання «а», номер 15, з довжиною отвору 1,2, типорозмір 3, другої групи товщини: полотно 2а-15x1,0.

Основною ознакою, за якою протікає розділення сипкої суміші на решетах з **круглими отворами**, є **ширина частинки**, що сепарується, а з **подовжніми отворами** – **її товщина**. Решета з трикутними отворами використовуються для розділення на фракції, наприклад, гречки.

В переробній, комбікормовій та ін. галузях використовують решета з отворами та інших форм. Наприклад, воронкоподібні і жолобчаті штамповані решета дозволяють

підвищити ефективність калібрування зернин кукурудзи. Спеціальні решета виготовляють за галузевими нормативами.

Якість поверхні решета перевіряють шляхом зовнішнього огляду. Перекручених чи розірваних перемичок між отворами не повинно бути. Отвори повинні бути пробитими з однієї сторони полотна, висота задирок не повинна бути більш 0,2 мм.

Ступінь хвилястості встановлюють за перевіркою плитою, притискуючи до неї не заштамповані поля по кутах і посередині. При площі полотна до 0,5 м² дозволяється одинична нерівність у вигляді хвилі, відстань між вершиною та западиною якої не повинно перевищувати 4 мм, а при площині 0,5-1,0 м² допускаються дві хвилі висотою не більш 6 і 8 мм. Решітні полотна для уникнення їх деформації зберігають у спеціальних стояках у вертикальному положенні.

Найбільше використання в промисловості отримали виткані дротяні решета із сталевого низько вуглецевого термічно обробленого дроту простого переплетіння (решета загального призначення, сита борошномельної промисловості) і саржевого переплетіння. Решітні сітки використовують для класифікації сипких продуктів по ширині і товщині. При простому переплетінні нитки основи (підгрунтя) взаємно перехрещуються з нитками вутка. Це обумовлює найбільшу кількість ймовірних переплетень і, як слідство, тканина отримує високу міцність на розрив. В саржевому переплетінні основні і уточні нитки переплітаються попарно по вутку чи основі.

3.3.2. Ситові робочі органи. Для млинових розсівів використовують взаємозамінні та еквівалентні за продуктивністю сітки по ТУ 14-4-1063-86 та по ТУ 14-4-1374-86. Сітки, виткані з низько вуглецевого та нержавіючого дроту випускаються ТУ 14-4-1064-80. Номер сітки з квадратними отворами характеризують номінальним розміром в її сторони: перше число означає ціле число міліметрів, друге і послідовні числа – долі міліметрів. Гладеньку металоткану сітку для борошномельної промисловості з розміром ярунки 0,8 мм умовно визначають «Сітка №08». Сітки з прямокутними отворами визначають дробом, чисельник якого характеризує позначену в міліметрах відстань між основними дротами, знаменник – заокруглену до цілого числа відстань між уточними дротами. Наприклад, «Сітка Зернівка 16/2» умовно визначає

сітку з розмірами отворів між проволочками основи 16 мм, між дротами вутка 1,8 мм. Де речі, шовкові сита останнім часом використовуються рідко.

Капронові сита по ГОСТ 17-46-82 виготовляються полотняним переплетінням з монопітки по основи та вутку. Номер капронового сита відповідає числу отворів на 10 мм пог. по основи та вутку. Перевагою капронових сит є нечутливість до зміни температури, вологості повітря й продуктів, що просіюються. Експлуатація капронових сит показала, що у порівнянні з шовковими вони володіють високою здатністю просіваги й продуктивністю. Оскільки міцність капронових ниток вища за шовкові, можна при виготовленні сит використовувати більш тонкі нитки. За терміном експлуатації капронові сита в 2-2,5 рази перевершують шовкові сита.

3.3.3. Класифікація робочих поверхонь для сортування. Решітними пристроями розділяють сипкі суміші на фракції за товщиною і шириною частинок, відділяють крупні і дрібні домішки. Отвори решіт можуть бути довгастими, круглими, трикутними та ін. (рис. 3.10 *а,б*). Використовують також сита плетені із тонкого дроту і ткани (рис. 3.10 *г,д*).

Будь-яка частинка суміші має довжину l , ширину a , і товщину ϵ , які значно відрізняються між собою (рис. 3.10). На цій властивості ґрунтується принцип сортування гранул решетами на фракції і очищення від некондиційних домішок.

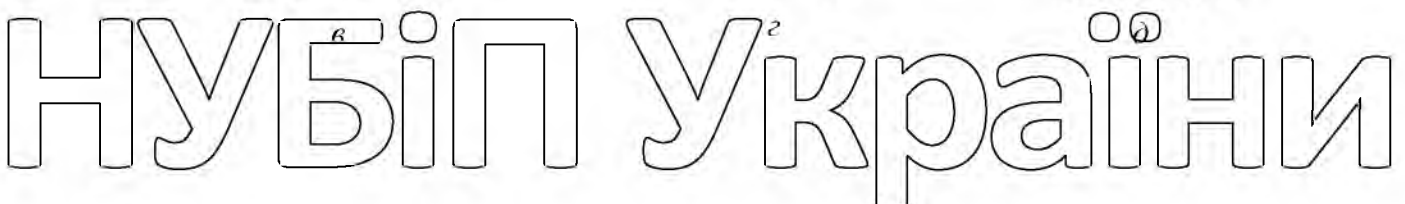
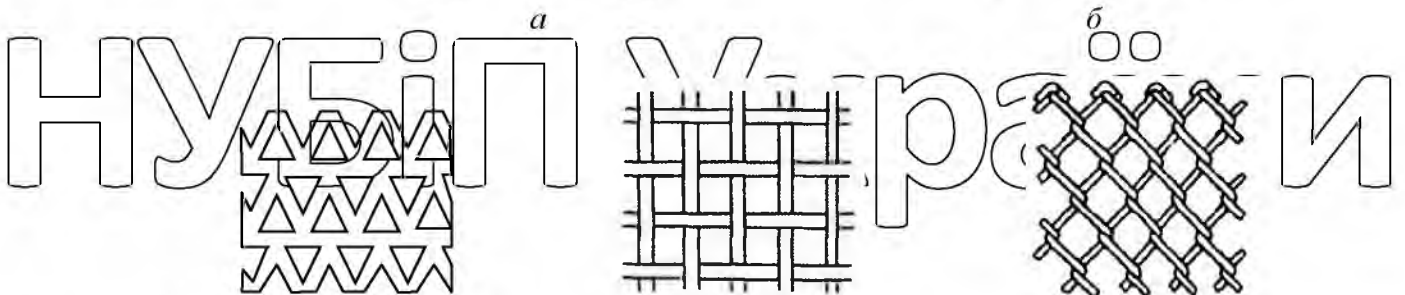
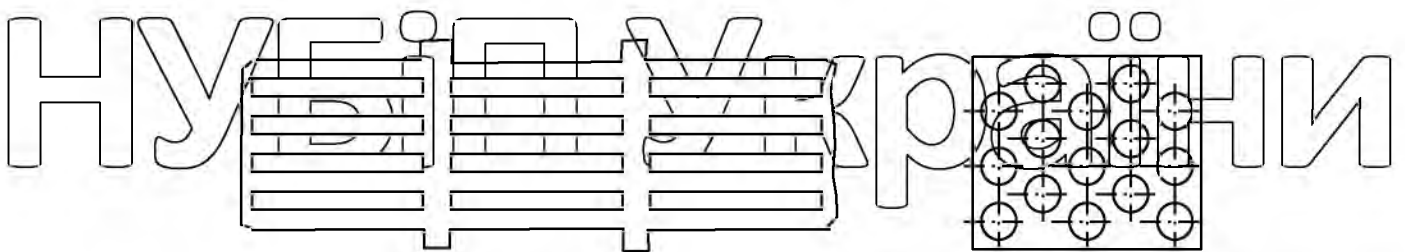


Рис. 3.10. Форми решітних отворів:

a – прямокутні; *b* – круглі; *в* – трикутні; *г, д* – плетені дротяні і ткані сита

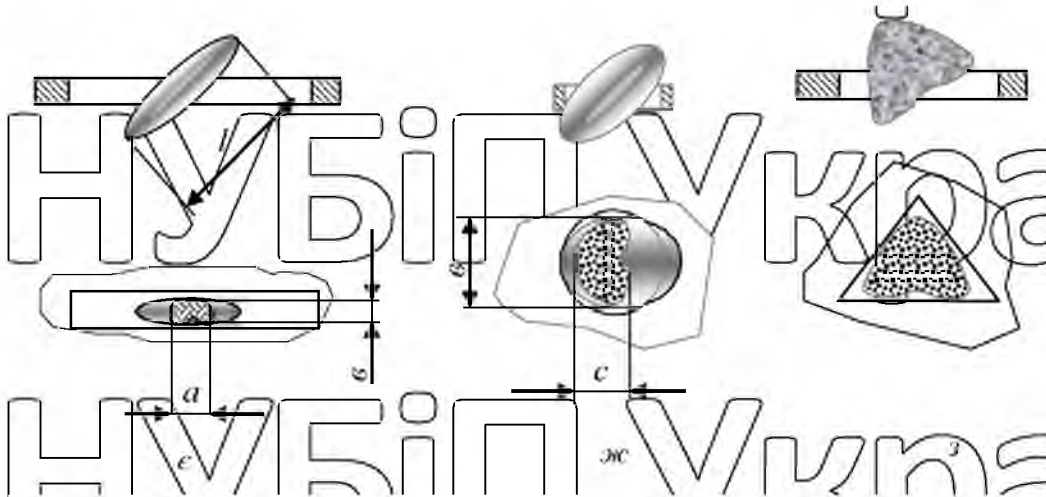


Рис. 3.11. Схема процесу сортування частинок за товщиною і шириною:

e – з прямокутними, *ж* – круглими і *з* – трикутними отворами; *l* – довжина, *a* – ширина і *c* – товщина гранули

Поділ частинок за товщиною. Через довгастий отвір може пройти тільки гранули, товщина в яких менша ширини щілини отвору. Довжина гранули і при цьому не має значення, бо вона завжди менша довжини довгастого отвору. Ширина круглих у перетині гранул дорівнює товщині, тому, якщо гранули не проходить крізь отвір за товщиною, то вони не пройде по ширині. Отже, поділ гранул за товщиною можливий тільки на решетах з довгастими отворами. Довгасті отвори роблять у 2..3 рази довгими гранул. Отвори на решеті виконані так, щоб їх довжина і напрямок руху гранул збігалися.

Поділ частинок за шириною. Через круглий отвір гранула зможе пройти лише в тому випадку, коли його ширина *a* менша діаметра отвору. Довжина і ширина не перешкоджають проходу гранули через круглий отвір. Отже, поділ гранул за шириною можливий тільки на решетах з круглими отворами.

Решета з довгастими отворами застосовують частіше, ніж із круглими, бо площа отворів у них більша, а значить і працюють вони ефективніше. Крім того, решета з

довгастими отворами частіше використовують для поділу гранул на сорти за критерієм якості. Як показали досліді, найбільша залежність між масою і геометричними розмірами визначається за товщиною гранул.

Форма отворів плетених сит – квадратна або прямокутна, причому має бути забезпечена точність розміру отворів і їх незмінність в процесі роботи.

Промисловість випускає плетені сита згідно зі стандартом. Стандартний ряд металевих плетених сит має отвори, в яких розмір вічка кожного наступного сита перевищує розмір вічка попереднього в 1,22 разів. Це відношення називають

модулем сита. Полотна ситові за ТУ 5.897-111722-95 мають такі характеристики:

матеріал полотен – сталь холоднокатана, габаритні розміри – 710 x 1420 мм;

– розміри отворів і товщина полотен:

1. Решета з круглими отворами:

– діаметр отворів: 1,1; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,4; 3,5; 3,6;

3,7; 3,8; 4,0; 4,2; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0; 12,0; 13,0; 14,0;

15,0; 16,0; 18,0; 20,0; 25,0; – товщина полотен: 0,55...1,00 мм.

2. Решета з продовгуватими отворами:

– розміри продовгуватих отворів: 1,2 x 20; 1,4 x 20; 1,5 x 20; 1,7 x 20;

1,8 x 20; 2,0 x 20; 2,2 x 20; 2,4 x 20; 2,5 x 20; 2,8 x 20; 3,0 x 20; 3,2 x 20; 3,5 x

20; 4,0 x 20; 4,5 x 20; 5,0 x 20; – товщина полотен: 0,70...1,00 мм.

3.4. Теоретичні аспекти вібраційних машин для сортування

Перший у світі пневматичний вібраційний стіл розробили брати Уолтер і Едвін

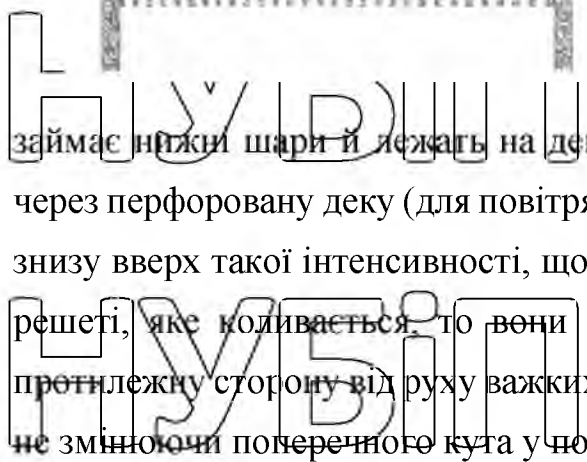
Стіл у штаті Техас в 1898 р. З тих пір інженерна думка не створила більш ефективної

машини по розділенню сухим засобом сипучого матеріалу, частинки якого близькі за розміром, але різняться за щільністю, яка при цьому незначна.

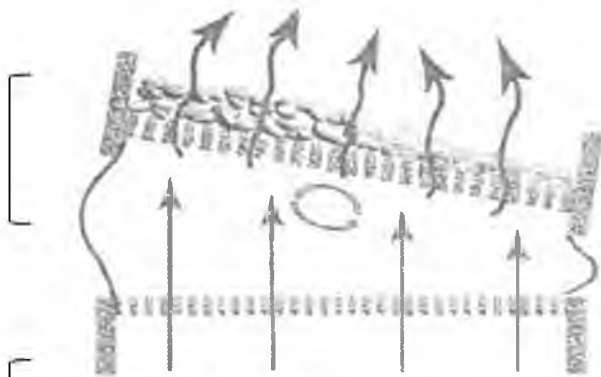
Суть роботи вібростолу проста. Направлена поперечна вібрація решета змищує частинки в спрямуванні імпульсу коливання (рис. 3.12), навіть в тому разі, коли стіл має поперечний кут нахилу.



України
Рис. 3.12. Розподіл частинок при поперечному
коливанні решета



України
Важка фракція у процесі колювання
займає нижні шари й лежить на деці, а більш легкі виявляються зверху. Якщо тепер
через перфоровану деку (для повітря просякаємо), направити вирівняний струм повітря
знизу вверх такої інтенсивності, щоб воно підняло легкі частинки, а важкі залишив на
решеті, яке коливається, то вони (легкі частинки) почнуть сковзати униз, тобто в
протилежну сторону від руху важких (рис. 3.13). Далі потрібно тільки нахилити решето,
не змінюючи поперечного кута у повздовжньому напрямку, та зняти роздільно легкі
й важкі частинки.



України
Рис. 3.13. Розподіл частинок на решеті
у псевдо розрідженому шарі вібраційного
столу

України
У пневматичних вібростолах, що
випускаються промисловістю, мають місце
наступні технічні рішення, на які отримані патенти:

- регулювання частоти колювання решета здійснюється за рахунок частотного
перетворювача автономного привода;

України
- регулювання режиму роботи псевдо розрідженого шару по зонах за рахунок
автономних чотирьох вентиляторів, кожен з яких керується через частотний
перетворювач.

Таким чином, пневмовібростіл виконує такі функції:

- виділяє важко віддільні домішки від основної маси;

- сортує сипкий матеріал за продуктивністю;

України

- виділяє з гранульованого матеріалу зруйновані некондиційні частинки;
- виділяє легкі і важкі фракції.

У перспективних вібраційних очисних машинах робочими органами є декілька решіт 4 круглої форми (рис. 3.14), які за допомогою обичайок прикріплені до вібростолу 3. До якого також прикріплений вібратор 5 з вертикальною віссю обертання дебалансів. Частина машини, що коливається, встановлюють на пружну підвіску 2 з пружин, розташованих по колу на станині 1 машини. Інерційні сили, які виникають при роботі вібратора, створюють сили, що збурюють, і моменти, які виводять коливальну систему з положення рівноваги, і робочий орган машини здійснює складний просторовий рух.

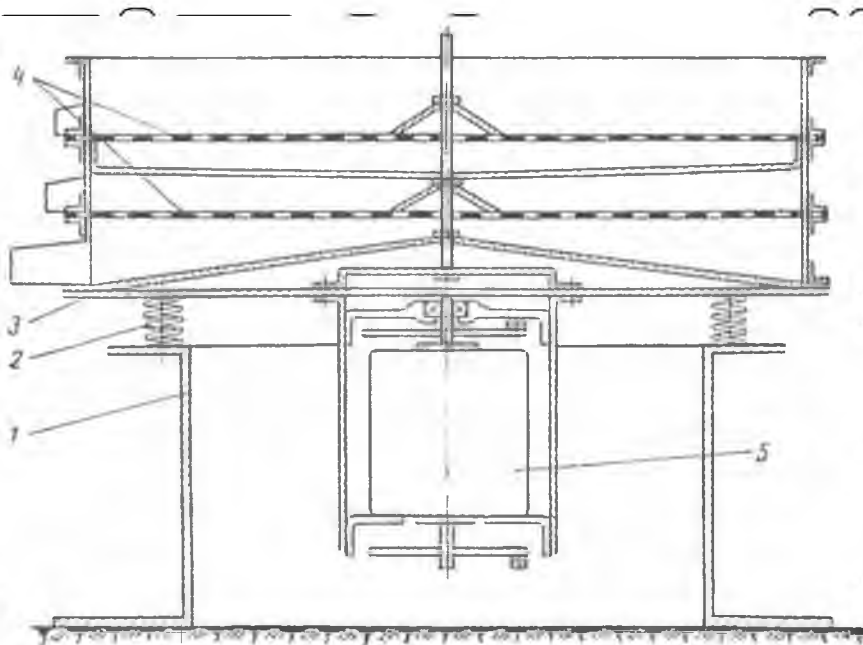


Рис. 3.14. Конструкційна схема вібраційної очисної машини

Для нормальної роботи машини з декількома решетами необхідно, щоб суміжні решета працювали в однакових (чи близьких до них) режимах, тобто амплітуди коливань їх були однаковими за величиною і напрямом.

Першу умову можна виконати для двох суміжних решіт. Тобто можна підібрати такі динамічні чинники при заданих конструкційних параметрах, щоб на двох суміжних решетах амплітуди коливань були однаковими за величиною. Але цього недостатньо. Необхідно також, щоб для суміжних решіт кути напрямків коливань як у вертикальній,

так і в горизонтальній площині були однаковими. Цю умову виконати неможливо, отже, неможливо підібрати однакові режими роботи для двох суміжних решіт.

При сепарації матеріалу на решетах продуктивність їх часто знижується внаслідок забивання і заклинювання. Для очищення решіт застосовують спеціальні пристрої, які часто ускладнюють пристрій машини. Використання вібрацій дає можливість здійснювати очищення решіт без зайвого ускладнення конструкції.

Проте дослідження показали, що оптимальні умови, які необхідні для сортування, не співпадають з оптимальними умовами очищення решіт. Тому для очищення робочих поверхонь просіювальних пристроїв і інтенсифікації процесу сортування було запропоновано надавати робочим поверхням коливання із несиметричними нелінійними характеристиками.

Вказаний характер коливань дає можливість забезпечити такий характер руху робочого органу, при якому за один цикл створюються сприятливі умови проходження часток через отвори і виходу з отворів застряглих частинок завдяки надання їм сил інерції, що перевищують утримуючі сили і спрямовані в протилежному напрямку.

При цьому отвори очищаються при кожному циклі, що дає можливість не застосовуючи спеціальних очисних пристроїв і використовувати усю роботу поверхню, а також інтенсифікувати процес сортування. Якщо процес не супроводжується забиванням отворів, асиметричний нелінійний характер руху робочого органу використовується тільки для інтенсифікації процесу сортування.

Отже, приймаємо за конструкційну основу розглянуті техніко-технологічні принципи функціонування вібраційної машини для сортування біопаливних гранул в технологічній лінії, що проектується.

3.5. Обґрунтування функціональної схеми сортувальника гранул

Для визначення перспективного сортувального засобу твердопаливного підприємства проведемо короткий аналіз відомого обладнання. Просіювач гранул фракційний [4, 14] (рис. 3.16,а) фірми ІСК (Україна) призначений для розділення виробів на певні фракції після їх отримання, а також для відділення дрібних частинок і пилу від якісних гранул. Принцип роботи сортувальника полягає в розділенні

початкової суміші на фракції шляхом послідовного сортування її через три яруси решіт, що здійснюють поворотно-поступальні коливальні рухи. Також протікає виділення легких домішок і пилу з крупної фракції шляхом проходження її через висхідний потік повітря у витяжному каналі. Даний процес дозволяє досягти високої пропускної спроможності і підвищує коефіцієнт корисної дії (табл. 3.3).

Таблиця 3.3. Технічна характеристика сортувальників фірми ІСК (Україна)

Модель	ТТ-1	ГТП-10
Площа решета, м ²	0,21	2x1,5 (2 фракції) 4x1,5 (4 фракції)
Витрата повітря на аспірацію, м ³ /год.	160	900
Потужність привода, кВт	0,08	2x0,37
Габаритні розміри (ВхLхН), мм	390x	1606x
	890x	1905x
	680	2210
Маса, кг	42	1450

Відома європейська компанія «Wynveen» (Вайнвейн) випускає оригінальний пресіював гранул «Crylos» (рис. 3.16,6). Оберткові сита Crylos забезпечують раціональне розділення гранул і пилу перед зберіганням або реалізацією. Велика різноманітність типів сортувальників з продуктивністю від 0,5 до 20 т/год., малі габарити, легкість установки сприяють вирішенню будь-якого завдання.

У переробних, твердопаливних та ін. виробництвах широко застосовують решітні сепаратори з поступально-поворотними коливаннями, амплітуда яких становить $A=4...5$ мм, частота коливань $n=400...450$ кол./хв. (виробник - «Мельинвест»); з коловими коливаннями ($R=9$ мм, $n=300...320$ кол./хв., виробник - компанія АВМ); з вібраційними коливаннями ($A=6$ мм, $n=750...950$ кол./хв., фірми «Станкинпром», «Совокрим» та ін.).

НУБІП України

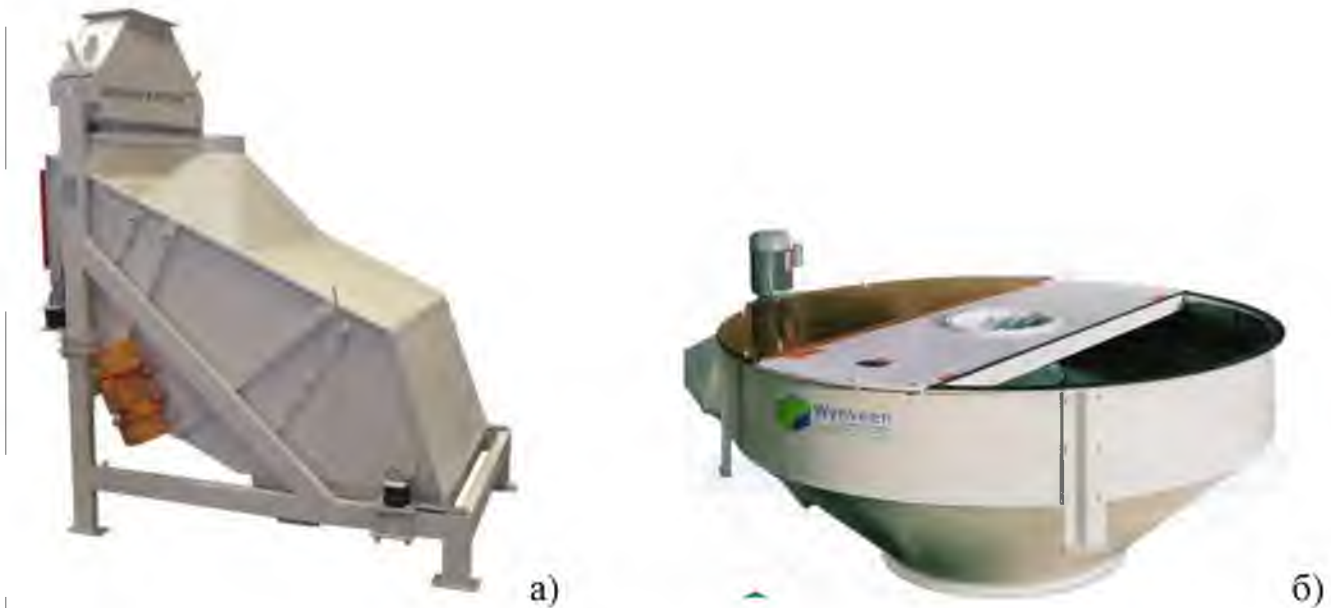


Рис. 3.16. Технічні засоби відомих компаній для просівання гранул:
 а – просіювач фірми ІСК (Україна); б – обертовий просіювач Cuylos (ЄС)

Віброрешітний сортувачі типу БСХ (рис. 3.17) випускаються Хорольським механічним заводом. Принцип дії його аналогічний сепаратору "Совокрим" для рівномірного завантаження сит по ширині зроблено два приймальні патрубки. Сепаратор може бути укомплектовано пневмосепаруючим каналом. Технічна характеристика родини сортувальників БСХ приведена в таблиці 3.4.

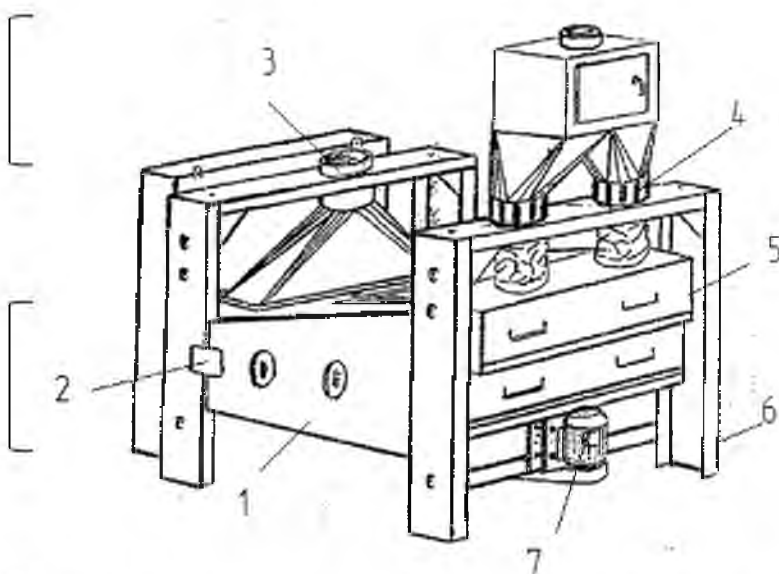


Рис. 3.17. Віброрешітний сепаратор БСХ:

1 – решітний корпус; 2 – пружні опори; 3 – патрубок аспірації; 4 – приймальні патрубки; 5 – решітні рами; 6 – основа; 7 – вібратор

Таблиця 3.4. Технічна характеристика вібросортувальників БСХ

Показники	Модель		
	БСХ – 3	БСХ – 6	БСХ – 12
Продуктивність, т/год.			
– в елеваторному режимі	3	6	12
– в очисному відділенні підприємства	12	25	40
Технологічна ефективність, % :			
– в елеваторному режимі	80	75	80
– в очисному відділенні підприємства	20	20	20
Встановлена потужність, кВт	0,75	0,75	1,10
Частота коливань корпусу решіт, Гц	15,6	15,6	15,6
Амплітуда коливань, мм	4,5...5,5	4,5...5,5	4,5...5,5
Нахил корпусу, град.	6...12 ⁰	6...12 ⁰	6...12 ⁰
Габаритні розміри, мм: довжина	1530	1900	2447
ширина	1055	1355	1355
висота	1440	2104	2154

Враховуючи високу технологічність процесу та відносно доступну ціну даної техніки від вітчизняних виробників, приймаємо за основу вібраційну сортувальну машину такого типу як прототип для сортування біопаливних гранул в пропонуваній нам лінії господарства (див. розд. 2).

3.5.1. Розробка функціональної схеми перспективного сортувальника.

Запропонований для твердопаливної лінії господарства решітний просіювач паливних гранул вібраційного типу (рис. 3.18), складається із рами 12 і решітного корпусу 13, які з'єднані пружинами 8. Коливальний рух решітного корпусу задають два вібратори 5. У решітному корпусі змонтовано два яруси сортувальних 3, 4 і підсівних 6, 7 решіт, які від забивання очищаються гумовими кульками. Для обмеження амплітуди коливань корпусу під час пуску і зупинки сортувальника служать амортизатори 11. Решітні рами встановлюються з торця машини і фіксуються гвинтами, кут нахилу решіт – 7°.

Технологічний процес у сортувачі здійснюється таким чином. Гранульована маса, поступає в живильник 1, далі з похилих дощок 2 поступає на решето 3 верхнього ярусу, з якого сходом відділяється крупна домішка. Гранули проходять через решета 3, 4 поступають на підсівні решета другого ярусу 6, 7. Очищена маса виводиться сходом з підсівних решіт і видаляється назовні через лоток з фартухом 10. Дрібна домішка

проходом через підсівне решето, потрапляє на днище сортувальника і виводяться з машини.

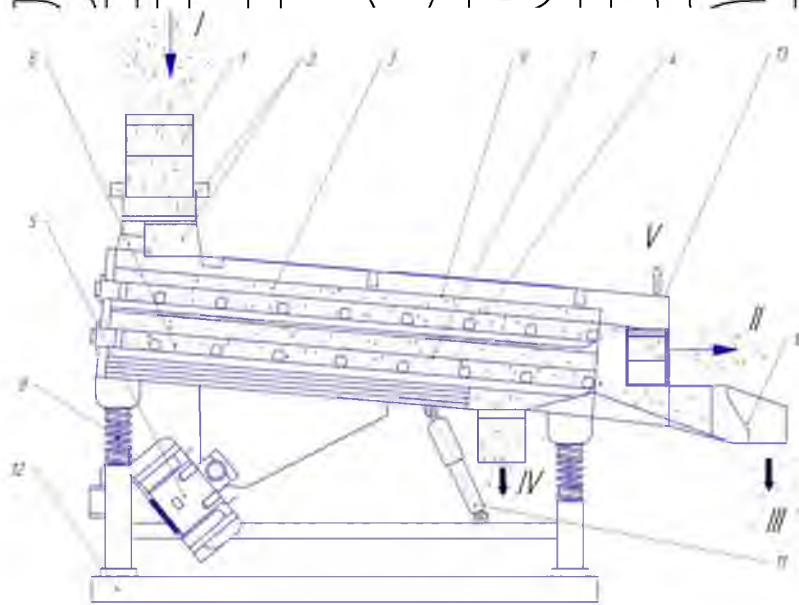


Рис. 3.18. Функціональна схема вібраційного решітного сортувальника гранул:

1 – завантажувальний патрубков; 2 – скатні дошки; 3, 4 – верхній ярус решіт; 5 – вібратор; 6, 7 – нижній ярус решіт; 8 – пружина; 9 – гумова накладка; 10 – клапан; 11 – амортизатор; 12 – рама; 13 – корпус; I – неочищена маса; II – велика домішка; III – очищена маса; IV – дрібна і легка домішка; V – повітря

Очищення решіт здійснюється гумовими кульками, які під час коливань грохота переміщуються по їх поверхні. Амплітуда коливань решітного корпусу регулюється в межах 3..6 мм за рахунок зміни розташування мас вібраторів відносно осі обертання. Частота коливань решітного корпусу ≈ 75 рад/с. Гумові прокладки 9 забезпечують більш рівномірний розподіл гранул на решітних рамах і більш якісну сепарацію гранульованого матеріалу.

Висновок до розділу 2

Проведений аналіз процесів роботи та конструкцій засобів для сортування і очищення біопаливних гранул свідчить про те, що для умов виробництва в

господарстві доцільною конструкцією сортувальника є виконання з решітними

похилими робочими органами вібраційного коливального типу (рис. 3.18).

Розділ 4.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СОРТУВАННЯ ГРАНУЛ ТА ОБІРМУНТУВАННЯ
ПАРАМЕТРІВ МАШИНИ

4.1. Огляд результатів досліджень решітної сепарації

Фізика процесів сепарації гранульованих матеріалів і сипких сумішей заснована на особливостях динаміки і кінетики систем з складною структурою, що складається з частинок різної форми і щільності. Математичні моделі для опису процесів сепарації, природно, розвивалися, починаючи з різних механічних моделей [16]. У цій роботі вивчався вплив основних параметрів динамічних систем на якість сепарації сипких сумішей.

Проте складність і випадкові відхилення в найважливіших параметрах динамічних систем, граничних умов і взаємодії частинок обумовлює важливість статистичного підходу до опису процесу сепарації і розгляду кінетичних моделей. Розвиток кінетичних моделей процесу сепарації знайшло віддзеркалення в роботі [17]. У багатьох випадках для опису процесів сепарації сипких сумішей простішою і зручнішою є модель гідродинаміки, що отримується з кінетики після процедури огрублення [18, 19].

Гранульоване середовище - система багатьох макроскопічних гетерогенних частинок з взаємодіями дисипативного (необеротного) характеру. Експерименти і комп'ютерні моделювання [20-24] пояснили різні механізми впливу на сегрегацію гранульованого середовища частоти і амплітуди вібрації, розміру, форми частинок і їх розподілу по розмірах.

Зокрема, в [24] виконано комп'ютерне моделювання динаміки гранульованого середовища на основі методу Монте-Карло. Отримана залежність висоти підйому включення від відношення щільності між включенням і частинками оточення. При цьому положення включення виходить з балансу між силою Архімеда і вагою включення.

Схильні до дії вібрації, гранульовані матеріали в локальному масштабі здійснюють випадкові рухи в результаті зіткнень між гранулами. Ці рухи подібні до рухів молекул в газі, що є основою для використання кінетичної теорії при отриманні рівнянь континууму для польових і поточкових змінних в гранульованих середовищах [18, 25].

Процеси вібросепарування решетами привертала увагу багатьох вітчизняних дослідників, які вивчали вплив різних чинників на основні елементи процесу: вібропереміщення, **самосортування (сегрегацію)**, сортування частинок через отвори і очищення останніх від застряглих частинок.

Конструкції решіт вельми різноманітні, проте їх можна згрупувати по кінематичних ознаках: що коливаються (тихохідні), вібраційні (швидкохідні), відцентрові і вібровідцентрові. Відповідно до цих основних груп решіт проведемо аналіз і огляд відомих досліджень елементів процесів вібросепарування.

Задачею первинного очищення сипкого вороху є відокремлення біологічно цінного матеріалу за питомою вагою від сторонніх домішок в короткі строки з мінімальними затратами. На практиці біологічну цінність матеріалу настигне визначають ознаками, які найбільше корелюють з індивідуальними розмірами частинок. Розділ матеріалу на решетах по товщині і ширині є найбільш розповсюдженим прийомом очищення та сортування. Створено багато типів решітних робочих органів, які в залежності від технічного рівня та технологічної ефективності можна умовно віднести до кількох поколінь [11].

Перші три покоління (рис. 4.1) – це засоби, сепарація в яких здійснюється за рахунок сили ваги оброблюваного матеріалу. В машинах четвертого та п'ятого покоління до рушійних сил сепарації додаються сили інерції, що власно і визначають технологічний процес.

До першого покоління належать нерухомі плоскі решета [12], що встановлюються під великим кутом до горизонту і мають пробивні полотна. Гранульований ворох сепарується на решітній поверхні, рухаючись під дією сили тяжіння. Такі сепаратори прості за конструкцією, не мають привода, але ж і пристроїв для очищення робочих отворів від забивання.

Подальшого розвитку сепаратори першого покоління дістали після застосування дугоподібних решіт [13], сепарація на яких здійснюється в події гравітаційних та інерційних сил.

До другого покоління відносяться тихохідні решета барабанного типу, які досконаліші технологічно та мають складнішу конструкцію [14]. Для усунення забивання робочих отворів, застосовуються нерухомі щітки та ті, що обертаються, різні ударні пристрої та ін. Питома продуктивність досягає $300 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год.}$ при повноті виділення 0,7.

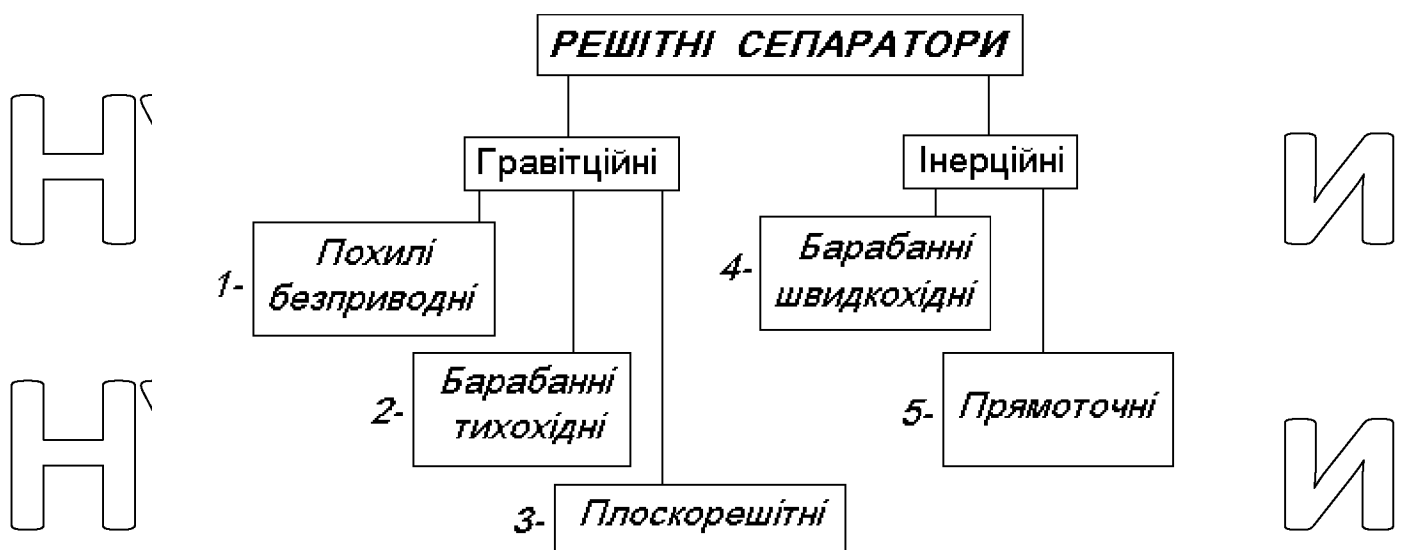


Рис. 4.1. Класифікація поколінь решітних сепараторних сортувальників

Найбільшого поширення набули гравітаційні плоскорешітні сепаратори третього покоління, що виконують коливальні або вібраційні рухи. Коливальні решета приводяться в дію ексцентриковим або інерційним коливальником. Коливання можуть бути горизонтальними або під кутом до горизонту. За конструкцією решітне полотно коливальних сортувальників може бути перфорованим плоским, перфорованим гофрованим або тільки гофрованим. Питома продуктивність сепарації на плоских решетах становить $1100 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год.}$ при повноті виділення до 0,85 [15]. Вітчизняним виробником плоских решіт є Харківський завод ім. Фрунзе.

Сепарація на перфорованих гофрованих полотнах характеризується питомою продуктивністю вищою, ніж при розділенні на плоских полотнах на 50-85 % при

аналогічних значеннях повноти виділення [16]. Питома продуктивність сортувальників з гофрованими решетами в 2,1-2,3 раза вища, ніж з плоскими перфорованими при майже рівній повноті виділення [7].

Для підвищення продуктивності плоскорешітних сортувальників було запропоновано [18] збільшити корисну площу решета, застосувавши поверхню, утворену паралельними струнами. Завдяки цьому питома продуктивність збільшилась до 12000 кг/м²/год. при повноті виділення 0,7.

Вібраційні решета [19, 20] відрізняються від коливальних значно більшою частотою 1200-2000 колів./хв. і меншою амплітудою коливань 1-2 мм. Коливання можуть бути направлені по вертикалі, під кутом або бути круговими у вертикальній площині. Питома продуктивність таких вібро-сортувальників становить 2500-3000 кг/м²/год. [15].

Сепаратори третього покоління достатньо надійні і значно продуктивніші, ніж машини попередніх поколінь. Проте їм притаманні такі недоліки, як складність конструкції, необхідність врівноваження сил інерції та ін. Крім того, вони мають також основний недолік, характерний для групи гравітаційних машин, скінченність та відносно мала величина сили гравітації, яка є рушійною силою сепарування.

Сепаратори четвертого покоління характеризуються використанням інерційних сил для інтенсифікації процесу сепарації. До цієї групи відносяться віброцентрифуги з вертикальною або похилою віссю обертання та швидкохідні циліндричні решета, що мають вертикальну, горизонтальну або похилу вісь обертання, оснащені активними чи пасивними пристроями для підвищення ефективності сепарації. Вони мають пристрої для очищення робочих отворів від забивання. Особливістю роботи вказаних машин є те, що технологічний процес протікає на їх робочих органах при значеннях показника кінематичного режиму: $K > 1$. Питома продуктивність сепарації на віброцентрифугі з похилою віссю обертання становить близько 3200 кг/м²/год. при повноті виділення 0,75-0,8 [21].

Досліджувався також [26-28] вплив на продуктивність процесу наступних чинників: завантаження решіт і вологості матеріалу, характеру розташування круглих і довгастих отворів, «живої» площі решета і кінематичних режимів його роботи.

Встановлено, що продуктивність процесу прямо пропорційна «живій» площі, майже назад пропорційна процентному змісту вологості частинок, визначається прискоренням коливань решета $\omega^2 A = 9,4 \dots 13,2 \text{ м/с}^2$, де A - амплітуда, ω - частота коливань.

Були проведені [29] експериментальні і теоретичні дослідження сепарації плоскими решетами, що коливалися. Автором представлена класифікація безлічі чинників, що впливають на ефективність процесу. Встановлено, що прямий вплив на переміщення сипкої суміші по решету надають, так звані, «кінематичні» чинники: напрям коливань решета, кут його нахилу, амплітуда і частота коливань, максимальне прискорення решета, коефіцієнт тертя сипкої суміші об решето. Не роблять прямого впливу на переміщення сипкої суміші «основні» чинники: ширина і довжина решета, початкове завантаження, відносний зміст дрібної фракції, співвідношення розмірів частинок і отворів. У «додаткові» автором об'єднані такі чинники, як форма отворів, вологість частинок, фізико-математичні властивості домішок, невітряний потік, очищувачі, технічний стан решета і решітного стану, організація завантаження і розвантаження і тому подібне. Автором встановлений інтегральний чинник: прискорення коливань решета $\omega^2 A = 9 \dots 10 \text{ м/с}^2$ при амплітуді $A = 5 \dots 20 \text{ мм}$.

Встановленню закономірностей елементів процесів сепарації присвячені роботи [24-26], які, на підставі чисельних експериментальних досліджень, встановив аналітичні залежності для маси матеріалу, що просіялося, на даній довжині решета, витягання прохідної фракції, прискорення коливань решета. За даними автора, при розділенні сипкої суміші пшениці на решеті з круглими отворами $\varnothing 2,29 \text{ мм}$, з питомими навантаженнями $4,8 \dots 20,0 \text{ кг/см год.}$, з прискоренням коливань, що рекомендується, - $\omega^2 A = 0,64 \dots 6,4 \text{ м/с}^2$.

Таким чином, з приведених досліджень виходить, що інтегральним чинником, що визначає оптимальне протікання процесів сепарації на решетах, що коливаються, є прискорення коливань решета, діапазон змін якого достатньо великий. Проте існують інші дослідження, в яких затверджується, що основний вплив на сепарацію надає відносна швидкість прохідних частинок по решету, залежна від швидкості ωA його коливань.

НУБІП України

Так, в своїх фундаментальних роботах [30-32] створені теоретичні основи для розрахунку технологічної ефективності процесів сепарації на решетах, що коливаються. Встановлено, що при сепарації сипкої суміші пшениці, жита, вівса рекомендується $\omega A = 36$ м/с при ступеню виділення $\varepsilon_p = 0,8 \dots 0,87$ і питомому завантаженню $q = 100$ кг/см год. При цьому відносна швидкість переміщення частинок по решету має бути такою, щоб забезпечувалося найбільше попадання прохідних частинок в його отвори.

Проте відносна швидкість руху частинки в інтервалі отвору не залишається постійною, критичне значення її величини уточнене [33] за наявності опору середовища.

У дослідженнях [34] відзначають, що при кожному рівні завантаження плоского решета, що коливається, існує оптимальна швидкість сипкої суміші, величина якої знаходиться між зонами перевантаження і недовантаження. У зв'язку з цим, зона якнайкращого сортування на решеті мала. Тому [35] запропоновано збільшувати кут напряду коливань від початку решета до його кінця або виготовляти решето із змінною кривизною, щоб забезпечити максимально можливі показники сепарації по всій довжині решета підтримкою величини оптимальної відносної швидкості переміщення частинок, залежної від завантаження.

Дослідженнями [36, 37] встановлено, що оптимальне протікання процесів сепарації решетами вимагає рівномірного навантаження по їх ширині. Запропоновано для регулювання навантаження використовувати САР, що підвищило продуктивність процесу на 20...30%.

Проведені аналогічні дослідження [38, 39]. Для забезпечення рівномірного розподілу сипкої суміші ділянки поверхні решета були виконані з різним кутом нахилу, що призводило до зниження відносної швидкості переміщення частинок. Їм було отримано рівняння форми поверхні решета, на якому істотно підвищилася продуктивність сепарації.

Проведений огляд досліджень дозволив [40] зробити висновок про те, що по одному з визначальних чинників - кінематичному режиму є розбіжності, і його значення у різних авторів різні. Це зажадало досліджувати процеси сепарації окремо для олійних

гранул. Встановлено, що максимальна ефективність досягається при оптимальній швидкості продукту, рівній 0,17 м/с і не залежить від амплітуди коливань. При даній амплітуді оптимальне значення середньої відносної швидкості не залежить від кута нахилу решета, що коливається.

Вплив повітряного потоку на середню швидкість переміщення матеріалу і на процеси сепарації решетами з круглими отворами досліджено [40]. Як встановлено, продуктивність процесу на решеті зменшується прямо пропорційно квадрату швидкості повітряного потоку. Разом з тим, здатність сортування решета з повітряним потоком, що перевищує 5 м/с, нижча за сортування решета, що працює без повітряного потоку.

У відомих дослідженнях переміщення сипкої суміші ототожнюється з рухом матеріальної частинки, рівняння, рухи якої автори, як правило, екадають, ґрунтуючись на [42, 43], [33]. Проте такий підхід виключає розгляд самосортування сипкої суміші, яке найчастіше визначає ефективність процесів сепарації.

При само сортуванні частинок по розмірах мінімальний час осадження дрібних частинок можна отримати при другому критичному прискоренні. Коефіцієнт C_0 характеризує опір сипкого тіла зануренню дрібною частинкою, залежить від співвідношення її розмірів з розмірами навколишніх частинок. Із зменшенням середнього умовного розміру прохідної частинки коефіцієнт C_0 зменшується до певної межі, потім знов збільшується. Автор робить висновок про те, що останню обставину можна пояснити проявом сил молекулярного і електростатичного тяжіння. При масовому процесі самосортування істотно виявляються риси стохастичності процесу унаслідок імовірнісного характеру розподілу прохідних частинок по розмірах і формі, а також випадкового характеру їх взаємодії.

Встановленню взаємозв'язку фізико-механічних властивостей сипкого матеріалу, кінематичних параметрів з процесом сегрегації присвячена робота [44]. Як встановлено, на процес сегрегації роблять вплив розміри і щільність частинок, співвідношення між цими величинами, характеристики частинок і решета.

Вібраційний метод є одним з найбільш істотних чинників інтенсифікації процесів сепарації сипкої суміші. Розробці основ вібросепарації присвячені дослідження [45-46].

У основу математичної моделі шару сипкої суміші закладена ідея Рейнольдса про єдність перенесення теплової і механічної енергії. Під дією енергії коливань, що підводиться до сипкої суміші, відбувається «розрідження» суміші, яка поводить себе подібно до системи з в'язким опором, тобто, як рідина. Величина механічної енергії, що підводиться, визначається площею контактної поверхні частинок, яка прямо пропорційна приведеному розміру частинок.

Фундаментальними роботами [47-48] створені механіко-технологічні основи теорії вібро-сепарування сипкої суміші і вібраційних очисних машин. Розроблена теорія елементів процесу: вібраційного переміщення, сегрегації насіння в шарі, сортування насіння через отвори решіт і очищення останніх від застряглих частинок. Запропонований і унрваджений у виробництво новий клас просівальних машин, решета яких здійснюють просторовий рух. Встановлені оптимальні по просіюванню закони рухів решіт, а також режими їх руху, що рекомендуються. Проведена класифікація основних режимів дії робочих органів на гранульовану суміш. Кращими режимами для вібро-розрідження є режими з амплітудою вертикальних вібрацій в $1,5 \dots 2,5 g$ ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$), а вібро-кипіння - $3,3 \dots 3,7 g$.

При вивченні процесів сепарації віброрешетом [49] встановлено, що фізичну суть процесу відображає швидкісний чинник ωA , а не динамічний $\omega^2 A$, як для тих, що коливаються. Їм було встановлено, що як зниження відносної швидкості сипкої суміші, так і збільшення приводять до погіршення показників процесу. Середня відносна швидкість частинок суміші при малих значеннях амплітуд має пряму залежність від частоти вібрацій, а при великих - залежить від них обох.

Основні положення кінетичної теорії сепарації розроблені [50]. Для виявлення закономірностей процесів сепарації на решітах, встановлення залежності ефективності процесу розділення за розміром і щільністю частинок від параметрів механічного режиму і навантаження автор застосував математичний апарат теорії випадкових процесів. «Блукання» частинок в шарі представляється безперервним випадковим процесом Марківського типу і описується диференціальним рівнянням Колмогорова-Фоккера-Планка.

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (cw) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} (bw) \quad (4.1)$$

де $w(z, t)$ - щільність вірогідності, яка по сенсу $w(z, t)dz$ визначає вірогідність для частинки в момент t опинитися у вказаному об'ємі; c - коефіцієнт сепарації; b - коефіцієнт перемішування, що має сенс коефіцієнта дифузії.

Викладена кінетика сепарації по розмірах насіння при не утрудненому і утрудненому просюванні частинок в напівбезмежному шарі сипкої суміші, в шарі кінцевої і змінної товщини. Описана кінетика сепарації по щільності насіння за відсутності їх «віднесення». При розрахунку витягання передбачалося, що суміш, що сепарується, подається на початку процесу на поверхню «ліжка» завтовшки h тонким шаром: $w(z, 0) = \delta(z - h)$, де $\delta(z)$ - дельта-функція. Ефективність витягання прохідних частинок визначається єдиним універсальним параметром $H = h/\sqrt{2bt}$. Отримано рівняння кінетики сортування, по аналогії з класичним завданням математичної фізики про потік тепла в кулі. Знайдене рішення дозволяє обчислювати «дифузійний» потік прохідних частинок, що перетинає одиницю площі решета. При утрудненому просюванні враховується коефіцієнт сортування $k = bh/h$, де $h = ch/2b$. Величина k залежить по лінійному закону від концентрації прохідних частинок. Проте для обчислення ефективності сепарації необхідні попередні дослідження для визначення коефіцієнтів b, c і k , а також швидкості переміщення сипкої суміші при конкретних значеннях кінематичних параметрів. При розробці кінетичної теорії сепарації дослідником не враховані джерела і стоки прохідних і сходових частинок в кінетичних рівняннях, які утворюють два різних потоки. Коефіцієнти дифузії в загальному випадку, будуть різні для прохідних і сходових частинок.

Аналіз приведених вище відомих досліджень свідчить, що автори, розглядаючи гранульовану суміш як пошарове сипке тіло встановлюють вплив на його сепарацію кінематичних режимів роботи віброрешіт. Комплексний підхід з урахуванням дії інтенсифікаторів відсутній.

Сепарація циліндровим решетом, що здійснює кругові коливання в плоскості свого обертання, є складним процесом, що складається з ряду послідовно протікаючих етапів. Для інтенсифікації фази самосортування необхідна високоякісна рухливість

частинок. Для сортування через отвори має бути рухливість частинок в плоскості решета з найменшою відносною швидкістю і з найбільшою силою нормального тиску. Продуктивність сепарації таким решетом в три рази вища, ніж плоским.

Питома продуктивність сепарації циліндровими решетами з вертикальною віссю обертання, осьовими коливаннями і з копіюючими очищувачами (КО) найбільша. Це пояснюється тим, що сортування частинок сипкої суміші відбувається під дією відцентрової сили, а переміщення уздовж поверхні решета - під дією сили інерції коливань і сили тяжіння. У відомих же вібраційно-відцентрових сепараторах ці елементи процесів сепарації відбуваються під дією сил, що становлять. Професором Гончаровим Є.С. обґрунтована і рекомендована циліндрова форма сепаруючої поверхні як найбільш раціональна. Встановлені оптимальні кінематичні параметри роботи решіт (додаток А).

У цій таблиці приведені результати досліджень показників сепарації сипкої суміші такими, що плоскими коливаються, вібраційними і вібровідцентровими решетами різної форми з різним характером руху при встановлених оптимальних кінематичних режимах їх роботи.

Як видно, має місце великий розкид значень інтегральних параметрів: прискорення і швидкості коливань. Очевидно, математичні моделі, прийняті авторами для опису процесів сепарації частинок решетами, вимагають уточнення і розвитку. Багато явищ в процесах сепарації гранульованих сумішей авторами було упущено, а ті, що розглядалися, спрощені. Інтенсифікація виборешітного сепарації не розглядалися.

4.2. Перспективні напрямки досліджень сепарації дискретних матеріалів

Запатентовані решета з гексагональною формою отвору, які при заміні решіт з круглими отворами значно підвищують продуктивність техніки для сепарування дискретних матеріалів (рис. 4.2).

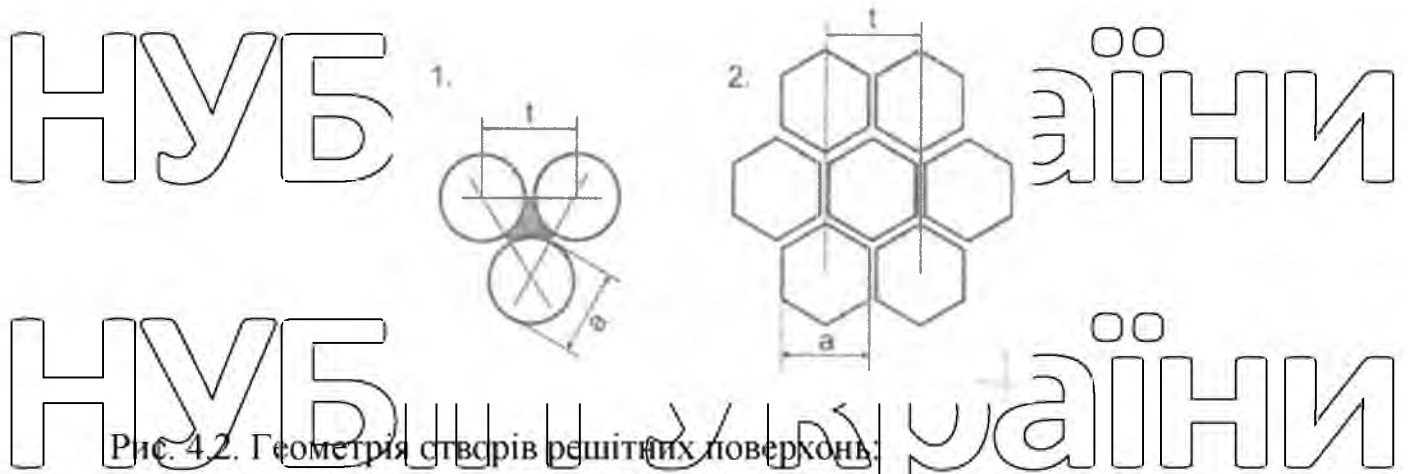


Рис. 4.2. Геометрія створів решітних поверхонь:

1-класичний варіант; 2-перспективний варіант з гексагональною формою

Сутність технічного рішення в тому, що сама форма круглого отвору на решетах традиційного виконання, навіть при малому розмірі перемички між отворами не дозволяє забезпечити максимально можливий живий перетин через «зірочки», які залишаються між отворами. Зовсім інша справа – отвір шестигранної форми.

Решета перспективні (Фадеева) по ліцензійному договору почало випускати ТОВ ЗЕТ «Сокол» (м. Харків). За зрозумілими причинами, вирішено було почати виготовлення решіт з характерним розміром для відбору дрібного сміття, оскільки саме підсівні решета стримують продуктивність всіх очисних машин. Поки що виробляються решета таких розмірів 1,5; 2,0; 3,0; 3,5; 4,0; 6,0. Порівняння живого перетину решіт традиційного виконання і перспективних та свідчать про 20-85 % відсотків підвищення ефективності роботи машин.

Приведені порівняння (табл. 4.1, рис. 4.3) показують, що підвищення ефективності роботи машин, якщо тільки розглядати ефективність розсіву при збільшенні живого перетину підсівних решіт, складає до 90% і більше.

Таблиця 4.1. Технічна характеристика решіт для сортування дискретних мас

Решета традиційного виконання (круглі)		Решета перспективні (Фадеева)			Підвищення ефективності (%)	
a	t	F(%)	a	товщина листа	F(%)	Δ еф.
1,5	2,8	26	1,5	0,8	62	240
2,0	2,5	53,8	2,0	0,8	55	2,2

2,0	2,7	49,8	2,0	0,8	55	10,4
2,0	3,4	31,4	2,0	0,8	55	75,2
2,0	3,5	29,6	2,0	0,8	55	85,8
3,0	4,5	40,3	3,0	0,8	62,4	55
3,0	4,8	35,4	3,0	0,8	62,4	76
3,0	5	32,6	3,0	0,8	62,4	91
3,5	5,5	36,7	3,5	0,8	69,5	89,4
4,0	6	40,3	4,0	0,8	69,4	72
4,0		29,6	4,0	0,8	69,4	235
6,0		45,2	6,0	1,0	73,5	62,6
6,0		44,1	6,0	1,0	73,5	60,6

Сьогодні готуються до випуску перспективні решета других типорозмірів.

Середнє значення ефективності при заміні традиційних решіт з круглими отворами на решето перспективне приведено в графіку порівняння (рис. 4.3).

Припустимо, що після встановлення решіт Фадеева продуктивність очисної машини піднялася на 70% місячної норми.

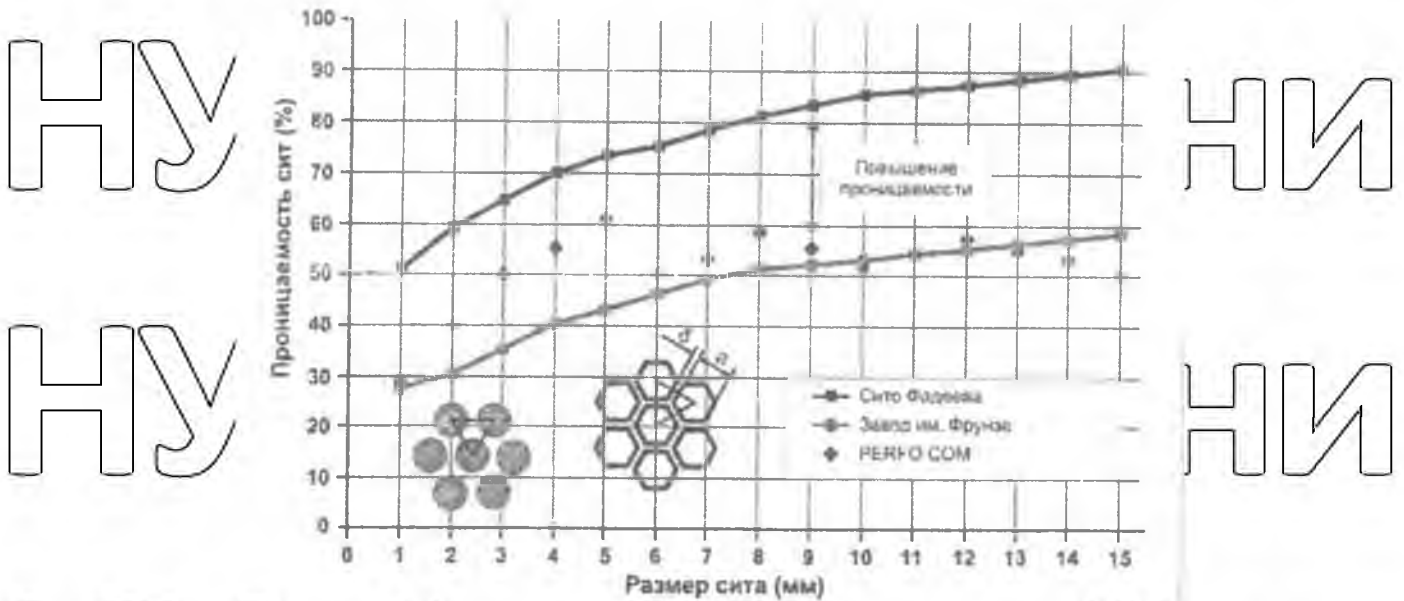


Рис. 4.3. Графічне порівняння показників сортування класичного та перспективного решіт

Таблиця 4.2. Економічний ефект при використанні перспективних решіт (умови для розрахунку)

Режим роботи	у дві зміни (15 годин в сутки)
Споживча потужність разом з аспірацією	10 кВт. год.

Вартість 1 кВт/ч електроенергії	1 грн.
Кількість обслуговуючого персоналу	2 людини
Кількість робочих днів за місяць	21 день
Загальний час роботи за місяць	21 день * 15 ч = 315 ч
Заробітна плата на одну людину в день	95 грн.
Відрахування в Пенсійний Фонд	37,65%
Розрахунок місячних затрат при використанні решіт традиційного виконання	
Ціна електроенергії	315 * 1,0 * 1,0 = 3150 грн.
Заробітна плата	21 * 2 * 95 = 3990 грн.
Відрахування в Пенсійний Фонд	3990 * 0,3765 = 1502 грн.
Всього затрат за місяць	3150 + 3990 + 1502 = 8642 грн.

Всього економічний ефект за місяць при збільшенні продуктивності машини на 70% після установки решіт Фадєєва складає $8642,0 * 70\% = 6050,0$ грн. І це тільки в разі заміни решіт.

4.3. Методика розрахунків плоско-решітних коливальних машин

Продуктивність решета визначається живим його перерізом k_c , який дорівнює відношенню площі отворів, до площі всього решета, тобто

$$k_c = (S_o / S) \cdot 100\%$$

(4.3)

де S_o, S – площа отворів і площа всього решета відповідно.

Живий переріз штампованих решіт не перевищує 50 %, плетених – 70 %. Решета позначені номерами, які відповідають розміру сторони отвору в міліметрах. Номер полотна відповідає робочому розміру його отвору, помноженому на 10.

За допомогою решіт визначають гранулометричний склад продукції, тобто відсотковий вміст фракції з відповідним розміром частинок у загальній масі продукту. При решітному аналізі продукт просіюють послідовно крізь декілька

решіт, розміри отворів яких зменшуються за модулем. Внаслідок такого сортування отримують ряд фракцій з різними розмірами частинок. За даними решітного аналізу будують криві розподілу часток за розмірами. Просіювати матеріал можна крізь одне решето або послідовно крізь декілька решіт. При багаторазовому просіюванні спочатку відділяють дрібні частинки, а потім більші, якщо решета розміщені в одній площині і розміри їхніх отворів збільшуються в напрямку переміщення матеріалу. Якщо спочатку треба відділити більші частинки, то решета розміщують одне над одним, а розміри отворів зменшують зверху вниз. Можливі комбіновані способи розміщення решіт. Ефективність сортування оцінюють коефіцієнтом корисної дії

решіт, який є відношенням маси проходу до маси часток такого ж розміру у вихідній суміші.

Матеріали просіюються під час їх переміщення відносно робочої поверхні решета. Відносно переміщення можна забезпечити на нерухомому решеті, що встановлене до горизонту під кутом, більшим, ніж кут тертя гранул. Найчастіше відносно переміщення продукту виконують на рухомих решетах.

Значного поширення набули плоскі кельвні грохоти (рис. 4.4). Вони складаються з горизонтального або похилого решета 1 з бортами, яке розміщене в решітному корпусі 2 підвішеному до рами машини підвісками 3. Грохот із решетами здійснює зворотно-поступальний рух за допомогою кривошипно-шатунного або ексцентрикового механізму 4. Гранульована суміш переміщується по решеті, прохідна їй фракція – менші за розмірами гранули чим прохідні отвори в решеті потрапляє в нижній короб з якого виводиться назовні, а сходова – в лоток, з якого відводиться транспортним механізмом на подальшу обробку.

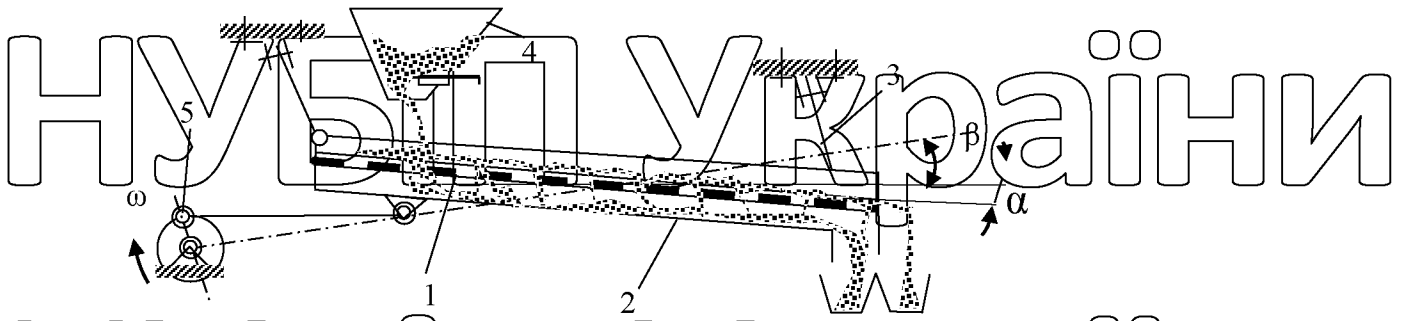


Рис. 4.4. Схема коливного грохоту.

1 – решето; 2 – решітний корпус; 3 – пружні підвіски; 4 – живильник; 5 – ексцентриковий механізм; ω – кутова швидкість ексцентрика; α – кут нахилу площини решета до горизонту; β – кут напрямку коливань решета

Розділення гранульованої суміші коливними решетами уможливується при виникненні відносного руху гранул на решеті. З цієї умови виведено формулу для визначення кутової швидкості ω , рад/с, кривошипа коливного механізму сортувальника:

$$\omega > \omega_k = \sqrt{\frac{g \cdot \operatorname{tg}(\varphi \mp \alpha)}{r}}, \quad (4.4)$$

де ω_k – критична кутова швидкість кривошипа, $g = 9,8$ – прискорення вільного падіння, м/с²; r – радіус кривошипа, м; $\varphi = 37 \dots 42$ – кут тертя гранул по решету, град; $\alpha = 3 \dots 14$ – кут нахилу решета, град.

Знак “–” у формулі (4.4) беруть при переміщенні гранул вниз, “+” – при переміщенні нагору.

На якість сортування сумішей істотно впливає режим коливання плоских решіт, який оцінюють показником кінематичного режиму K_p ,

$$K_p = \omega^2 r / g, \quad (4.5)$$

Незважаючи на велику кількість робіт з вивчення процесів сепарації сумішей на коливних решетах, до цього часу не встановлено аналітичних залежностей для вибору кінематичного режиму роботи решіт, зокрема показника K_p , який забезпечує розділення гранульованої суміші із заданою повнотою. Тому кінематичні режими роботи сучасних сортувальників установлюють на основі дослідно-конструкторських розробок. Так, у очисних машинах і агрегатах частота коливань решіт змінюється в межах $\omega = 36 \dots 50$ рад/с. Якщо врахувати, що амплітуда коливань становить 3...10 мм,

то діапазон зміни максимального прискорення решіт – $9...25 \text{ м/с}^2$, а показник кінематичного режиму – $K_p = 0,40...2,54$.

Вибравши граничне нижнє $K_{p \min} = 0,40$ і верхнє $K_{p \max} = 2,54$ значення показника кінематичного режиму, обчислюють граничні частоти коливань ω_{\min} і ω_{\max} , рад/с, за формулами

$$\omega_{\min} = \sqrt{\frac{g}{r} K_{p \min}}; \quad \omega_{\max} = \sqrt{\frac{g}{r} K_{p \max}} \quad (4.6; 4.7)$$

При горизонтальних коливаннях решіт граничні показники $K_{p \min}$ і $K_{p \max}$

зумовлені тільки значеннями кута нахилу площини решета до горизонту і кутом тертя гранул по решету:

$$K_{p \min} = \operatorname{tg}(\alpha - \varphi), \quad K_{p \max} = \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (4.8)$$

Залежно від значень K_p можливий різний характер відносного руху гранули (ізолюваного одиначного гранул) по решету без відриву. При $K_p \leq K_{p \min}$ гранули перебуватиме у відносному покої; при $K_{p \min} < K_p < K_{p \max}$ воно переміщуватиметься тільки вниз, а при $K_p > K_{p \max}$ – тільки вгору.

При розподілі сипкого матеріалу на кілька фракцій грохоти мають декілька решіт. Так, сортувачі, які використовують у виробництві для сортування гранул на 4-6 фракцій перед лущенням, оснащені чотирма – шістьма решетами з різними розмірами отворів.

Ширину решета коливань грохотів b , м, визначають за формулою

$$b = \frac{Q}{q_B} \quad (4.9)$$

а довжину l , м, – за формулою

$$l = \frac{q_B}{q_F} = \frac{Q}{q_F B} \quad (4.10)$$

де Q – задана продуктивність сортувальника, кг/год; q_B – продуктивність, віднесена до одиниці ширини решета, кг/(год·м) (при сепаруванні зерна для сортувальних і підсівних решіт $q_B = 2000 \dots 3000$ кг/(год·м)); q_F – питома продуктивність, віднесена до одиниці площі решета, кг/(год·м²).

Питома продуктивність q_F визначають за такими формулами:

- для сортувальних і підсівних решіт

$$q_F = k \frac{10^4 \lg \varepsilon}{3,45 + 0,0745 \beta} \quad (4.11)$$

- для гранульних решіт з круглими отворами діаметром $d > 6$ мм

$$q_F = 600(d - 4,5), \quad (4.12)$$

де k – відносна продуктивність, тобто відношення питомої продуктивності сортувальника при очищенні до питомої продуктивності сортувальника при очищенні деревних гранул; ε – повнота розділення (для підготовчих відділень млинів і крупорушок $\varepsilon = 0,7 \dots 0,8$); $\beta = 15^\circ$ – кут напрямку коливань решета.

Потужність N , кВт привода решітного корпусу визначають за формулою:

$$N = 2 \cdot 10^{-3} k \omega^3 r^2 (m_B + m_3) / \pi, \quad (4.13)$$

де $k = 1,1 \dots 1,3$ – коефіцієнт, який враховує втрати на подолання сил тертя в шарнірах підвіски решітного корпусу; ω – кутова швидкість кривошипа, рад/с; r – радіус кривошипа, м; m_B – маса решітного корпусу, кг; m_3 – маса шару гранул на решетах

$$m_3 = Sh\rho, \quad (4.13,a)$$

де S – площа решіт, м²; h – висота шару гранул, м; ρ – густина гранул, кг/м³.

Продуктивність просіювальних машин із плоским решетами залежить від багатьох факторів. Основні ускладнення при теоретичному визначенні продуктивності полягають у встановленні товщини шару на решета. Для орієнтованого визначення продуктивності можна скористатися практичними даними: приймати продуктивність решета площею 1 м² близько 2 кг/с.

Продуктивність грохота (кг/с) з поверхнею прямокутної форми, визначається за формулою

$$\Pi = hbv\rho, \quad (4.14)$$

де h – товщина шару на початку просіювальної поверхні, м;

b – ширина просіювальної поверхні, м;

v – швидкість руху матеріалу по просіювальній поверхні, м/с;

ρ – щільність (насіпна маса) матеріалу, кг/м³.

4.4. Розрахунок динамічних параметрів вібратора сортувальника

Основні параметри системи – маса рухомої частини та коефіцієнти жорсткості пружинних опор. Ці параметри розраховуємо за умови відсутності резонансних коливань верхнього диска. Розробляємо математичну модель коливної частини диска. При побудові розрахункової схеми приймаємо такі спрощення, що не впливають на точність досліджень:

– осцилююча частина машини (рухома частина і зв'язані з нею робочий диск і з живильним патрубком та бункером) моделюється абсолютно твердим масою m , яка здійснює поступальні коливання вздовж вертикальної осі;

– реакції R_z R_h пружинних опор моделюємо лінійними характеристиками:

$$R_z = \tilde{N} \cdot z, \quad R_h = k_o \cdot \dot{z}, \quad (4.15)$$

де \tilde{n}_o, h_o - коефіцієнти жорсткості і внутрішнього опору пружинних опор,

z, \dot{z} - лінійне переміщення і швидкість маси осцилюючої частини відносно положення статичної рівноваги;

– сумарна реакція гранул, що обробляється, описується законом Гука:

$$P_{12} = \tilde{n}_\zeta \cdot z + h_\zeta \cdot \dot{z}, \quad (4.16)$$

де \tilde{n}_ζ, h_ζ - сумарні коефіцієнти жорсткості і внутрішнього опору гранул;

– конструкція мотор-вібратора має стандартне влаштування для регулювання нерівноваженої сили інерції в межах від нуля до максимального значення, кутова

його швидкість ω_1 вважається сталою, тому проекція збурювальної сили мотор-

вібратора на вертикальну вісь z описуються виразом:

$$P_i = \Delta m_B \cdot \omega_1^2 \cdot e \cdot \sin(\omega_1 \cdot t + \Theta_0), \quad (4.17)$$

де Δm - нерівноважена маса вібратора, кг (змінюється в межах $\Delta m = 0 - \Delta m_{\max}$);

ω - кутова швидкість ротора вібратора (з технічної характеристики мотор-вібратора);

Θ_0 - початкові фаза розміщення неврівноваженої маси вібратора,

e - радіус неврівноваженої маси вібратора, м.

За таких умов рівняння руху коливної частини має вигляд:

$$m \ddot{z} + 3h_z \dot{z} + 3c_z z = \Delta m_B \cdot \omega_1^2 \cdot e \sin(\omega t + \beta_1) - P_{12}. \quad (4.18)$$

З характеристичного рівняння знаходимо корені і власні частоти системи при роботі машини на колестомому ході і при просіюванні гранул:

$$\lambda_{z\ddot{0}\ddot{0}} = -\frac{h_0}{m} \pm \sqrt{\frac{e_0}{m}}, \quad (4.19)$$

$$d_z = -\frac{h_0 + h_\epsilon}{m} \pm \sqrt{\frac{c_0 + c_\epsilon}{m}} \quad (4.20)$$

$$\omega_{z\ddot{0}\ddot{0}} = \sqrt{\frac{c_0}{m}}, \quad \omega_z = \sqrt{\frac{c_0 + c_\epsilon}{m}} \quad (4.21)$$

Рациональний режим сортування одержують за умови: $\frac{\omega_1}{\omega_z} = 2,0 \dots 1,3$, (4.22)

тобто коли машина працює в режимі близькому до резонансу.

$$\text{Умова } \frac{\omega_1}{\omega_{z\ddot{0}\ddot{0}}} \geq 2,5 \dots 3. \quad (4.22,a)$$

Забезпечує надійну віброізоляцію машини при роботі на холостому ході, і мінімальні динамічні навантаження при вибігу машини.

Змушені коливання решіт сортувальника відносно положення статичної рівноваги описуються гармонічним законом:

$$z = A_z \sin(\omega_1 t + \gamma_z), \quad (4.23)$$

де A_z, γ_z - амплітуда A_z і фаза коливань γ_z розраховуються за формулами:

$$A_z = \frac{\Delta m_B \cdot \omega_1^2 \cdot e}{c_z} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega_1^2}{\omega_z^2}\right)^2 + h_z^2 \frac{\omega_1^2}{\omega_z^2}}}, \quad (4.24)$$

$$\gamma_z = \arctg \frac{h_z \omega_1}{m_1(\omega_z^2 - \omega_1^2)}. \quad (4.25)$$

Експериментально встановлено, що найбільший вихід цілого гранульованого виробу має місце, коли $z \leq 0.001 \dots 0,0015l$. (4.26)

Вибір параметрів за умовами (4.21, 4.22) і (4.26) вирішували поетапно розрахунками параметрів сортувальника з використанням ЕОМ.

Для пружного підвісу кришки з верхнім решетом застосували осцилюючі опори ROSTA типу 07 051 002 АВ і універсальні опори 05011001 V (рис. 4.5, 4.6, табл. 4.4-5), а для змушування коливань – мотор-вібратор серії MVSI S90 1500 об/хв (рис. 4.7, табл. 4.6).

Таблиця 4.4. Технічні характеристики пружних метало-сумових опор ROSTA

Арт, №, Тип	Навантаження, Н	А		В	
		без навант.	макс. навант.	без навант.	макс. навант.
07 051 001 АВ 15	- 160	165	120	70	89
07 051 001 АВ 18	120-300	203	150	87	107
07 051 001 АВ 27	250-800	230	170	94	114
07 051 001 АВ 38	600-1600	295	225	120	144
07 051 001 АВ 45	1200-3000	340	260	137	164
07 051 001 АВ 50	2500-16000	380	280	150	180
07 051 001 АВ 50-2	4200-10000	380	280	150	180

НУБІП України

Таблиця 4.5. Технічна характеристика універсальних віброопор ROSIA типу V

Art. №	Тип	Навантаж., Н по осях x,z	A	B	C	D	E	ØF	M	N	H	ØJ	K	Маса, кг
05.011.001	V 15	- 800	49	80	51	12.5	55	9.5	M 10	58.5	3	20	10	0.30
05.011.002	V 18	600 - 1600	66	100	62	12.5	75	9.5	M 10	74	3.5	30	13	0.70
05.011.003	V 27	1300 - 3000	84	130	73	15	100	11.5	M 12	85.3	4	40	14.5	1.25
05.011.004	V 38	2600 - 5000	105	155	100	17.5	120	14	M 16	117	5	45	17.5	2.45
05.011.005	V 45	4500 - 8000	127	190	122	25	140	18	M 20	148	6	60	22.5	4.64
05.011.006	V 50	6000 - 12000	150	140	150	20	100		M 20	262	10	70	25	7.46

Максимальне навантаження по осі y складає 10% від навантаження по осі x.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

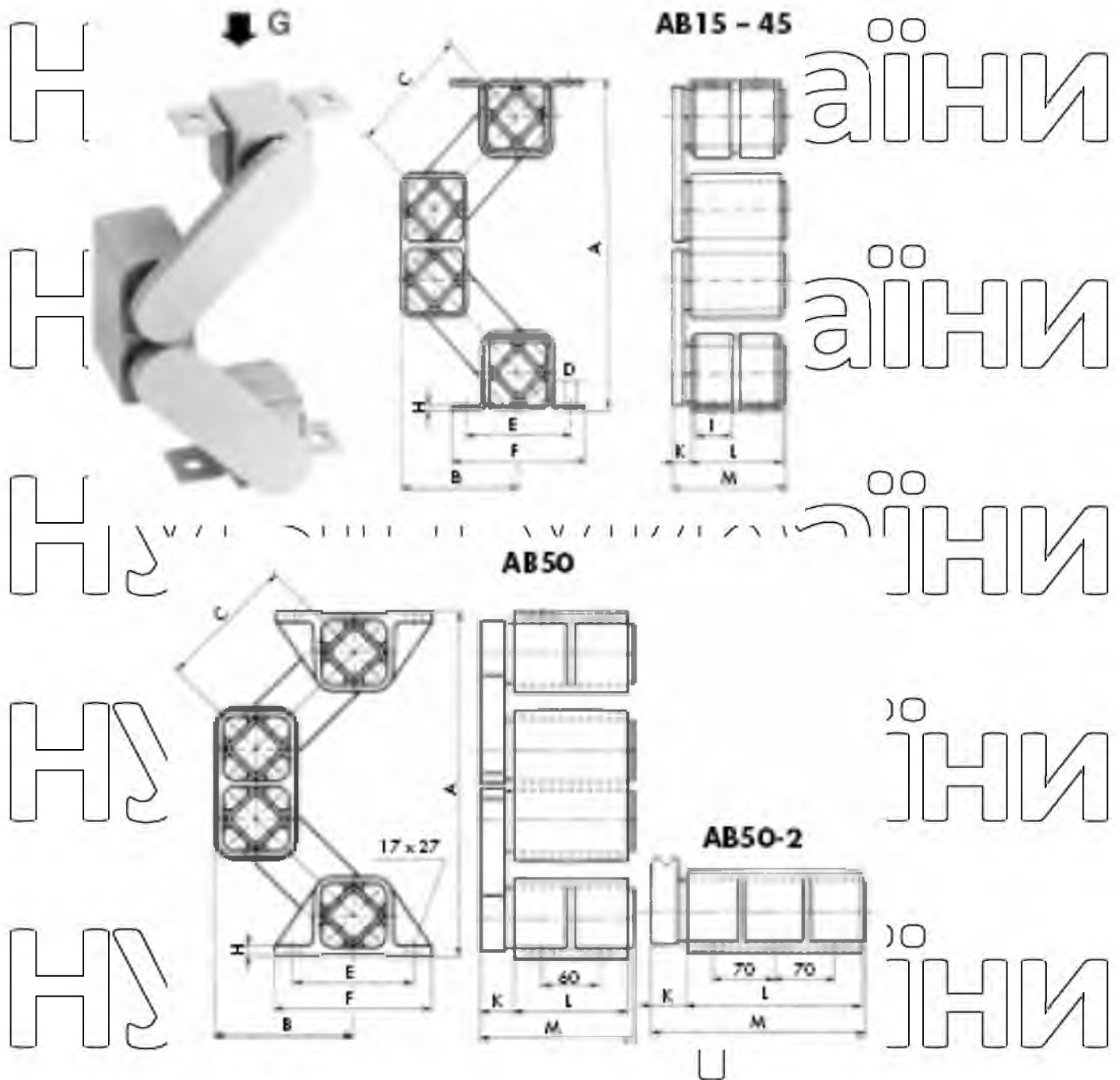


Рис. 4.5. Пружні метало-гумові опори фірми ROSTA

4.6. Технологічний і енергетичний розрахунки

Якість та енергоємність сортування залежать від основних параметрів сортувальника
- площі решіт:

НУБІП України

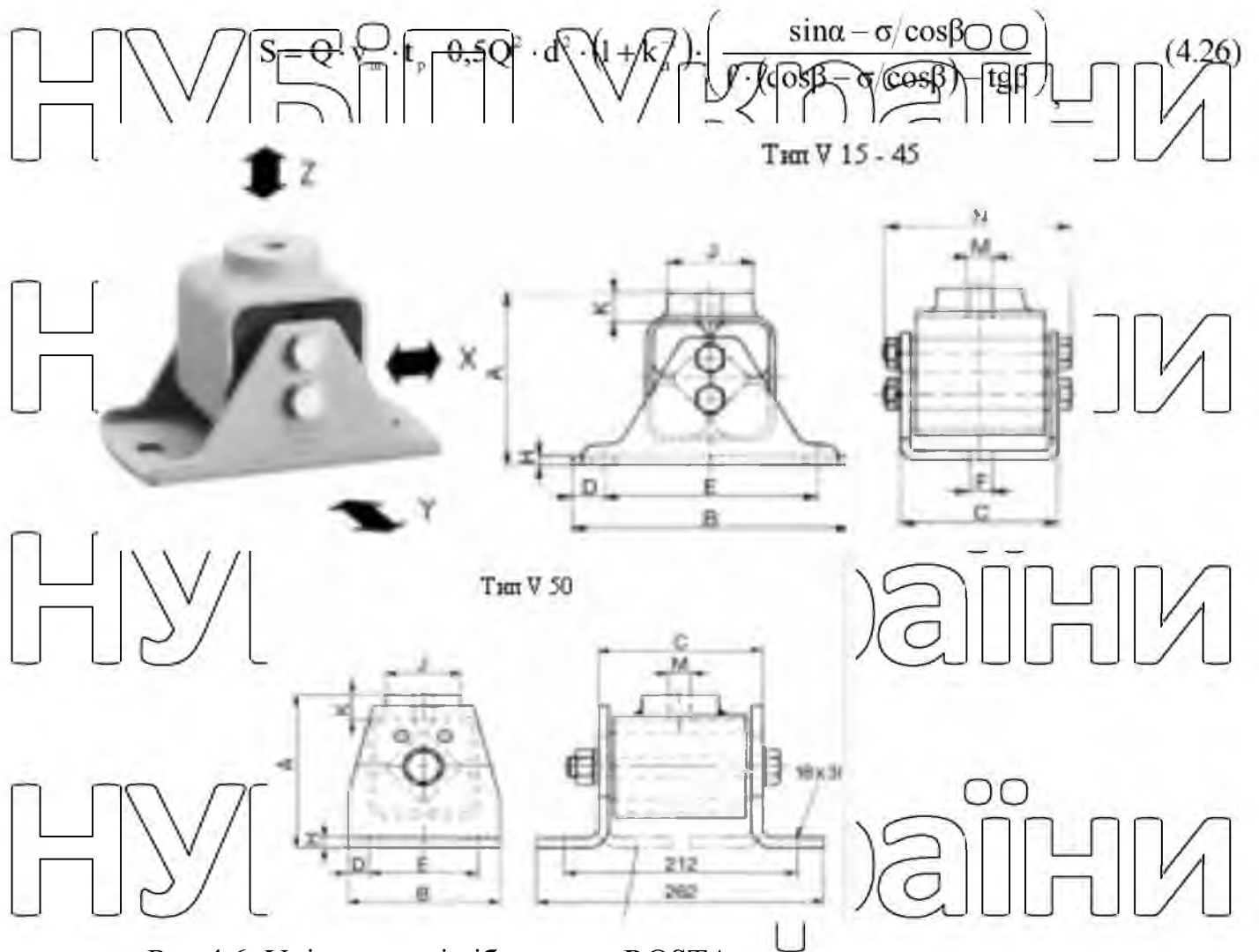


Рис.4.6. Універсальні віброопори ROSTA

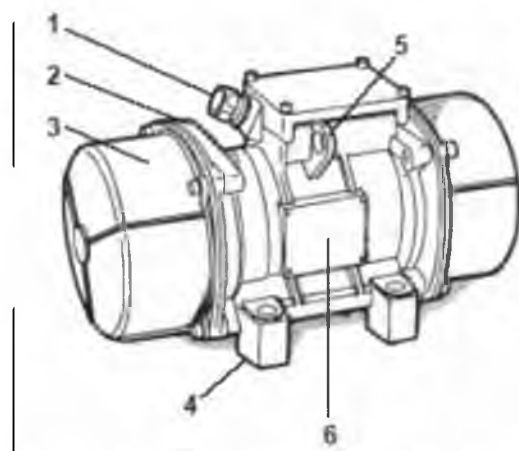


Рис. 4.7. Загальний вигляд мотор-вібратора серії MVS1 \$90 / 1500 об/хв

1 – хомут для силового кабелю; 2 – корпус;
3 – кришка ексцентрикових вантажів; 4 –
лапи; 5 – кронштейн монтажний; 6 –
заводська бирка.

Таблиця 4.6 Монтажні розміри мотор-вібраторів

НУБІП України

Рис	A	B	C	D	E	F	OG	ON	H	I	PO	M	N
A	210	141	125	62-74	106	15	9	4	55	40	90	102	102
A	220	151	125	62-74	106	24	9	4	64	45	112	102	119

де $d = \frac{l}{(1-\epsilon_{\mu}) \cdot h \cdot \rho_1 \cdot \gamma_{\mu}}$; $\sigma = \mu \cdot \rho_1 \cdot \rho_2^{-1} \cdot (1 + k_d)$;
 k_d – відношення мінімально допустимої товщини шару матеріалу на розвантажувальній лінії решета до його товщини на лінії завантаження;

α, β – кути поперечного та повздовжнього нахилу решета;

μ – коефіцієнт, який залежить від фізико механічних властивостей матеріалу та конструктивних параметрів робочого органу;

ρ_1, ρ_2 – середня густина гранул та повітряного шару;

k_{ac} – коефіцієнт аеродинамічної сили.

Продуктивність сортувальника визначаємо за емпіричною формулою [15]:

$$Q = k \cdot k_2 \cdot (1 - \epsilon) / \rho \cdot h_c \cdot V_{ox} \cdot a, \quad (4.27)$$

де V_c – середня швидкість руху матеріалу по поверхні перегородки, яку можна визначити за формулою:

$$V_0 = \frac{4 \cdot \rho_c}{\rho + \rho_c} \cdot \omega_{\phi} \cdot \cos \alpha, \quad (4.28)$$

де α – кут нахилу перегородки, град.

4.7. Технічна характеристика і порівняльна оцінка сортувальника

За результатами розрахунків визначено, що конструкція решітно-коливального сортувальника, що проектується, має бути з перфоровано-плоскою поверхнею решета (табл. 4.7).

Питома продуктивність сепарації на плоских коливальних решетах становить $1100 \text{ кг/м}^2 \text{ год.}$ при повноті виділення до $0,85$.

Вібраційні решета відрізняються від коливальних значно більшою частотою $1,2-2,0$ тис. колив./хв. і меншою амплітудою коливань $1-2$ мм. Коливання можуть направлені по вертикалі, під кутом до неї або круговими в вертикальній площині.

В сортувачі властєся досягти потрібної ефективності сепарації при високих ($2-4$ м/с) значеннях швидкості руху матеріалу. Крім цього, форма робочих отворів (каналів) дозволяє розділяти продукт на декілька фракцій, та практично виключити забивання решета без застосування додаткових пристроїв.

Таблиця 4.7. Технічні показники решітно-вібраційного сортувальника гранул

Назва технічного показника	Значення
1. Продуктивність технологічна, т/год.	10
2. Амплітуда коливань решіт, мм	22 ± 2
3. Ефективність очищення від домішок, %	90
4. Нахил решіт до горизонту, град	7
5. Площа решіт на 2 фракції, м^2	3
6. Частота коливань решітного кузова, колив./хв.	960 ± 20
7. Питома навантаження на 1 дм^2 площі підсвітного решета, $\text{кг/дм}^2 \cdot \text{год.}$	55
8. Встановлена номінальна потужність електродвигуна, кВт:	0,75
9. Габаритні розміри, мм: довжина;	1978
ширина;	1303
висота	1850
10. Маса конструкційна, кг	1450

Висновки до розділу 4

За результатами проведених досліджень висунуто пропозиції, спрямовані на підвищення ефективності процесу та обґрунтування конструктивно-технологічної схеми сортувальника.

1. Коливні грохоти продуктивні, ефективні, зручні в обслуговуванні, але спричинюють високі динамічні навантаження на фундамент. Тому для орієнтованого визначення продуктивності можна скористатися практичними даними: приймати пропускну здатність решета площею 1 м^2 близько 2 кг/с.

2. Передбачаємо модернізацію привода коливального механізму решіт, а саме: замість кривошипного пристрою передбачаємо вібраторний механізм.

3. Для підвищення динаміки сортування пропонуємо активатори над віброрешетами, які забезпечуватиме рівномірність і більшу однорідність матеріалу.

4. Для очищення решіт від забивання дрібними або зруйнованими гранулами, під решето встановлюється система очистки, яка складається із каркаса та прорезинених кульок, які під дією сил вібрацій направлено виштовкують ті частинки, які забили решето і не змогли просіятися. Очисник виконано у вигляді гофрованої поверхні, на якій розміщені еластичні кулі, силу дії яких спрямовано під деяким кутом до поверхні решета, що дозволяє істотно підвищити ефективність очищення поверхні решета.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Розділ 5.

ЗАХОДИ З БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

НУВБІП України

5.1. Основні вимоги з охорони праці на твердопаливних підприємствах

5.1 Сировинні матеріали, біопаливні гранули необхідно зберігати в спеціальних приміщеннях згідно з вимогами нормативних документів на них. При виготовленні і зберіганні біогранули не повинні виділяти в навколишнє середовище шкідливі речовини в кількостях, що перевищують гранично допустимі концентрації згідно з ДСТУ 201.

5.2 Гранули виготовляють при дотриманні санітарних норм до повітря робочої зони згідно з ГОСТ 12.1.005, в яку можливе виділення пилу біомаси, ГДК якого становить 6 мг/м^3 , 4 класу небезпеки. Контроль за повітрям робочої зони здійснюють згідно з МУ № 4436.

5.3 Виробничі і побутові приміщення повинні відповідати вимогам СНиП 2.09.02 і СНиП 2.09.04. Виробничі приміщення повинні бути обладнані системами вентиляції та опалення згідно з ГОСТ 12.4.021 і СНиП 2.04.05.

5.4 Мікроклімат виробничих приміщень повинен відповідати санітарним нормам згідно з ДСН 3.3.6.042. Контроль мікроклімату виробничих приміщень здійснюють згідно з ДСН 3.3.6.042.

5.5 Виробничі приміщення повинні бути обладнані водопровідною системою і каналізацією згідно з СНиП 2.04.01, питною водою згідно з ГОСТ 2874.

5.6 Освітленість робочих місць повинна відповідати вимогам ДБН В.2.5 - 28, освітленість визначають згідно з ДСТУ Б В.2.2 - 6.

5.9 У виробничих приміщеннях необхідно виконувати вимоги пожежної безпеки згідно з ГОСТ 12.1.004. Виробничі приміщення повинні бути оснащені первинними засобами пожежогасіння згідно з НАПБ А. 01.001.

Категорія виробничих приміщень гранул за пожежною небезпечністю В - згідно з НАПБ Б. 07.005, зона класу II – II а - згідно з ДНАОП 0.00-1.32.

5.10 Рівні шуму та вібрації на робочих місцях при виготовленні гранул не повинні

НУВБІП України

перевищувати величин, встановлених згідно з ГОСТ 12.1.003, ДСН 3.3.6 - 037, ГОСТ 12.1.012, ДСН 3.3.6.039. Контроль шуму на робочих місцях здійснюють згідно з ГОСТ 12.1.050, контроль вібрації на робочих місцях здійснюють згідно з ГОСТ 12.1.012. 12.13 Безпечну експлуатацію технологічного обладнання необхідно здійснювати відповідно до вимог інструкцій по експлуатації конкретного обладнання, технологічних інструкцій та інструкцій з охорони праці.

5.12 Відходи при виготовленні гранул використовуються повторно при брикетуванні подрібненої рослинної сировини. Кускові відходи (у тому числі забраковані гранул) при цьому попередньо подрібнюють.

5.2. Розробка заходів безпечної праці

На підприємстві має бути використана механічна вентиляція, тобто примусове видалення забрудненого повітря і заміна його свіжим за допомогою вентиляційних агрегатів. Вентиляційна установка буде припливно-витяжною. Повітряні приймачі вентиляційних систем розміщені в стінах приміщення у вигляді спеціальних отворів чи шахт, які виходять у зону найбільш чистого повітря. Для транспортування повітря застосуємо вентилятор, який за своєю конструкцією є осьовим. Об'єм повітря, що подається в приміщення для забезпечення необхідного повітряного середовища, визначають відповідно до ДНА ОП СніП11 – 33 – 75. Для приміщень в, яких не виділяється шкідливі речовини, а лише працюють люди, необхідна кількість повітря для вентиляції визначається за формулою:

$$L = N \cdot L_n, L = 10 \cdot 20 = 200, \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (5.11)$$

де N – число працюючих; L_n – нормативний об'єм повітря на одного працюючого, $L=20 \text{ м}^3/\text{год.}$

Недостатнє і надмірне освітлення робочих місць негативно позначається на нервовій системі людини, призводить до перевтоми і зниження продуктивності праці, порушує координацію дій, захворювання органів зору та виробничих травм тощо. Природне освітлення відповідно до існуючих нормативних документів застосовують у приміщеннях, в яких постійно перебувають люди. Без природного освітлення можуть бути роздягальні, санітарно – побутові приміщення.

Штучне освітлення виробничого приміщення здійснюють за допомогою спеціальних світильників. Розрахунок зводиться до визначення кількості світильників та ламп.

1. Нормована мінімальна освітленість $E=100$ лк.
2. Вибираємо світильник марки У і при висоті будівлі $H=5,5$ м, висота розміщення світильника $H_p=3$ м. При паралельному розміщенні світильників відстань між ними $L_c=1,5 \cdot 3=4,5$ м.
3. Визначимо індекс приміщення:

$$i = \frac{S}{H \cdot (L + B)}, i = \frac{282}{3 \cdot (22 + 13)} = 3, \quad (5.2)$$

де S – площа приміщення $S=289$ м², $H_p=3$ м, L і B – довжина і ширина приміщення, $L=22$ м, $B=13$ м. Прийmemo $\rho_l=50\%$, $\rho_c=30\%$, $\rho=62\%$.

Розраховуємо світловий потік лампи:

$$\Phi_{л} = \frac{E \cdot \kappa \cdot S}{\eta \cdot N \cdot Z}, \quad (5.3)$$

де κ – коефіцієнт запасу, що враховує забрудненість світильника і наявність бруду, кіптяви, $\kappa=1,2$; Z – поправочний коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітлення, $Z=1,1$; N – число ламп та світильників в приміщенні.

$$\Phi_{л} = \frac{100 \cdot 1,2 \cdot 173}{0,62 \cdot 21 \cdot 1,1} = 1449,5, \text{ лк.}$$

Отже, приймаємо 21 світильник з лампами типу БК, напругою 220 В, потужністю 100 Вт, світовий потік ламп 1560 лк.

Гранично припустима концентрація пилу в повітрі не повинна перевищувати 6 мг/м³ відповідно Держстандарту 12. 1 . 005 – 88.

Рівень звукового тиску від працюючого обладнання у виробничому приміщенні має не перевищувати 80 дБл.

5.3. Заходи усунення пожежних і вибухових ситуацій

На виробництві біопаливних гранул існує високий ризик загорання у технологічному процесі. Пелетні виробництва згідно з класифікацією приміщень та будівель за вибуховою та пожежною небезпечністю належать до категорії Б. Наявність одночасно підвищених температур та подрібненої біосировини в технологічному обладнанні може спричинити загорання та вибухи [2, 51, 52].

Відомо декілька аварій у біопаливному виробництві за останні роки. Так, на фірмі „Imperial Sugar” (США) у лютому 2008 р. стався вибух пилу, внаслідок чого 14 працівників загинуло, 38 дістали поранення, загальні втрати становили 220 млн. доларів. У жовтні 2010 р. на пелетному заводі у Білорусі вибухнув пил такої сили, що було повністю зруйновано пелетний і плитковий заводи, загинуло 16 людей [50].

Приміщення, призначені для твердопаливного обладнання і його експлуатації відносяться до класу пожежонебезпеки П – П1 і класу вибухонебезпеки В- 11а відповідно до ПУЕ. Крім вище перерахованих пунктів, інженер з охорони праці повинен слідкувати за комплектацією щита з пожежним інвентарем.

Згідно закону України “Про пожежну безпеку” інженер з охорони праці повинен:

- організувати навчання робітників правилам протипожежним;
- організувати на підприємстві добровільну пожежну бригаду;
- розробити конкретну інструкцію по правилам пожежної безпеки.

Розрахунок потреби води на випадок гасіння пожежі виконується за формулою:

$$Q_n = 3.6 \cdot f \cdot T_n \cdot P_n, \quad (5.14)$$

де f - питома витрата води, $f = 10$ л/с.

T_n - розрахунковий час пожежі, $T_n = 2$ год;

P_n - кількість одночасних пожеж, $P_n = 1$.

$$Q_n = 3.6 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 1 = 72 \text{ м}^3.$$

Аналіз причин цих та аналогічних аварій показав, що часто вибухи технологічного обладнання зумовлюють пил та гарячі частинки ущільненої сировини, що рухаються всередині магістралей пелетного виробництва [33].

Під час виконання технологічного процесу на прес-грануляторі важливо витримувати пресовану сировину у формувальній порожнині під тиском протягом певного часу, щоб відбулась релаксація, а також утворилася міцна плівка на поверхні гранул. Найбільшої міцності набуває біомаса, коли температура під час екструзії становить понад 150°C . Верхньою межею температури екструзії є 250°C , коли розпочинається реакція піролізу, тобто відбувається часткове розкладання біомаси. За даними виробників пелет та проведеними науковими дослідженнями оптимальна температура на виході гранул з матриці має бути $90\text{-}100^{\circ}\text{C}$, що забезпечує плавлення лігніну за 90°C і відсутність умов розривання гранул за причиною утворення водяної пари [8, 10, 33].

На виробництві під час роботи обладнання виникають небезпечні умови перегріву поверхонь робочих органів, за причиною підвищеного тертя, наприклад, в підшипниках чи робочих органах при порушенні технологічного процесу або несправності обладнання. Такі фактори можуть привести до утворення гарячих частинок з температурою понад 470°C та енергією близькою до 40 мДж, що можуть бути джерелами загоряння. Ці частинки навіть можуть бути без яскравої світимості, тобто „темні” (чорні) об’єкти самозаймання. Окрім того, такі частинки з температурою 470°C є набагато не безпечнішими іскор в 1000°C [50, 52].

Більша частина іскор має дуже низьку енергію, щоб запалити матеріал. Якщо енергія вища, ніж 40 мДж це небезпечно, тому детектування робочих зон має бути. Для виявлення небезпечних явищ та уникнення перегріву, тління, утворення гарячих „темних” (чорних) частинок біомаси необхідно в місцях здійснення технологічних процесів встановлювати детектори, наприклад, GD (400°) шведської компанії Firefly AB. Такі детектори, що працюють в інфрачервоній зоні. Вони мають виявляти лише справжні джерела займання. Детектори потрібно улаштувати також на входах до фільтрів та до накопичувального бункера. У детекторах чутливі елементи побудовані на сульфаті свинцю. Це дозволяє виявляти як іскри, так і „темні” частинки високої

енергії з температурою 250°C та вище. Їх перевагою щодо силіконових фотодетекторів, які реагують на світло від іскор, є нечутливість до денного світла [50, 52].

Для виявлення джерела можливого загоряння застосовуються світлочутливі датчики, які спрацьовують на інфрачервоне, теплове і ультрафіолетове випромінювання іскор, вогню розжарених матеріалів, тліючих частинок.

Високочутливі датчики, виявляють навіть іскри, прикриті шарами пилу або сипкого матеріалу, що транспортується, подають сигнали на модуль управління, який аналізує ці сигнали, після чого автоматично включає цілеспрямовані заходи протидії.

Сигнал подається на автоматичні пристрої гасіння іскор, які розташовані у напрямі руху матеріалів за датчиками реєстрації іскор. Автоматика гасіння іскор генерує моментальне утворення дрібнодисперсного водяного туману на тій ділянці трубопроводу, на якому відмічені іскри, що летять. Якщо далі датчики не сигналізують про небезпеку, то подача водяного туману автоматично припиняється.

Датчики такого типу виявлення іскор використовують також в деревообробному, круп'яному, олійному та ін. підприємствах, а також в технологічних лініях, де встановлюються аспіраційні витяжні установки (наприклад, деревинна, паперова, зернова промисловості) [50, 52].

На магістральних технологічних лініях подрібнення, сушіння, охолодження, сортування та транспортування біосировини чи пелет безпосередньо після гранулятора доцільно застосовувати системні комплекси виявлення іскор та автоматичного включення екстреного їх гасіння [50, 52]. Схеми системного контролю та автоматичного запуску гасіння іскор наведені на слайді 20 презентації

Дана система гасіння реєструє іскри і тліючі частинки в доли секунди після їх появи і вмиє запуском механізм гасіння іскор. На відміну від інших систем пожежогасіння дані установки допомагають запобігти появі вогню на початковій стадії загорання [50, 51].

Запропонована система в змозі розпізнати найдрібніші іскри і гарячі або тліючі частинки в лініях пневмотранспорту, і миттєво зреагувати включенням

автоматичного гасіння і відключенням технологічної лінії. Всі ці заходи здійснюються в доли секунди [50].

Висновки до розділу 5

1. Розроблені нормативні вимоги з охорони праці та пожежної безпеки охоплюють основні складові технологій виробництва біопалива, що свідчить про суттєву значущість цих виробництв.

2. Здійснення технологічних процесів на твердопаливному виробництві передбачає ретельне дотримання як загальних правил з охорони праці, так і виконання специфічних норм, зокрема під час роботи на сортувальника, як однією з основних машин у технологічній лінії.

3. Комплексні рішення запобігання пожежам та вибухам на твердопаливних підприємствах повинні передбачати, в першу чергу, системні пристрої вчасного виявлення і гасіння іскор з температурою до 470° С, а також системи автоматичного контролю стану пожежної безпеки і включення пристроїв миттєвого гасіння іскор.

Розділ 6.

БІЗНЕС-ПЛАН НА ВИКОНАННЯ ЗАМОВЛЕННЯ

6.1. Резюме

Аналіз стану послуг в регіоні з переробки зерна та покупного попиту населення на борошномельні вироби свідчать про доцільність організації на базі СТОВ Київської області підприємства по переробці зерна та виготовлення борошна і паливних виробів (гранул) з відходів.

Загальна кількість населення регіону як потенційних споживачів борошна, що буде виробляти наш пункт зберігання і переробки зерна, складає приблизно 10 тисяч осіб. СТОВ «Руна» на даний час має досить потужну сировинну базу, яка може забезпечити потреби населення в борошномельних výroбах не тільки даного господарства, а й найближчих (15-25 км) населених пунктів. Однак в подальшому необхідно сподіватись на закупівлю сировини і в сусідніх господарствах.

СТОВ «Руна» має промислову територію, на якій можна збудувати нові або використати існуючі виробничі споруди. Крім того, необхідно придбати машини та технологічне обладнання для зернопереробного цеху та виробничої лінії біопалива.

Для розширення виробничо-економічної діяльності господарства і збільшення його прибутків доцільно організувати переробку власної зернової продукції безпосередньо в господарстві. Це можна досягти шляхом впровадження зернопереробного підприємства в реконструйованих застарілих виробничих приміщеннях господарства. Разом з цим, раціональне використання відходів зерно переробки шляхом виробництва з вторинної біомаси паливних гранул сприятиме підвищенню рентабельності всього підприємства. Аналіз стану послуг по переробці зерна на борошно, а відходів на біопаливо, а також аналіз покупного попиту населення на продукцію рослинництва свідчить про доцільність такого рішення.

СТОВ «Руна» має власну зернову сировинну базу, яка є досить розвинутою та перспективною, а також фінансові активи для реалізації даного проекту.

Економічна ефективність впровадження даної пропозиції базується на різних напрямках переробки продукції рослинництва, а також на результатах аналізу попитного попиту населення регіону на продукти переробки зерна, зокрема борошна і паливних гранул з відходів. Це переконливо доводиться продуктовими, технологічними та економічними розрахунками. Результати техніко-економічних розрахунків приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Економічні показники діяльності підприємства

Показники	Роки			За три роки
	1-й рік	2-й рік	3-й рік	
Капіталовкладення, тис. грн.	1093,6			
Річна програма виробництва, т	1380	1380	1380	4140
в тому числі:				
- борошно (пшеничне і житнє)	1230	1230	1230	3690
- паливні гранули з відходів	150	150	150	450
Виробнича середньозважена собівартість продукції, грн./т	1705	1740	1770	1738
Собівартість продукції, грн./т:				
- борошно (пшеничне і житнє)	2010	2155	2305	2157
- паливні гранули з відходів	230	245	280	252
Відпускна оптова ціна, грн./т:				
- борошно (пшеничне і житнє)	3090	3270	3525	3295
- паливні гранули з відходів	490	520	560	523
Чистий прибуток, грн.	252370	265340	281501	799212
Рівень рентабельності, %	22	24	25	23
Термін окупності капіталовкладень, роки	2,1			

Потенційними споживачами запропонованої продукції буде населення та сільськогосподарські підприємства даного та сусідніх регіонів. Споживачі вірогідніше за все нададуть перевагу нашій продукції, як найбільш доступною за ціною та достатньо якісною. Переважна більшість споживачів належать до осіб та підприємств із середнім достатком. Саме цей сегмент ринку досить швидко реагує на ціну запропонованого товару, але не останню роль в їхньому виборі відіграє і якість

продукції. Це досить вибагливі покупці, які надають перевагу товарам з найкращим відношенням ціни та якості. При цьому ціни на запропоновані вироби будуть в межах мінімальних ринкових, а достатньо висока якість продукції буде забезпечуватися використанням сучасного обладнання та застосуванням новітніх технологій виробництва та контролю якості продукції.

6.4. Оцінка ринку збуту

За результатом аналізу виробничої діяльності регіону з'ясовано, що у найближчі роки існуючі підприємства не зможуть забезпечити переробку зерна, щоб забезпечити борошном і біопаливом інші господарства. Отже, споживати продукцію запропонованого нами борошномельного та біопаливного підприємства на базі СТОВ „Руна” буде населення регіону чисельністю 10 тис. людей (рис. 6.1). Також в перспективі планується реалізація продукції в торговій мережі міста Києва.

Таблиця 6.3. Розрахунок витрат на придбання сировини

Статті витрат	Витрати								
	витрати т/т (шт/т)	В натуральних одиницях, т (шт)				В грошовому виразі, грн			
		на програму виробництва				на програму виробництва			
		1-й рік	2-й рік	3-й рік	за три роки	1-й рік	2-й рік	3-й рік	за три роки
<i>Борошно</i>		1230	1230	1230	3690				
на програму	1,19	1753,9	1753,9	2046,2	5553,9	2455420,8	2630808	3273894,4	
<i>відходи, грн/т</i>		150	150	150		60	70	65	
Витрати на відходи						2430	2590	2480	
на програму	20	29280	29280	34160	92720	29280	29280	68320	
<i>Всього</i>						2463180,8	2627808	3292001	8382989,8
<i>Біопаливні гранули</i>		160	160	190	510				
на програму	20	3200	3200	3800	10200	3200	3200	7600	
<i>Всього</i>						29040,1	24600	16553	70193,6

Згідно наших розрахунків, регіональний ринок споживатиме щорічно 1700-2000 т борошномельних та біопаливних виробів, що підтверджується аналізом покупного попиту населення на дану продукцію за останні три роки.

6.5. Конкуренція

Найбільшими виробниками зерна є фермерські асоціації та с.-г. підприємства, які розташовані на відстані 15-30 км від СТОВ «Руна». Також слід враховувати високі ціни на продукцію переробки, зокрема на нашому підприємстві вартість виробництва 1 т борошна планується до 2200 грн., а на існуючих – 2250-2300 грн.

Отже, очевидно, що наше підприємство пропонуватиме доступні для споживача ціни за борошномельні вироби. Особливо це стосується середньо- і малозабезпечених споживачів, які складають біля 85-90 % населення.

Продукція підприємств-конкурентів характеризується досить високою собівартістю і малим асортиментом, та реалізується за комерційними цінами, які перевищують ринкові ціни на 15%...20%. Оптові ціни конкурентів також вищі розрахункових цін на аналогічну продукцію запроєктованого виробництва. Таким чином, запропоновані види борошна та паливні гранули нашого підприємства мають бути конкурентоспроможними.

6.6. Стратегія маркетингу

Реалізація товарної продукції буде здійснюватися через склади-магазини, на ринках та для господарств за угодою, які постачатимуть сировину.

Щорічно 8-12% виробничих витрат буде направлятися на здійснення маркетингових заходів, у т. ч. на рекламну кампанію нашого продукту, участь у виставках товарів, що приверне потенційних покупців і допоможе завоювати їх довіру. Рекламні оголошення доцільно розміщувати в обласних та регіональних газетах, на радіо і телебаченні. На рекламу плануємо в перший рік витратити близько 2000 грн. Ціни на виготовлену продукцію будемо визначати з врахуванням всіх витрат на електроенергію, мастильні матеріали, водопостачання, зарплату, накладні витрати тощо. Здійснення запропонованого плану маркетингу дозволить реалізувати

наші плани одержання щорічного валового прибутку у розмірі 10-15% виробничих витрат та одержати рівень рентабельності 20-25%.

6.7. Оцінка ризиків

Проаналізувавши можливості виникнення декількох критичних ситуацій, що можуть мати негативний вплив на бізнес, серед них: ринковий ризик, ризик втрати майна, ризик втрати часу, ризик не виконання зобов'язань, інфляція, нижче наведено програму, що розроблена нами для зменшення ризиків.

Ринковий ризик - постійне поліпшення якості виробів, застосування нових рецептурних рішень, рекламна компанія та інші маркетингові заходи забезпечать постійне зростання ринку на наші вироби.

Ризик втрати майна (пожежа, крадіжка) - підприємство планується забезпечити системою пожежної і охоронної сигналізації. Цехи і склади підприємства будуть оснащені протипожежними засобами (розділ "Охорона праці").

Ризик втрати часу (відсутність сировини, зупинки виробництва через поломку обладнання) - обов'язком заготівельного відділу підприємства є постійний контроль за ситуацією, що складається при постачанні сировини.

Виробничо-технологічним відділом буде розроблено графік профілактичного ремонтно-технологічного обслуговування обладнання, що дозволить запобігти його аварійним пошкодженням і незапланованим зупинкам виробництва.

Ризик не виконання зобов'язань - висока якість виробів і контроль за екологічною чистотою усіх їх компонентів, високий рівень організації виробництва і технологічного процесу дозволить нам виконати свої зобов'язання перед покупцями, забезпечити їх високоякісними продуктами харчування, дотримуватись строків постачання готового продукту в роздрібну і оптову торговельну мережу.

Проаналізувавши всі можливі ризики, ми прийшли до висновку про необхідність купівлі одного страхового полісу, предметом є захист від втрати майна, а саме втрати виробничого обладнання. Інші ризики будуть компенсовані заходами

по запобіганню втрат, що перелічені у нашому плані. Вартість такого страхового полісу становитиме 3% від вартості майна або 2970 грн.

6.8. Фінансовий план

Початковий стартовий капітал запропонованого підприємства складає позики банку "Приватбанк" під 24 % річних в сумі 1092600 грн. строком на 2,5 роки. Отриману суму використаємо наступним чином:

- 1- на реконструкцію існуючих та будівництво нових приміщень - 580000 грн.;
- 2- закупівлю обладнання 381000 грн.;
- 3- оплату реклами - 2000 грн.;
- 4- засоби особистої гігієни робітників - 3000 грн.;
- 5- одноразові витрати:
 - а) доставка і пуско-налагодження обладнання - 15000 грн.;
 - б) витрати пов'язані з відкриттям підприємства - 1200 грн.
 - в) спецодягу для робітників - $16 \times 120,00 = 1960$ грн.;
 - г) офісні витрати - 6500 грн.

7. Інші витрати щомісяця розподіляться пропорційно обсягу послуг:

Канцелярські витрати - 6500 грн.; Оплата телефонних послуг - 200 грн.; Офісне обладнання - 2120 грн.

Таблиця 6.4. Фінансовий план підприємства (баланс прибутків і витрат)

Показники	Квартали першого року			Роки			За три роки
	I	II	III-IV	1-рік	2-рік	3-рік	
	1----3	4----6	6--12				
1.Виторг	356546,6	356546,6	713093,1	1426186,2	1394448,6	1416587,1	4237221,9
2.Витрати на виробництво	293454,0	293454,0	586907,9	1173815,8	1129108,2	1135085,8	3438009,8
3.Прибуток	63092,6	63092,6	126185,2	252370,4	265340,4	281501,3	799212,1
4.Чистий прибуток	63092,6	63092,6	126185,2	252370,4	265340,4	281501,3	799212,1
Рівень рентабельності, %				21,5	23,5	24,8	23,2
Окупність к/вкл., р.							2,1

Сер. значення УЗВ	206,2	206,2	412,4	824,8	832,6	835,6	831,0
Сер. значення УПВ	32,6	32,6	65,2	130,3	103,6	105,5	113,1

6.9. Стратегія фінансування

Маючи дані фінансового плану, визначимо рівень рентабельності P та строк окупності T капіталовкладень виробництва [53]:

$$P = \frac{П_{р.ч}}{C} \cdot 100\% \quad (6.4)$$

де $П_{р.ч}$ – чистий прибуток, грн.;

C – собівартість виробництва, грн.

Строк (термін) окупності капітальних витрат T проекту визначимо [53]:

$$T = \frac{K}{П_{р.ч}} \quad (6.5)$$

де K – капіталовкладення, грн.

За результатами розрахунків отримано $P = 23\%$, $T = 2,1$ роки.

Врахуємо кількість продукції, при якій наступить беззбитковість виробництва (без врахування закупівельної вартості сировини)

$$K = \frac{УПВ}{C - УЗВ} \quad (6.6)$$

де K – кількість виробленої продукції, при якій буде досягнуте беззбитковість підприємства, т;

УПВ – умовно постійні витрати (капіталовкладення), грн.;

C – собівартість виробництва, грн./т;

УЗВ – умовно змінні витрати, грн./т

За виконаними розрахунками побудовано графік беззбитковості (рис. 6.3).

Основні показники бізнес-плану приведено в таблиці 6.1 та слайді презентації.

НУБІП України

НУБІП України

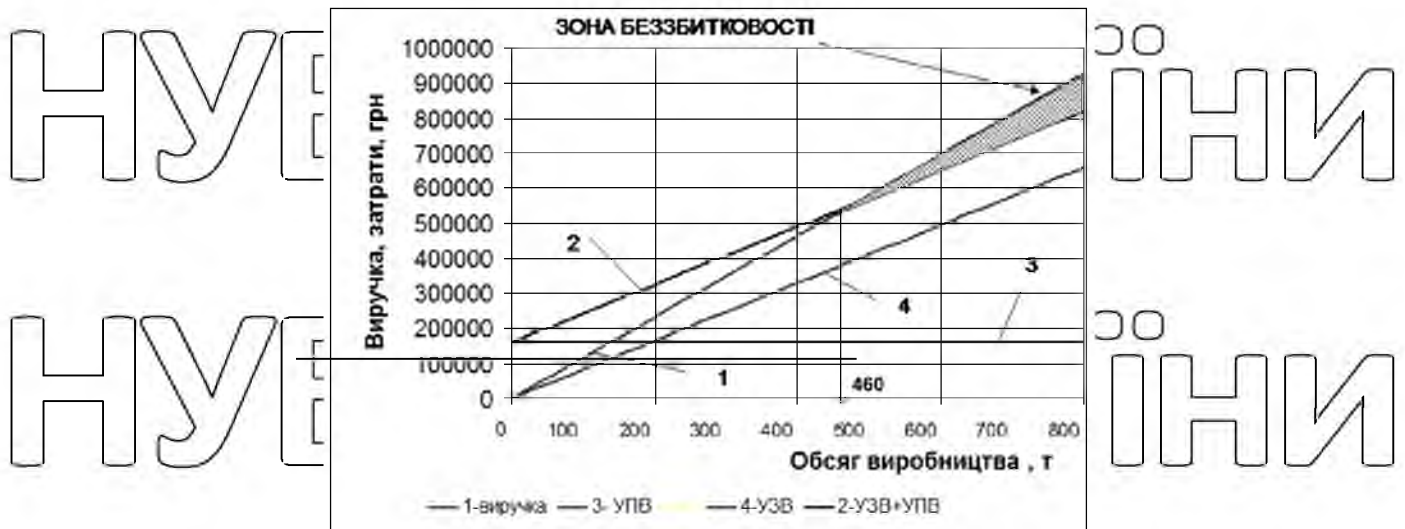


Рис. 6.3. Графік беззбитковості виробництва борошна і пелет на підприємстві

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВИСНОВКИ

1. Загальні річні обсяги приросту біомаси в Україні оцінюються у 120 млн. т, а енергетичний потенціал вторинної біомаси становить біля 30 млн. т, що еквівалентно 22 млн. т у.п. Враховуючи значну кількість побічної продукції та відходів аграрної, лісової і деревообробної промисловості України, виробництво і застосування біопалив 2020-2025 рр. має суттєво до 15% підтримувати вітчизняний енергетичний баланс та поліпшувати екологічну ситуацію.

2. Згідно із завданням на виконання магістерської роботи проведено аналіз технологій виробництва біопаливних гранул, розраховано сприятливу для умов господарства СТОВ «Руна» технологічну лінію для переробки зерна на борошно та виробництва гранульованого біопалива з відходів переробки (50 т) і незернової частини врожаю (соломи – 100 т). Здійснено євровинний розрахунок, визначено штатний склад підприємства, підбрано технологічне обладнання, визначено виробничі площі та розраховано потреби електроенергії для виробництва.

Прийнята схема лінії виготовлення гранул передбачає виконання технологічних операцій з використанням машин вітчизняних виробників, що підвищує ефективність на 12-16% твердопаливного виробництва. Разом з цим, в даній лінії відсутній просіювач біопаливних гранул, обґрунтування процесу і конструкції якого було об'єктом подальших досліджень.

3. Проведений аналіз процесів роботи і конструкцій машин для сортування зернових і гранульованих матеріалів дозволив розробити технологічний алгоритм машин для очищення зерна. Технології очищення і сортування зернових матеріалів враховують багато факторів: технологічні вимоги до результатів очищення; властивості зерна; технічні можливості тощо. За результатами аналізу решітних сепараторів розроблена їх класифікація, яка передбачає п'ять типів цих машин. Для сортування гранул придатними є гравітаційні плоско-решітні коливального типу.

Для сортування сипких матеріалів широко використовуються плоско-решітні сепаратори, в т.ч. вібраційної дії. Вібраційні грохоти нині набули значного поширення. В них горизонтальні або нехили роблять коливний рух з частотою 900...1500 коливань за хвилину за допомогою спеціального пристрою — вібратора. Найчастіше використовують механічні (інерційні) грохоти. Вони складаються із решета, встановленого в кожусі на пружинах, і дисків з дебалансами, що обертаються на валу. Амплітуда коливань у різних точках решета неоднакова і становить 0,5...12,0 мм, а траєкторія руху решіт близька до еліпса. Ці конструкції забезпечують висну продуктивність та ефективність розподілу. Вони універсальні, дають змогу

розподіляти вологі матеріали, мають малу засміченість і невеликі витрати енергії. Схильні до дії вібрації, гранульовані матеріали в локальному масштабі здійснюють випадкові рухи в результаті зіткнень між гранулами. Ці рухи подібні до рухів молекул в газі, що є основою для використання кінетичної теорії в гранульованих середовищах.

Також було проведено аналіз робочих органів плоско решітних сепараторів. Для просівання гранул більш сприятливі форми круглі штамповані. Цей вибір підтверджують результати аналізу явищ проходження частинок крізь різні отвори решіт. Більш поглиблений аналіз розділення на фракції сипких матеріалів свідчить про необхідність додання решетам куту нахилу та коливального руху з певною частотою і амплітудою. Цим вимогам відповідає віброрешітний сепаратор типу БСХ вітчизняного виробництва. Проведений аналіз сприяв розробці функціонально-конструкційної схеми перспективного вібраційного плоско решітного сепаратора.

4. Аналіз досліджень процесів сортування гранульованих матеріалів свідчить, що значне підвищення ефективності сортування надають раціональні шестигранні отвори решітних поверхонь, які запропоновано в конструкції нашого сортувальника.

Здійснено розрахунки мотор-вібратора та вібраційних опор фірми ROSTA. Ці пристрої запозичимо для конструювання вібраційного сортувальника.

За результатами інженерних розрахунків отримані технічні показники перспективного решітного вібраційного сортувальника гранул. Результатом дослідно-конструкторської частини роботи є розробка креслення загального вигляду сортувальника.

5. Розглянуті вимоги створення безпечних умов роботи та розраховані системи освітлення, вентиляції. Визначені потенційні небезпеки на твердопаливному виробництві, запропоновано заходи з охорони праці та пожежної безпеки. Комплексні рішення запобігання пожежам та вибухам на твердопаливних виробництвах повинні передбачати системні пристрої вчасного виявлення і гасіння іскер з температурою до 470° С, а також системи автоматичного контролю пожежної безпеки і включення пристроїв гасіння іскер.

6. Розроблений бізнес-план на замовлення для економічного обґрунтування розробки. Встановлено, що для впровадження підприємства необхідні капіталовкладення у розмірі 1094 тис. грн., що передбачається кредитом на 2,5 роки з відсотковою річною ставкою 24%. Прогнозований чистий річний прибуток за три роки діяльності підприємства становитиме майже 800 тис. грн. Отримані основні техніко-економічні показники, зокрема, рівень рентабельності – 23 %, термін окупності капіталовкладень - 2,1 роки, точка беззбиткового річного виробництва - 460 т, підтверджують доцільність впровадження зернопереробного та біопаливного підприємства на базі СТОВ Київської області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

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

3. Дацишин О.В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: навч. посібник / [О.В. Дацишин, А.І. Ткачук, О.В. Гвоздев та ін.] / За ред. О.В. Дацишина. - Вінниця: Нова Книга, 2008. – 488 с.

4. Перспективи ведучих компаній з розробок технологій та обладнання для виробництва твердого біопалива [електронний ресурс]. Режим доступу до журн.: www.biotoplivo.lv.ua; www.pelletsgold.com/; www.ick.ua; www.biofuel.in.ua/; www.bioresurs.com.ua; www.pellets.narod.ru; <http://granuly.ru/pelletajizery>

5. Єременко О.І. Аналіз процесів і конструкцій твердопаливних грануляторів / [О.І. Єременко, О.В. Паянок] // Матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві». – Глеваха: ННЦ «ІМЕТ», 2012. – 222 с.

6. Новітні технології біоенергоконверсії: монографія / [Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, І.П. Григорюк та ін.] – К.: Аграр Медіа Груп, 2010. – 360 с.

7. Шевченко О.О. Використання вторинних ресурсів для ефективного теплопостачання виробничих та побутових приміщень в сільській місцевості / [О.О. Шевченко, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко та ін.] // Наук. вісник Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування. Серія: техніка та енергетика. – К.: НУБіП України, 2009. – Вип. 134, ч. 2. – С. 7-14.

12. Плотников Д.А. Обоснование и разработка автономной установки для производства пеллетс энергообеспечением от перерабатываемого сырья : автореферат дис.... канд. техн. наук / [Д.А. Плотников] – Ижевск: ИжГТУ, 2008. – 24 с.

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

14. Дубровін В.О. Напрями розвитку вітчизняної техніки для твердопаливних виробництв / [В.О. Дубровін, О.І.Єременко] // Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Механізація та електрифікація сільського господарства». – Глеваха: ННЦ «МЕСГ», 2013. – Вип.97, т.2. – С.13-24.

15. Киркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Расчет и проектирование деталей машин. – Х.: Вища школа, изд-во при ХГУ, 1988. – 124 с.

16. Paolotti D., Cattuto C., Marini U., Marconi B., and Puglisi A. Dynamical properties of vibrofluidized granular mixture // arXiv:cond-mat/0207601. V.1, 25. Jul., 2002.

17. Santos Audres. Granular fluid thermostatted by a bath of elastic hard spheres // arXiv: cond-mat/0301346. V.60, Jan., 2003.

18. Brilliantov N., Poschel T. Hydrodynamics and transport coefficients for Granular Gases // arXiv:cond-mat/0301152. V.1, 10. Jan., 2003.

19. Duffy James W. Hydrodynamic Modes for Granular Gases // arXiv: cond-mat/0302170. V.1, 10. Feb., 2003.

20. Brey J.J., and Cubero D. Granular Gases // T. Poshel and S. Luding, eds.- Lecture notes in Physics. Vol. Springer, Berlin. 2001.

21. Ernst M.H. and van Noije T.C.P. Granular Gases // T. Poshel and S. Luding, eds.- Lecture notes in Physics. Vol. 564. Springer, Berlin. 2001.

22. Ferguson Allison, Fisher Ben, and Chakraborty Bulbul. Impulse distribution in dense granular flows: signatures of large-scale spatial structures. // arXiv: cond-mat/0301201. V. 2, 13. Jan., 2003.

23. Kolymbas D., ed. Constitutive modeling of granular materials // Springer, Berlin. 2000.

24. Volfson Dmitri, Tsimring Lev S., and Aranson S. Partially fluidized shear granular flows: Continuum theory and MD simulation // arXiv: cond-mat/0302340-V.1, 17. Feb., 2003.

25. Тищенко Л.Н. Интенсификация сепарирования зерна / [Л.Н. Тищенко] – Харьков: Основа, 2004. – 224 с.

29. Терсков Г.Д. О влиянии скорости движения материала и кинематических факторов на пропускную способность решет с круглыми отверстиями // Земледельческая механика: Сб.н.тр. – М. Т.7. – С. 306-326.

31. Цециновский В.М. Интенсификация процесса просеивания продуктов размола на отсевах // Труды ВНИИЗ. М., 1951. Вып. 23. С. 25-49.

НУБІП України

33. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. К.: УАСХН, 1960. - 284 с.

34. Сергеев А.С., Соловьев В.М., Павлихин Г.Н. Влияние скорости перемещения сепарируемого материала по поверхности решета на процесс сепарации: Доклады МИИСП. М

42. Блехман И.И., Гортинский В.В., Птушкина Г.Е. Движение частицы в колеблющейся среде при наличии сопротивления типа сухого трения: Известия АН СССР. Механика и машиностроение. М., 1963, № 4. С. 31-41.

43. Берг Б.А. Движение материальной точки по колеблющейся наклонной плоскости с трением // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. М.-Л., 1935. - Т. I. 504 с.

44. Дебердеев Д.В. Исследование процессов вибротранспортирования и сегрегации слоя сыпучего материала при его сепарации на плоских решетах зерноочистительных машин: Автореферат дис. к.т.н. Алма-Ата: 1974. - 23 с.

50. Войналович О.В. Аналіз потенційних небезпек на пелетних виробництвах та заходи профілактики / [О.В. Войналович, О.І. Єременко, Д.Г. Кофто]/ Механізація та електрифікація с.-г. Вип. 97. Т.2. – Глеваха: ННЦ ІМЕСГ, 2013. – С. 51-58.

51. Працезохоронні засади у схемах, таблицях і графіках / О.В. Войналович. – К.: Основа, 2009. – 88 с.

52. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: навч. посібник / [В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, О.В. Мельников] — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.

53. Агафонова Л.Г. Підготовка бізнес-плану: практикум / [Л.Г. Агафонова, О.В. Рого] - К.: Знання, 2001. - 278 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

Додаток А

Дані техніко-економічного обґрунтування використання в Україні котлів іноземного виробництва для спалювання біомаси та соломи

Показники	Котел KARA з рухомо-перешторжувальною решіткою, 5 МВт			Котел KARA з ретортою, 2 МВт			Котел Linka, 800 МВт	Котел PASSAT 980 МВт
	750	750	750	250	250	250	133	121
Капітальні витрати, тис. дол.	750	750	750	250	250	250	133	121
Вологість палива, %	60	60	60	40	40	40	15	15
Навантаження установки, год/рік	4400	8000	8000	4400	8000	8000	4400	4400
Експлуатаційні витрати, тис. дол./рік								
Амортизація	50,25	50,25	50,25	16,75	16,75	16,75	8,91	8,09
Прибуток (річна відсоткова ставка 10%)	75,0	75,0	75,0	25,0	25,0	25,0	13,3	12,13
Оплата праці	0,65	1,80	1,30	0,65	1,30	1,30	0,65	0,65
Паливо	66,1	0	135,0	24,2	0	49,4	3,2	7,43
Технічне обслуговування	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,9	0,15
Всього	197	132	267	72	48	97	27	29
Вид палива		деревина	деревина	деревина	деревина	деревина	солома	солома
Витрата палива, т/год	14685	30000	30000	3357	6857	6857	895,0	1114,0
Теплота згорання, МДж/кг	6,0	6,0	6,0	10,5	10,5	10,5	14,0	14,0
Вартість палива, дол./т	4,5	0	4,5	7,2	0	7,2	3,6	6,52
Вироблення теплової енергії, ТДж/рік	70,49	144,0	144,0	28,2	57,6	57,6	11,28	12,52
Собівартість теплової енергії, дол./ГДж	2,79	0,91	1,85	2,54	0,83	1,69	2,39	2,27
Економія природного газу, млн. куб. м/рік	2,01	4,11	4,11	0,81	1,65	1,65	0,32	0,39
Економія коштів на закупівлю природного газу, тис. дол./рік	161,12	329,14	329,14	64,45	131,7	131,7	25,78	30,88
Термін окупності, років	8,4	2,3	4,0	7,2	2,0	3,3	6,3	5,4

НУБІП України

