

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко–технологічний факультет

УДК 662.8.057:620.9

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри**

охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві  
(назва кафедри)

д.т.н., проф. \_\_\_\_\_ Хмельовський В.С.  
(підпис) (ПІБ)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему **Обґрунтування процесу і параметрів сушильної  
установки в лінії виробництва твердого біопалива**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітня програма – Агроінженерія

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми**

д.т.н., проф.  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Братішко В.В.  
(ПІБ)

**Керівник магістерської роботи**

к.т.н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Єременко О.І.  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Косовський І.І.  
(ПІБ студента)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
УКРАЇНИ****МЕХАНІКО – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ****ЗАТВЕРДЖУЮ****Завідувач кафедри****охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві**

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

**ЗАВДАННЯ****на виконання магістерської кваліфікаційної роботи****Косовському Івану Іванович**\_(прізвище, ім'я, по батькові)Спеціальність **208 «Агроінженерія»**  
(код і назва)Тема магістерської роботи **Обґрунтування процесу і параметрів сушильної установки в лінії виробництва твердого біопалива**затверджена наказом ректора НУБіП України від **“ 7 ” грудня 2023 р. № 2223 С**Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру **30 жовтня 2024 р.**  
(рік, місяць, число)Вихідні дані до магістерської роботи: **Науково-технічна документація та інформаційні джерела техніко-технологічних основ перероблення біомаси у тверде паливо.**

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Аналіз технологій і обладнання для виробництва твердих біопалив
2. Проєктування технологічної лінії виробництва паливних гранул з біомаси
3. Аналіз процесів і конструкцій засобів для сушіння біосировини
4. Розрахунки параметрів і удосконалення перспективної сушарки
5. Охорона праці та довкілля на твердопаливному виробництві
6. Техніко-економічна оцінка лінії з виробництва твердого палива з біомаси

Перелік графічних матеріалів у слайдах презентації:

1. Схема технологічної лінії виробництва твердих видів біопалив в умовах господарства
2. Технологічна схема процесу сушіння біосировини
3. Класифікація технічних установок для сушіння біомаси
4. Конструктивно-технологічна схема конвективної сушарки
5. Схема виникнення небезпечних ситуацій та їх усунення на виробництві
6. Техніко-економічна оцінка проєкту

Дата видачі завдання **“ 14 “ грудня 2023 р.****Керівник магістерської роботи**\_\_\_\_\_  
( підпис )**Єременко О.І.**  
(прізвище та ініціали)**Завдання прийняв до виконання**\_\_\_\_\_  
( підпис )**Косовський І.І.**  
(прізвище та ініціали студента)

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Завдання до виконання магістерської роботи .....                           | 2  |
| <b>Реферат</b> .....   | 5  |
| <b>Вступ</b> .....   | 6  |
| <b>1. Аналіз технологій твердопаливних виробництв</b> .....                | 8  |
| 1.1. Сучасний стан і перспективи твердопаливної галузі .....               | 8  |
| 1.2. Аналіз показників діяльності твердопаливних виробництв .....          | 10 |
| 1.3. Аналіз технологічних процесів виробництва пелет .....                 | 12 |
| Висновки до розділу 1 .....  | 17 |
| <b>2. Аналіз процесів сушіння і типів сушарок</b> .....                    | 18 |
| 2.1. Технологічні основи сушіння біомаси .....                             | 18 |
| 2.2. Аналіз способів сушіння біомаси.....                                  | 19 |
| 2.3. Аналіз сушильних установок біомаси.....                               | 22 |
| Висновки до розділу 2 .....  | 30 |
| <b>3. Дослідження процесів сушіння сировини</b> .....                      | 31 |
| 3.1. Теоретичні аспекти процесу сушіння.....                               | 31 |
| 3.2. Тепловий баланс повітряної сушарки.....                               | 32 |
| 3.3. Побудова процесу сушіння на I-x-діаграмі.....                         | 34 |
| 3.4. Основні вимоги до сушильної установки .....                           | 38 |
| 3.5. Формування вимог технічного завдання на проектування машини.....      | 41 |
| <b>4. Обґрунтування параметрів сушильної установки</b> .....               | 47 |
| 4.1. Розрахунок геометричних параметрів сепаруючого механізму.....         | 47 |
| 4.2. Розрахунок кінематичних параметрів сепаратора.....                    | 49 |
| 4.3. Розрахунок потужності сепаратора.....                                 | 52 |
| 4.4 Автоматизований розрахунок ланцюгових передач.....                     | 53 |
| 4.5. Побудова схеми сушильної установки у графічному редакторі .....       | 54 |
| <b>5. Охорона праці і довкілля</b> .....                                   | 58 |
| 5.1. Вимоги з охорони праці на твердопаливних підприємствах .....          | 58 |
| 5.2. небезпечні та шкідливі фактори в зоні роботи сушильного агрегату..... | 60 |

|  |           |
|--|-----------|
|  | 4         |
| 5.3. Розрахунок освітлення виробничого приміщення.....                       | 62        |
| 5.4. Розрахунок обміну повітря у приміщенні.....                             | 63        |
| 5.5. Причини виникнення та заходи усунення пожежних і вибухових ситуацій.... | 65        |
| <b>6. Техніко-економічне обґрунтування розробки .....</b>                    | <b>67</b> |
| <b>Висновки .....</b>  | <b>78</b> |
| <b>Список використаних джерел .....</b>                                      | <b>80</b> |
| <b>Додатки .....</b>   | <b>84</b> |

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему: **Обґрунтування процесу і параметрів сушильної установки в лінії виробництва твердого біопалива** складається з розрахунково-пояснювальної записки обсягом 87 сторінок машинописного тексту, що включає 49 формул, 27 рисунків, 12 таблиць, 45 використане джерело, 4 додатки, та з ілюстративного матеріалу (презентації) на 14 слайдах.

ПРОЦЕСИ, СИРОВИНА, ТВЕРДІ БІОПАЛИВА, СУШІННЯ, СУШИЛЬНА УСТАНОВКА, РОБОЧІ ОРГАНИ, ТЕПЛООБМІН, РОЗРАХУНКИ, ПАРАМЕТРИ, ОБҐРУНТУВАННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ

**Магістерська кваліфікаційна робота** присвячена підвищенню ефективності виробництва твердих біопалив шляхом вибору перспективного типу сушарки біомаси, дослідження процесу сушіння, розрахунків та обґрунтування параметрів сушильної установки, розробки креслень, визначення економічної ефективності сушарки.

У вступі надані відомості про стан у твердопаливній галузі, визначена ефективність використання відходів деревини, обґрунтована актуальність теми.

У першому розділі проаналізовані технологічні процеси виробництва твердих біопалив з деревних відходів, прийнята схема технологічної лінії.

У другому розділі проведено аналіз процесів і засобів для сушіння сировини.

У третьому розділі досліджено основи процесів сушіння деревної біомаси в конвективних сушарках безперервної дії.

У четвертому розділі обґрунтовані параметри перспективної сушарки.

У п'ятому розділі розглянуті заходи з охорони праці та довкілля під час виконання технологічних процесів на сушильних установках.

У шостому розділі обґрунтовано техніко-економічну ефективність розробки.

У висновках наведені основні результати і пропозиції магістерської роботи

## ВСТУП

На агропромислових підприємствах, починаючи зі збирання врожаю до отримання кінцевої продукції, утворюються відходи і побічні продукти, які займають певні площі і забруднюють довкілля. Сучасні санітарно-екологічні вимоги передбачають обмеження на зберігання відходів, а утилізація потребує суттєвих витрат [1-3]. Отже, перспективою використання аграрних і деревних відходів є переробка їх на тверде біопаливо, а вирішення проблемного питання сушки виробничих побічних матеріалів для енергетичних цілей повинно здійснюватись на промисловому рівні.

На виробництві застосовують сушку біомаси переважно в спеціальних сушильних установках, до складу яких входять сушильний апарат або сушарка, де безпосередньо протікає процес, та допоміжне обладнання – теплообмінні апарати, пристрій для дугтя повітря (вентилятор, повітродувка) і система пилоочищення.

Факторами, що впливають як на атмосферне, так і на камерне (штучне) висушування біомаси, є:

- циркуляція повітря, тобто швидкість його руху;
- відносна вологість повітря;
- теплота (температура).

Циркуляція повітря має першочергове значення, оскільки являє собою єдиний засіб для передачі тепла всередину шару матеріалу та видалення із нього водяної пари. Без циркуляції повітря сушіння біоматеріалів в шарах було б неможливим.

Два інші фактори сушіння знаходяться в повній залежності від циркуляції: якщо в будь-якому місці штабеля циркуляція сповільниться, то температура в цьому місці падає, відносна вологість зростає, а сушіння або закінчується, або іде дуже повільно.

Випаровування вологи з поверхні біомаси не повинно перевищувати тієї швидкості, з якою волога передається із середини до поверхні.

Розміри шару, який розміщують в сушильну камеру, мають великий вплив на тривалість процесу сушіння і на характер процесу висихання. Чим більший шар, чим

щільніше завантажена сушильна камера, тим менше її продуктивність (на перший погляд здається абсурдним, але це факт).

Швидкість, успіх та якість сушіння залежать не від щільності заповнення камери та економії місця, а від викладених вище принципів управління сушаркою.

Швидкість сушіння необхідно регулювати вологістю повітря, а не за рахунок зміни швидкості циркуляції повітря, яка повинна бути цілком достатньою, щоб передати тепло в середину штабеля та видалити із штабеля водяну пару.

Сушіння-складний енергоємний і відповідальний технологічний процес, за яким властивості рослин і відходів визначають свою якість, а тому мають бути не лише збережені, а й покращені. Домогтися цього можна лише, використовуючи результати наукових досліджень технології сушіння: від вивчення властивостей рослин і відходів як об'єкта сушіння до вибору оптимальних методів і режимів ведення процесу сушіння, напрямів удосконалення та реконструкції сушарок на підприємствах.

Отже, тема даної магістерської роботи є актуальною на сьогодні, а впровадження ефективних технологій виробництва твердого біопалива проектування та створення підприємств з переробки сировини безпосередньо в господарстві є перспективною інженерною техніко-технологічною розробкою.

Мета роботи передбачає підвищення ефективності виробництва твердого біопалива шляхом впровадження ефективних технічних засобів для сушіння біосировини.

Об'єктами досліджень є перспективна сушарка транспортерного типу для лінії виробництва біопаливних гранул в умовах господарства.

## Розділ 1.

# АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТВЕРДОПАЛИВНИХ ВИРОБНИЦТВ

## 1.1. Сучасний стан і перспективи твердопаливної галузі

За результатами 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 [7-17].

Уперше гранули були запропоновані американцем німецького походження Рудольфом Гуннерманом, який застосував технологію гранулювання для ефективності перевезення відходів. Потім у США гранули з набули широкого застосування для опалення. У Європі Біопаливні гранули промислово почали виробляти в 80-х роках ХХ століття в Швеції. Незабаром стрімкий розвиток набуває твердопаливне виробництво у Канаді, Данії, Німеччині, Австрії, Голландії, Фінляндії, Норвегії, Англії, Франції, Італії та ін. [1, 5-7].

Діаметр (4-10 мм) та довжина (10-50 мм) пелет визначаються користувачами опалювальної техніки. Брикети – це гранули діаметром понад 25 мм з можливим внутрішнім отвором діаметром до 20 мм. В світі виробляється пелет в двадцять разів більше, ніж паливних брикетів [1, 4-6, 12, 17].

У залежності від якості пелети розрізняють на гранули першого класу і промисловий клас. Пелети першого класу більш якісні і використовуються переважно в приватному секторі. При їхньому виробництві не допускається вміст кори через високу зольність. Зольний залишок таких гранул не перевищує 0,5% від об'єму спаленого матеріалу. Пелети першого сорту (класу) виготовляються з , очищеної від кори, а промислові гранули виготовляються з з корою. 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, 6, 8]. У Європі в 2002-2012 рр. ціна гранул першого класу становила 200...250 євро за тону , а промислових – 75...100 €/т [12].

До достоїнств гранулюваного біопалива також слід віднести високу продуктивність і надійність обладнання, меншу енергоємність процесу. Невеликі розміри гранул забезпечують їх переміщення пневмотранспортними установками і самоплив, підвищують точність дозування палива. Це дозволяє застосовувати

гранули першого класу в автоматичних котельних установках невеликої потужності до 1 МВт [1, 4, 5, 7, 8], використовуваних, в основному, в приватному секторі. Для потужних опалювальних установок, а також для систем комбінованого виробництва тепла і електроенергії випускають промислові гранули.

Гранули менш схильні до самозаймання, оскільки не містятьпилу і спор, які також можуть викликати алергічну реакцію у людей. Гранули відрізняються від звичайної високою сухістю (8—12 % вологи проти 30—50 % у дровах) і більшою — приблизно в півтора рази — густиною. Ці якості забезпечують високу теплотворну здатність в порівнянні з тріскою або дровами — при згоранні тонни гранул виділяється приблизно 5 тис. кВт-год тепла, що у півтора рази більше, ніж у звичайних дров.

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

Інтерес до застосування твердого біопалива ще більш зріс в ХХІ 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 паливних гранул. В розвинутих країнах пелети почали виробляти як з відходів, так і з спеціальних енергетичних посадок, торфу, соломи, енергетичних, побутових відходів [9]. Поступово до виробництва твердого біопалива залучається круглий ліс. На німецькому підприємстві German Pellets GmbH імпортований круглий ліс складає 20% сировини для гранулювання [16]. В Німеччині в 2006 р. введений в дію перший завод по отриманню паливних гранул з круглого лісу і обалка [17], що свідчить про зростаючу потребу в поновлюваних джерелах енергії.

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

Німецька компанія Muench-Edelstahl GmbH запропонувала заводи-контейнери по виробництву паливних гранул [14]. При розробці цих заводів фірма-виготовлювач орієнтувалася на Скандинавію. Такий завод може бути змонтований на бетонній підлозі або розмонтований за 3...4 години. Є пропозиція розміщувати лінію гранулювання паливних гранул на автомобільних шасі [15].

Застосування паливних гранул покращує екологічну ситуацію, менше забруднює навколишнє середовище порівняно із використанням мінерального палива, тому що при спалюванні біопалива звільняється стільки вуглекислих газів, скільки рослина сприйняла під час вегетації. При використанні пелет як палива відбувається зменшення викиду двоокису сірки, що у свою чергу, призводить до зменшення кислотних дощів і зниження надання шкоди флорі [1, 4, 7-12,17].

Біопаливні гранули є реальною альтернативою кам'яному вугіллю і нафті. Оскільки, вони за своїми теплотворними характеристиками не поступаються вугіллю, а їх екологічні параметри взагалі поза конкуренцією. Біопаливні гранули вважаються паливом майбутнього і користуються великим попитом в розвинених країнах світу, враховуючи велику екологічну складову їх використання [1, 5, 9].

Вище наведені технологічні, екологічні та енергетичні позитивні фактори застосування паливних гранул з подрібнених відходів доводять те, що цей вид твердого біопалива є перспективним паливно-енергетичним ресурсом, у тому числі в Україні. Тому актуальність теми магістерської роботи безсумнівна, а очікуванні технічні результати даної інженерно-конструкторської розробки підвищуватиме техніко-економічну ефективність твердопаливних виробництв.

## **1.2. Аналіз показників діяльності твердопаливних виробництв**

За попередніми підрахунками невикористаний потенціал щорічно відновлюваного твердого біопаливного ресурсу в Україні (в переводі на абсолютно суху речовину) складає реально близько 30 млн. т, у тому числі:

- дрова, лісосічні рештки та відходи переробки (без паливних дров, які використовуються за призначенням) – 2,5-3 млн. т;

- рослинна біомаса агропромислового виробництва (солома) – 25-30 млн. т;

За теплотворною здатністю це еквівалентно 10-12 млрд. м<sup>3</sup> природного газу.

У таблиці 1.1 приведена характеристика якості пелет і брикетів вітчизняних виробників [6]. В продукції вітчизняних виробників зустрічаються зразки, не відповідні нормам європейських споживачів, а саме: у деяких пробах волога перевищує 10 %, яка є межею бракування і може бути чинником руйнування пелет в процесі їх транспортування до місця споживання. Що стосується зольності, то нормована деякими європейським стандартами величина, рівна 0,5 % практично недосяжна для вітчизняних виробників, лише деякі проби витримують вимоги німецького стандарту DIN 51731 і шведського SS 187120 (зольність менше 1,5 %). З

іншого боку, по величині загальної сірки в товарній продукції всі українські виробники витримують досить жорсткі вимоги (менше 0,04 %). Величина теплоти згорання вітчизняних паливних гранул, в основному, перевищує нормативні значення європейських стандартів, проте зустрічається ряд некондиційних зразків.

Необхідно відзначити, що задані в європейських стандартах значення розмірів (довжина і діаметр) пелет, їх питомої і насипної щільності, вмісту пилю, деяких елементів (азот, хлор, миш'як), важких металів (свинець, кадмій, хром, мідь, ртуть, цинк), органічних галогенів і закріплювача поки не затребувані у вітчизняних виробників пелет і брикетів.

Таблиця 1.1. Характеристика технологічних показників вітчизняних біопалив

| № 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     | Брикетети 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     | Брикетети з лузги соняшника      | 2,8-11,5        | 3,1-5,0         | сліди            | 16,60-18,94                       |
| 6     | Брикетети з оболонки гречки      | 8,1             | 1,9             | сліди            | 17,33                             |
| 7     | Брикетети з промислових конопель | 9,0             | 1,6             | сліди            | 16,87                             |

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].

З вищенаведеного випливає, що світовий паливний ринок зі швидкозростаючим збутом пелет і брикетів є перспективною маркетинговою базою для твердопаливного виробництва. Проте, вітчизняне виробництво паливних гранул перебуває в стадії, що зароджується, як по обсягах виробництва, так і за якістю продукції. Враховуючи велику кількість відходів деревообробної і аграрної промисловості України, виробництво даних видів біопалив суттєво поповнюватиме вітчизняний енергетичний баланс і поліпшить екологічну ситуацію.

### 1.3. Аналіз технологічних процесів виробництва пелет

Виробництво паливних гранул з біомаси включає (рис. 1.1) попереднє подрібнення, сушіння, остаточне подрібнення до стану тирси. Під час сушіння важко отримати оптимальну вологість матеріалу, тому пересушену деревину зволожують до необхідного значення і піддають гранулюванню.

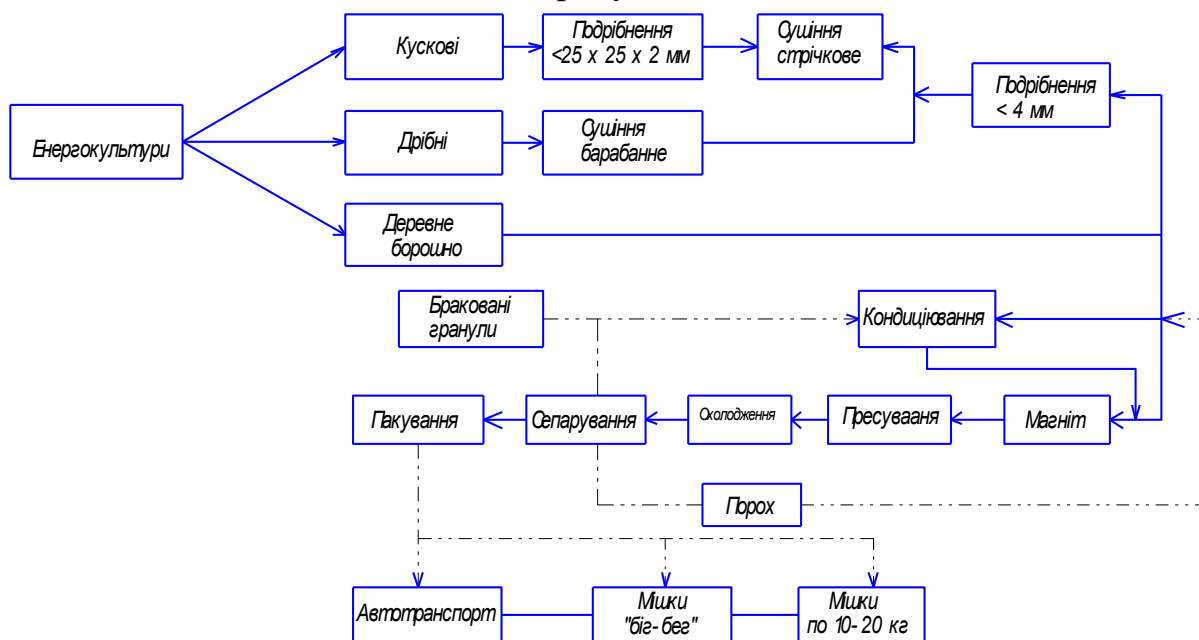


Рис. 1.1. Технологічна схема процесів виробництва паливних гранул

Рекомендації фірми BУHLER передбачають такі технологічні процеси і режими виготовлення паливних гранул (або пелет) [5, 7]. гранули - це невеликі циліндричні паливні вироби діаметром 4-12 мм, завдовжки 20-50 мм,

*Первинна обробка* відходів. Продукт повинен володіти певним гранулометричним складом і вологістю 11...14%. Крупні шматки мають бути подрібнені і при надмірній володСТУї піддані сушці. Потім матеріал подрібнюють в молотковій дробарці для отримання однорідного складу.

*Кондиціонування.* У відходи перед пресуванням необхідно ввести пару чи воду для поліпшення властивостей лігніну. Якщо в сировині кількість лігніну недостатньо або відбулося розкладання лігніну унаслідок тривалого зберігання, сили зчеплення в гранулі можна забезпечити додаванням речовин, що пов'язують, під час подрібнення. Відповідно до стандарту DIN 51731 допускається додавати максимум 2% зернового крохмалю або борошна грубого помелу.

*Гранулювання (пелетування).* Підготовлену біомасу пресують в матричних грануляторах. Матриці можуть бути кільцевими або плоскими. Пресувальні ролики

продавлюють продукт через філь'ери матриці. Циліндрові стовпчики, що утворюються на виході з матриці, срізаються на необхідну довжину.

Дані компанії California Pellet Mill [5] свідчать, що при діаметрі філь'ер 6 і 8 мм довжина формуючої порожнини має бути 40...45 мм. При цьому якість пелет діаметром 6 мм вище, ніж 8 мм. Виробники грануляторів рекомендують безпосередньо перед гранулюванням вводити в сировину деяку кількість води або пари, причому є спірне твердження про адекватність використання води і пари.

*Охолодження.* Пелети виходять з преса м'якими, вологими і гарячими (як правило, їх температура складає 90...120°C). Для того, щоб можна було транспортувати і складувати гранули, їх необхідно охолодити і висушити. При цьому відбувається твердіння пелет.

*Просіювання.* Відділення дрібної фракції проводиться шляхом просіювання охолоджених гранул. Частинки, що просіялись, повертаються в установку.

Технологічна лінія (рис. 1.2) [9, 10] відображає сучасну і сприятливу для умов лісового господарства технологію виробництва пелет. Завдання, що вирішуються на етапі перед-проектних досліджень і розрахунків, визначаються й коригуються в залежності від техніко-технологічних та фінансових можливостей замовника.

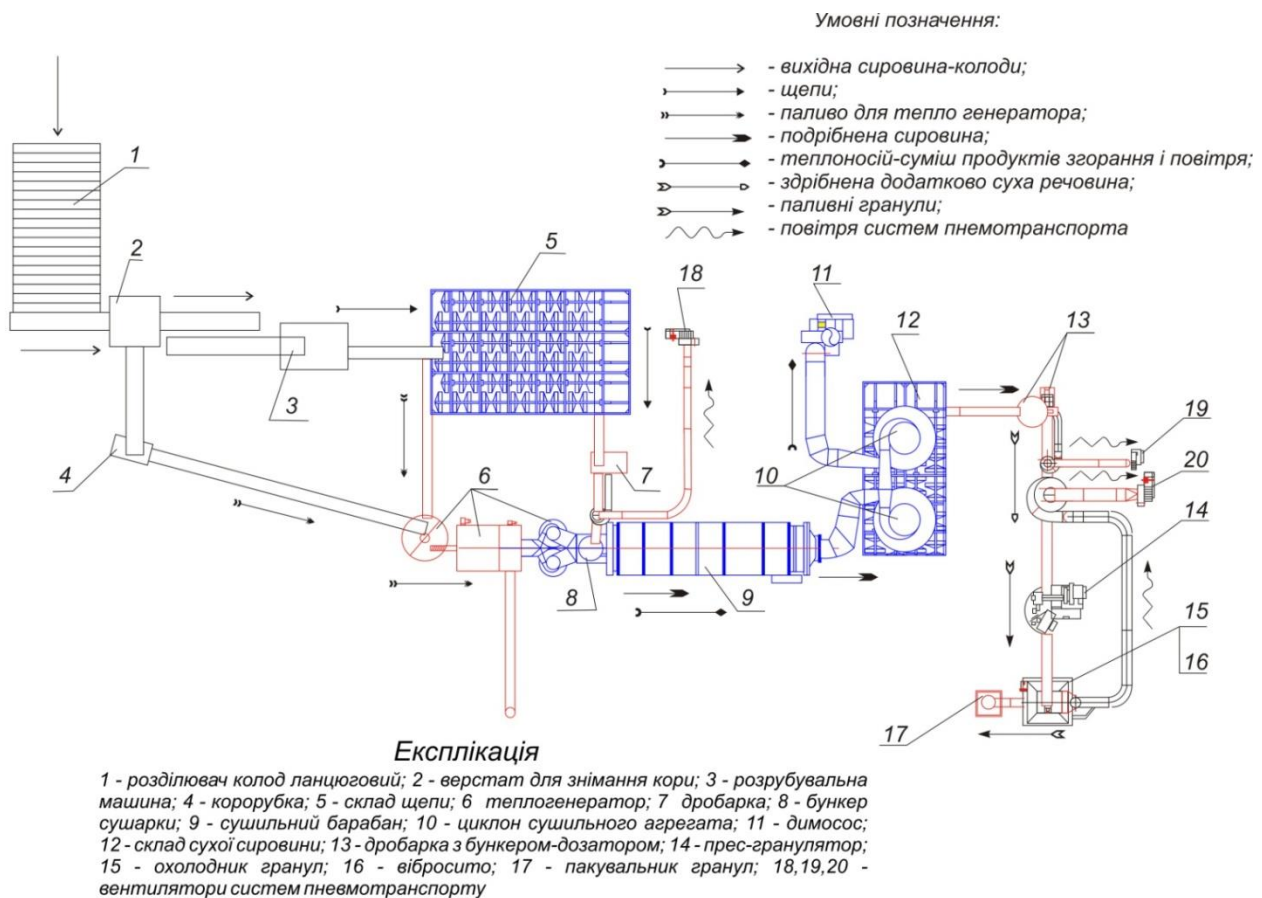


Рис. 1.2. Схема універсальної технологічної лінії виробництва пелет з :

1 - розділювач колод ланцюговий; 2 - верстат для знімання кори; 3 - розрубувальна машина; 4 – корорубка; 5 - склад щепи; 6 – теплогенератор; 7 - дробарка; 8 - бункер сушарки; 9 – сушильний барабан; 10 – циклон сушильного агрегату; 11 – димосос; 12 – склад сухої сировини; 13 – дробарка з бункером-дозатором; 14 – прес-гранулятор; 15 – охолодник гранул; 16 – вібросито; 17 - пакувальник гранул; 18,19,20 - вентилятори систем пневмотранспорту

Сировина (тирса) поступає в дробарку, де подрібнюється до стану борошна. Отримана маса поступає в сушарку, з неї – у прес-гранулятор, де деревну мучку пресують у гранули. Стиснення під час пресування підвищує температуру матеріалу, лігнін, що міститься в деревині розм'якшується і склеює частки в щільні циліндри.

На виробництво однієї тони гранул йде 4-5 кубометрів відходів природної волоДСТУі. Готові гранули охолоджують, пакують у великі біг-беги (по кілька тонн) або дрібну упаковку до декількох десятків кг. Розрізняють промислові (доставляються насипом без упаковки або в біг-бегах) і споживчі гранули.

Дрова широко використовуються для власних потреб підприємствами лісового господарства та деревопереробної промисловості, споживаються в комунальному господарстві та побуті, тому для потреб енергетики будуть недоступними. При плануванні створення енергетичних підприємств, що використовують деревину як паливо, необхідно орієнтуватися на невикористані ресурси відходів лісового господарства та деревопереробної промисловості. За оцінками, в Україні невикористані ресурси відходів деревини становлять 2858 тис. м<sup>3</sup>, що еквівалентно близько 750 тис. т у.п. на рік. Значною мірою невикористані ресурси це відходи лісового господарства, заготівля яких не ведеться через відсутність попиту. На деревопереробних підприємствах не повністю використовуються відходи деревини та кора. Створення спеціалізованих енергетичних підприємств, які пристосовані для використання відходів деревини, дало б змогу підприємствам лісового господарства організувати заготівлю лісосічних відходів, переробку їх на паливну тріску з подальшим постачанням енергетичним підприємствам. На енергетичні потреби могла б поставлятися некондиційна технологічна деревина, відходи та матеріали деревини, які не мають збуту. Таким чином, енергетичні підприємства можуть стати споживачами деревинних матеріалів, забезпечуючи ефективне залучення лісових ресурсів до використання [1, 3, 12, 13, 16].

За результатами [1, 2, 4, 5, 8, 10, 11,12] проведеного аналізу технологічних ліній приймаємо для організації твердопаливного виробництва в умовах типового господарства технологічний комплекс машин, що на рис. 1.3.

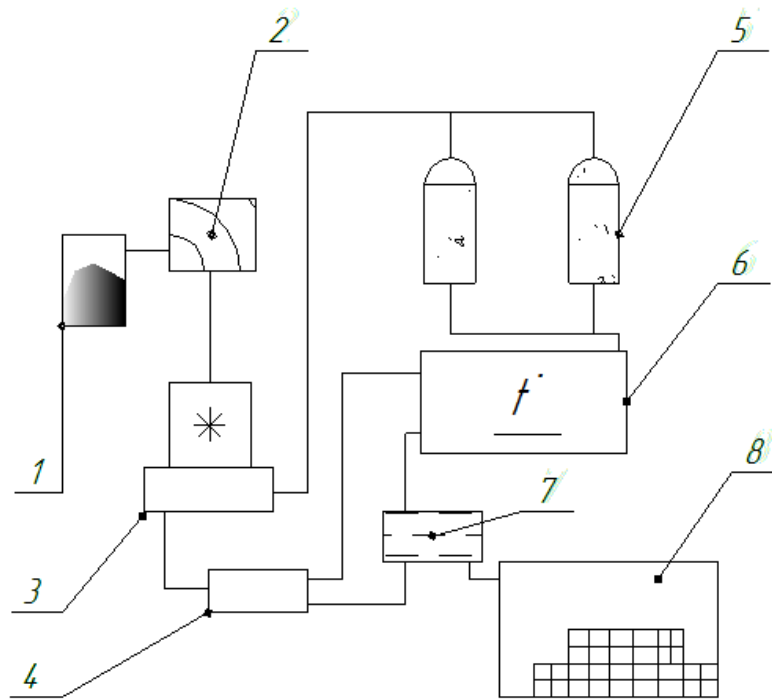


Рис. 1.3. Схема базової технологічної лінії «Граніт-90» для виготовлення біопаливних гранул в умовах господарства: 1 - накопичувач відходів; 2 - сортувальний пункт; 3 – подрібнювач та сушарка; 4 – теплогенератор; 5 - прес-гранулятор; 6 - охолоджувач; 7 – вібростіл; 8 - сховище готових виробів

Подрібнення сировини (залишків неліквідної та відходів лісопереробки) здійснюється у молотковій дробарці до розміру частинок тирси. Цей процес є досить важливим, оскільки від розміру подрібнення біомаси залежить як ефективність процесу сушіння, так і процес подальшої грануляції. Подрібнена сировина подається на стрічкову сушарку. Для процесу сушіння використовуються димові гази, що виділяються при спалюванні гранул. Гранулювання відбувається при високому тиску та відповідній температурі, що забезпечує достатнє виділення лігніну, який слугує якості з'єднувального агенту, що склеює.

Спосіб виготовлення пелет із подрібнених відходів полягає у пресуванні із застосуванням високих тисків. Пресування проводиться за допомогою прес-гранулятора в умовах підвищеного тиску 40-60 МПа та температури близько 95 °С. За таких умов виділяється лігнін, який склеює подрібнені частки відходів. Спресовані вироби направляються на охолодження. Охолодження є дуже важливим етапом під час виробництва пелет і брикетів. Під час охолодження лігнін затвердіває на поверхні

гранул, тому їх форма залишається без змін. Відходи привозять транспортом до сховища 1 (рис. 1.3), для сортування за гранулометричним складом та зберігання. Розділені відходи подаються на проміжний склад 2, звідки відходи подаються для подрібнення на молотковий подрібнювач та підсушуються 3. В подальшому суха кондиційна подрібнена маса прямує на гранулювання в прес-гранулятор 5. Після виходу із гранулятора, гранули подаються на охолодження, яке відбувається за допомогою повітря в охолоджувальній колоні 6. Далі гранули потрапляють на вібрсито 7 для видалення дрібних частинок, які використовуються як паливо у теплогенераторі 4, а придатні гранули направляються на склад готової продукції 8. В подальшому відбувається упакування пелет та відвантаження за призначенням.

Результати аналітичного огляду вартості виробництва [10, 11,12] пелет для сухої або вологої біосировини представлений на діаграмах (рис. 1.4). Як видно з діаграм, у разі використання вологої сировини вартість сушки і самої сировини може складати  $2/3$  від собівартості біогранул. Вартість виробництва пелет при використанні сухої сировини (діаграма 2) в основному визначається вартістю сировини, яка складає більш ніж  $1/2$  від собівартості продукції.

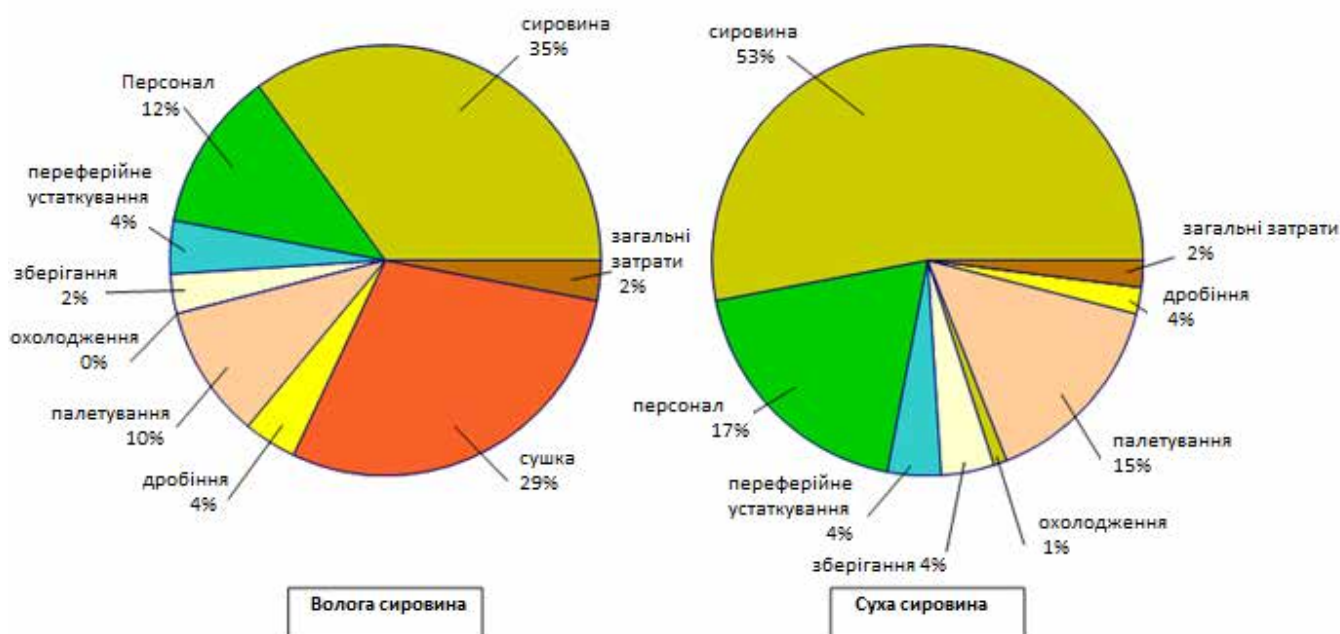


Рис. 1.4. Відсотковий розподіл витрат у виробництві біопаливних гранул при використанні вологої і сухої біомаси

Примітка: розрахунки проведені на основі спостережень на 9 заводах. Обсяг виробництва: 430-79000 т/рік. Кількість робочих годин: 650-8000 год./рік. Собівартість продукції: 78,6-101,2 €/т – для вологої сировини; 52,2-81,3 €/т – для сухої сировини.

### **Висновки до розділу 1**

1. Встановлено, що процес екструзії, 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, правильної форми, а також забезпечує ефективність подальшого використання гранул як біопалива. Тому гранули інтенсивно набувають поширення в країнах світу.

2. Проаналізовані фізико-технологічні вимоги і властивості паливних гранул свідчать про високу технологічну складність їх виготовлення. Перспективним напрямком отримання пелет є використання аграрних і деревних відходів.

## Розділ 2.

### АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ І ТИПІВ СУШАРОК

Оскільки рослинна продукція містить велику кількість води, клітковини і покритих воском покривів, то технологічні операції її сушіння є складним процесом. Окрім того, видалити з сировини 70-80 % волога досить важко, більшість біомаси не мають пористої структури. Тому при сушці на поверхні швидко утворюється драглиста плівка. Також в процесі сушіння істотно змінюється хімічний склад сировини, що приводить до утворення темно фарбованих з'єднань в результаті окислювальних реакцій.

#### 2.1. Технологічні основи сушіння біомаси

Вологу з матеріалів можна видалити різними методами: механічним, фізико-хімічним і тепловим. При механічному методі вологу відтискують у пресах або в центрифугах. Фізико-хімічний метод ґрунтується на застосуванні волого відбірних засобів і використовується переважно в лабораторній практиці. Зневоднювальними способами є сірчана кислота, хлористий кальцій, силікагель. При тепловому способі волога випаровується з поверхні матеріалу і дифундує в навколишнє повітря, яке виносить вологу із сушарки. Із цього випливає, що сушінням називають термічний процес видалення вологи з матеріалів внаслідок її випаровування і дифузії.

Сушіння є суміщеним тепловим і дифузійним процесом, при якому волога дифундує із середніх шарів матеріалу до його поверхні, переходить крізь примежову плівку, а потім дифундує всередину газової фази, виносячи при цьому з матеріалу значну кількість теплової енергії. Підраховано, що в нашій країні приблизно 15% палива витрачається на сушіння, при цьому енергетичний ККД багатьох сушильних установок становить лише 30...50%. Тому підвищення технологічної та енергетичної ефективності процесів сушіння має важливе народногосподарське значення.

#### 2.2. Аналіз способів сушіння біомаси

Сушіння сировини є одним із методів консервування, оскільки в продукті, з якого видалена волога, мікроорганізми не можуть розвиватись. Так, життєдіяльність мікроорганізмів практично припиняється при вмісті вологи в рослинній біомасі нижче 12-14%, а в деревині – 15-25%.

Розрізняють два основних види сушки біосировини і біомаси – це природній (повітряно-сонячний) і штучний. Перший вид поширений, головним чином, у сільськогосподарському виробництві, другий – у спеціалізованій промисловості.

**2.2.1. Аналіз способів штучної сушки біомаси** Це основний напрямок виробництва сушених матеріалів. Способи штучної сушки розрізняються організацією процесу відбирання вологи від матеріалу і характеризуються використанням одного або декількох процесів, що визначають специфіку сушіння. Найбільш поширені такі способи сушки рослинної сировини:

- конвективний;
- кондуктивний;
- сублімаційний;
- сушіння в „киплячому” шарі сипкого сировини;
- експлозивний (вибуховий);
- аерофонтаний (пневматичний);
- ультразвуковий (акустичний);
- сушіння з нагрівом сировини інфрачервоними променями;
- сушіння з нагрівом сировини в полі струмів високої частоти (мікрохвильовий).

**Конвективна сушка** найбільш поширена у виробництві висушеної продукції біомаси. Ця сушка передбачає примусовий рух повітря, нагрітого за допомогою калориферів, відносно шару висушуваної сировини.

Такий спосіб заснований на передачі тепла висушуваному матеріалу за рахунок енергії нагрітого сушильного агента - повітря або парогазової суміші. Сушка біосировини відбувається при обмиванні сировини нагрітим газом, повітрям, топковими газами, перегрітою парою і іншими теплоносіями, які мають температуру, відмінну від температури матеріалу, що піддається сушці. Швидкість вимушеної конвекції 1...5 м/с. За рахунок теплової енергії, що передається біомасі, йде випар вологи, що знаходиться в продукті, а віднесення пари вологи здійснюється сушильним агентом.

Розрізняють конвективну сушку матеріалів в шарі, при якій застосовуються сушарки матеріалу в шарі агенту сушки (тунельні, камерні, питлеві, турбінні, стрічкові, конвеєрні, шахтні сушарки), а також конвективна сушка з сопловим обдуванням плоских шарів матеріалів. Окрім цього розрізняють конвективну сушку матеріалів в зваженому і напівзваженому стані, яка може здійснюватися в барабанних

установках, в установках з киплячим шаром, в пневматичних трубах-сушарках, у вихровому потоці, а також шляхом розпилувального сушіння.

Проте цьому способу властиві деякі недоліки, що стосуються нераціонального використання енергії установками, оскільки сушка сировини в такий спосіб неминуче супроводиться втратами тепла на нагрів конструкцій і довкілля. При інтенсифікації процесів такої сушки сировини необхідно підвищувати температуру теплоносія, що приводить до перегріву біомаси, особливо на стадії досушування. Крім того, цьому способу властиві недоліки, що істотно знижують якість кінцевого продукту. При цій сушці випар вологи відбувається лише з поверхні, що наводить до появи плівки, яка утрудняє подальше сушіння і погіршує якість сировини. Висока температура і висока тривалість сушки сприяють розвитку окислювальних процесів і наводять до втрат біологічно активних речовин в гранулах, але не завжди сприяє придушенню первинної мікрофлори.

**Кондуктивна сушка** сировини ґрунтується на передачі тепла висушуваній сировини шляхом безпосереднього контакту з поверхнею сушильного обладнання.

Для сушки деревної біосировини цей спосіб не знайшов широкого використання. Високої якості сировини досягти не вдається із-за нерівномірності володСТУі кінцевого продукту. Крім того, біомасу, що контактує з нагрітою поверхнею в період сушіння, пересушують і це призводить до безповоротності процесів відновлення, а із-за високої температури (320-340°C) в сушильній камері висушена біосировина втрачає енергетично активні речовини, а також стає ламкою.

При кондуктивному сушінні тепло передається вологій біомасі лише від поверхні, що гріє, до відкритої поверхні біосировини з подальшою віддачею його в навколишнє середовище. Кількість отриманого тепла витрачається на випарювання вологи, на втрати тепла випромінюванням і конвекцією в довкілля. Доля цих втрат у загальній кількості витрат тепла незначна 3-5%, що робить сушильне обладнання достатньо ефективним. Проте технологічні властивості твердого біопалива та вміст вихідних речовин характеризують цей спосіб сушки як мало застосованим.

**Сублімація** є відведення вологи із замороженої сировини, минувши рідкий стан, в умовах вакууму. При такому способі зберігаються вихідні властивості сирих сировини: анатомічна будова, хімічний склад, енергетичні і біологічні достоїнства. Сушені матеріали добре набрякають, швидко і повністю відновлюються завдяки пористості і гігроскопічності.

Принцип сушки сублімації заснований на тому фізичному явищі, що при значеннях атмосферного тиску нижче певного порогу – так званої "потрійної крапки" (для чистої води - 6,1 м бар при 0°C) вода може знаходитися лише в двох агрегатних станах - твердому і газоподібному. Перехід води в рідинне становище в таких умовах неможливий. Якщо парціальний тиск водної пари в довіклілі нижче, ніж парціальний тиск льоду, то лід біомаси переводиться в газоподібний стан напряму, минувши рідинну фазу.

Сушка сублімацією складається з трьох стадій:

- заморожування в результаті утворення глибокого вакууму або в спеціальній морозильній камері;
- сублімація, зокрема видалення льоду чи кристалів розчинника без підведення тепла ззовні;
- досушування у вакуумі з підігріванням сировини.

Визначний вплив на якість біосировини має етап заморожування. Вакуум дозволяє істотно понизити температуру висушуваного матеріалу. Чим швидше і глибше заморожується продукт, тим менші кристали льоду утворюються в продукті, тим швидше вони випаровуються на другому етапі і тим вище якість сушеного сировини. Оскільки видалення основної маси вологи з біомаси відбувається при температурах -20...-30°C, а їх досушування здійснюється при температурі не вище 40°C. Сушіння йде рівномірно, без утворення зовнішньої кірки. В результаті зберігаються біологічно корисні компоненти вихідної сировини, а також об'єм та пориста структура. Це полегшує відновлення властивостей та зовнішнього вигляду біосировини, попереджує їх руйнування.

Концентрація кисню в середовищі, що оточує продукт, надзвичайно низька, що сприятливо для сировини. Оскільки кінцева вологість вакуумних матеріалів для сублімації сировини є низькою (2-5%), то це створює передумови для їх тривалого зберігання в умовах нерегульованих температур.

Сублімаційне-вакуумне сушіння використовується як засіб консервації, що дозволяє до 95 % зберегти в них живильні речовини, мікроелементи, матеріали і навіть первинну форму, колір і запах тривалий час (від двох до п'яти років) при температурі довікля від -50 до +50 °C. Сублімаційне-вакуумне сушіння робить непотрібним вживання яких би то не було ароматизаторів, консервантів і фарбників.

Висока якість і енергетична повноцінність сублімованих матеріалів пояснюється тим, що обробці може піддаватися лише свіжа біосировина.

**Сушка в „киплячому” шарі і аерофонтана** сушка здійснюються при продуванні повітря крізь шар сипкого матеріалу від низу до верху. У обох випадках явище принципове одне і те ж, але при пневматичному (аерофонтанному) сушінні швидкість повітря вища і відстані між частками висушуваного матеріалу більші. Псевдокиплячий (розріджений) шар реалізується при швидкостях повітряного потоку 1...5 м/с. Сушка аерофонтанним способом передбачає швидкість руху повітря до 12...14 м/с.

### 2.3. Аналіз сушильних установок біомаси

**2.3.1. Вихідні вимоги та класифікація сушарок.** Для інтенсифікації процесу сушіння і підвищення ефективності роботи сушильних установок при проектуванні доцільно дотримуватись таких вимог:

- використання більш високих початкових температур теплоносія в умовах автоматизованих контролю і регулювання температури. З підвищенням температури теплоносія різко скорочується тривалість сушіння, внаслідок чого матеріал зберігає свої якісні показники, а також зменшуються питомі витрати енергії;

- використання великих локальних швидкостей, пульсуючих газових потоків і вібрації частинок матеріалу, закручених високошвидкісних потоків тощо;

- застосування як теплоносія перегрітої пари, одержаної при сушінні матеріалу;

- застосування комбінованих способів сушіння і суміщення різних процесів в одному апараті;

- використання вторинних теплових ресурсів.

У промисловості застосовують різноманітні сушарки для сушіння біомаси. Класифікують сушарки за такими ознаками:

- режим роботи — періодичної, безперервної і циклічної дії;

- спосіб підведення теплоти — конвективні, контактні (кондуктивні), радіаційні і високочастотні;

- вид сушильного агента — повітряні, із застосуванням димових газів, парові, рідинні

- вид висушуваного матеріалу — кусковий, зернистий (дисперсний), пиловидний, пастоподібний, рідкий (розчин);

- тиск у сушильній камері - атмосферні, вакуумні, глибоко-вакуумні, під надлишковим тиском;

- напрямок руху сушильного агента відносно матеріалу — прямотечійні, протитечійні, з перехресним потоком;

- варіант сушильного процесу — з нормальним (основним) процесом, з проміжним підігріванням сушильного агента, з рециркуляцією відпрацьованого повітря, з додатковим підігріванням повітря в сушильній камері та ін.;

- конструкція сушильної камери — барабанні, камерні, шахтні, стрічкові, конвеєрні, коридорні (тунельні), трубчасті, пневматичні, вальцьові та ін.;

- стан шару матеріалу (для дисперсних матеріалів) — щільний, розрихлений, киплячий, фонтануючий;

- спосіб створення циркуляції сушильного агента — з природною і вимушеною циркуляцією.

За результатами проведеного аналізу передбачаємо для прийнятої технологічної лінії виробництва твердого біопалива (розд. 1) установку, що працює за конвективним способом сушіння деревної сировини.

Розглянемо основні типи конвективних сушарок, які об'єднані за способом підведення теплоти.

**2.3.2. Сушарки з нерухомим або щільним прошарком матеріалу.** Камерні сушарки (рис. 2.1) є герметичні камери, в середині яких висушується матеріал залежно від його виду розташування на сітках, листах, тичинах, затискачах та інших пристосуваннях. Їх застосовують для сушіння порівняно невеликих кількостей матеріалу і при достатньо великій тривалості процесу.

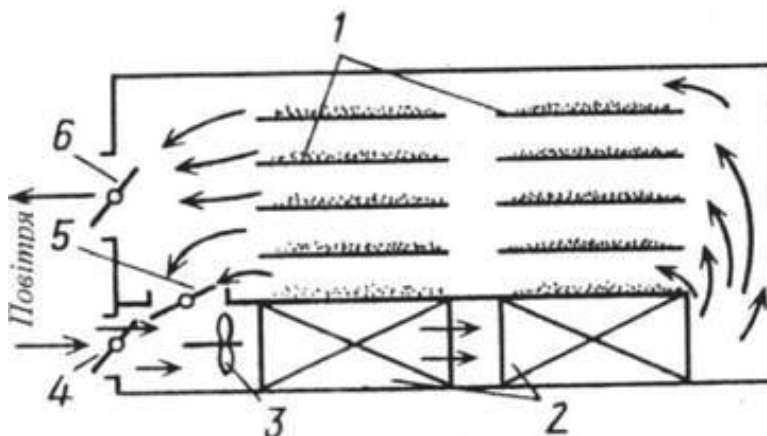


Рис. 2.1. Камерна сушарка:

1 — полки для завантаження матеріалу, що висушується; 2 — калорифер; 3 — вентилятор; 4 — заслінка для регулювання витрати свіжого повітря; 5, 6 — заслінки (шибери) для регулювання витрат рециркулюючого і відпрацьованого повітря

Тунельні сушарки (рис. 2.2) — апарати безупинної дії, що являють собою довгі камери. їх звичайно використовують для сушіння великого числа штучних матеріалів. Для них характерне тривале і нерівномірне сушіння. Потік нагрітого повітря, що нагнітається вентилятором 2 через калорифер 3, проходить уздовж камери, омиваючи матеріал, що висушується, і випаровуючи вологу.

У цих сушарках теплоносієм є повітря або топкові гази, які подають вентилятором через калорифер. Сушильною камерою тут є тунель, в якому по рейках переміщуються вагонетки. На вагонетках установлюють сітчасті стелажі, на які кладуть матеріал. Через певні проміжки часу вагонетки з матеріалом викочують з тунелю. Ці сушарки зручні для різних варіантів сушильного процесу. Для біомаси навантаження на 1 м<sup>2</sup> сита становить 7,0...8,5 кг. При температурі 85...90°C тривалість сушіння становить 5...6 год. Для деревної сировини навантаження — 7,5 кг, а тривалість сушіння — 6...10 год при 60...70°C.

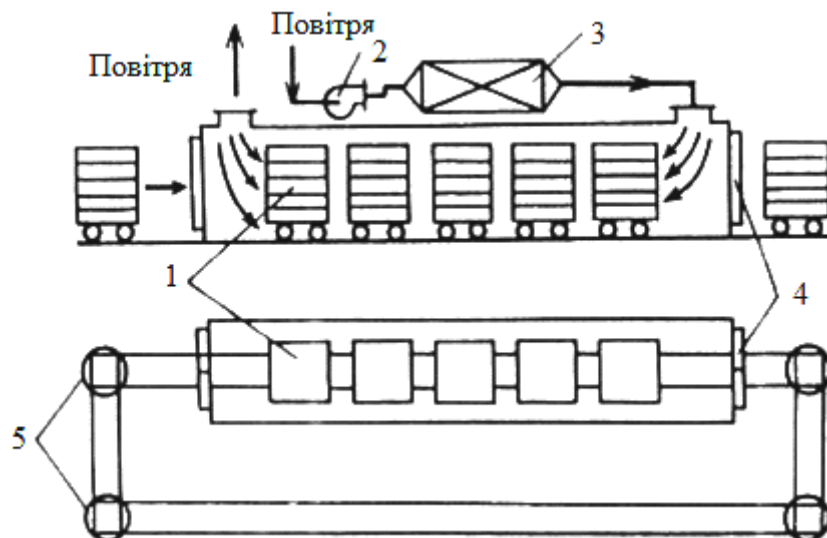


Рис. 2.2. Тунельна сушарка: 1 — вагонетки; 2 — вентилятор; 3 — калорифер; 4 — герметичні двері; 5 — поворотні кола

Конвеєрні (стрічкові) сушарки (рис. 2.3) призначені для сушіння сипучих (зернистих, гранульованих, крупнодисперсних) і волокнистих матеріалів, а також готових виробів і напівфабрикатів. Стрічкові сушарки особливо доцільні для сушіння формованих виробів і гранульованих каталізаторів. Сушіння проводиться безупинно при атмосферному тиску. Висушений матеріал рухається на безкінечних стрічках (транспортерах). При пересипанні матеріалу зі стрічки на стрічку збільшується поверхня його зіткнення із сушильним агентом, що сприяє зростанню швидкості

сушіння. Між вільною і робочою вітками кожної стрічки розміщуються калорифери 3 для підігрівання повітря (варіант з проміжним підігріванням повітря).

Свіже повітря через повітряні канали надходить під нижню вільну вітку стрічки сушильної камери, підігрівається в калориферах нижньої зони, пронизує шар рослинного матеріалу на робочій частині стрічки, а потім послідовно проходить знизу вгору через усі обігрівники і стрічки. Відпрацьоване повітря через канал 7 виходить із сушарки. Швидкість руху повітря в сушильній камері — 3,0 м/с; швидкість руху стрічки — 0,3...0,7 м/хв.

Такі сушарки використовують для висушування біосировини, короткорізаних рослинних виробів тощо. В конвеєрних стрічкових сушарках легко здійснюється прямотечія, протитечія і змішаної схеми прямування теплоносія і продукту.

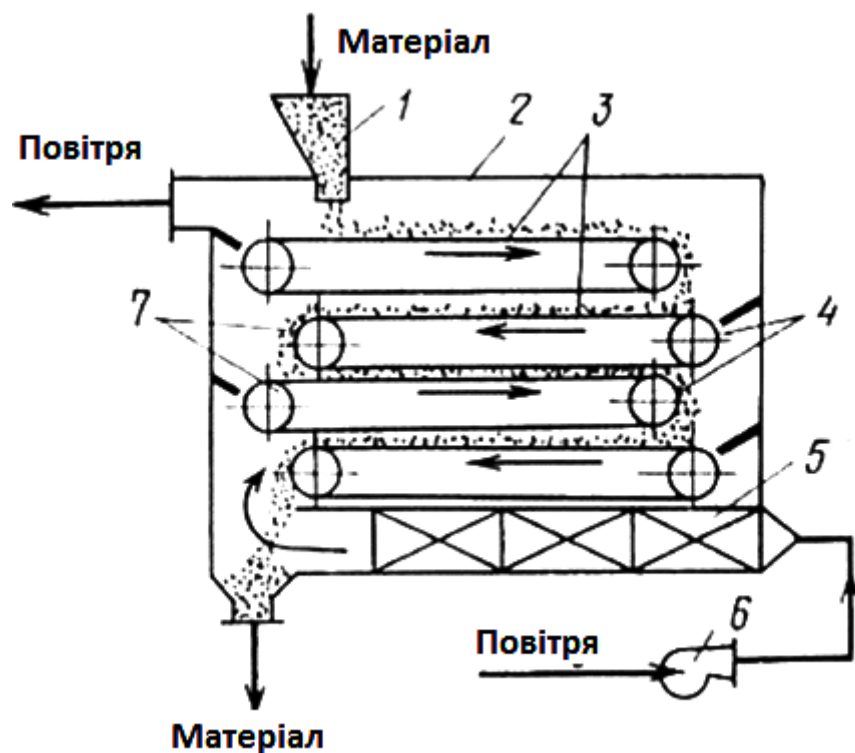


Рис. 2.3. Конвеєрна (багатоярусна стрічкова) сушарка:

1 — живильник; 2 — сушильна камера; 3 — стрічкові транспортери; 4 — ведучі барабани; 5 — калорифер; 6 — вентилятор; 7 — відомі барабани

Петлеві сушарки (рис. 2.4) безупинної дії призначені, наприклад, для сушіння пастообразних матеріалів при атмосферному тиску. У петлевих сушарках сушіння проводиться в прошарку невеличкої товщини (рівною товщині ланок стрічки, що складає 5—20 мм) при двосторонньому омиванні стрічки гарячим повітрям і прогріві

запресованого матеріалу металевим каркасом (сіткою), нагрітими вальцями. Це забезпечує велику швидкість сушіння порівняно з камерними сушарками.

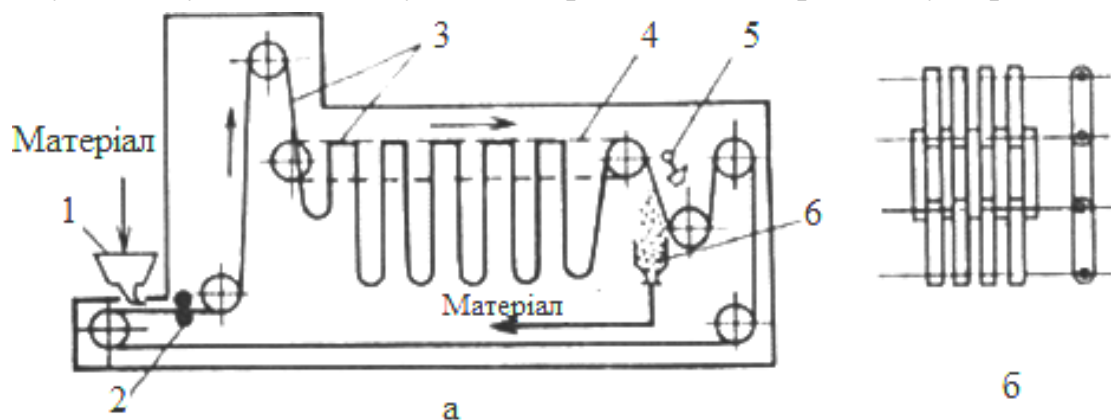


Рис. 2.4. Петлева сушарка (а) і елемент сітчастої стрічки (б):

1 — живильник вологого матеріалу; 2 — валки, що обігріваються, для вдавнення матеріалу в сітку; 3 — нескінченна сітчаста стрічка; 4 — ланцюговий конвеєр для пересування петель сітчастої стрічки; 5 — ударний механізм; 6 — бункер зі шнеком

### 2.3.3. Конвективні сушарки з перемішуванням прошарку матеріалу

**Барабанні сушарки** — це як правило атмосферні сушарки (рис. 2.5), в яких сушильним агентом є повітря або топкові гази у суміші з повітрям. Основний елемент сушарки — барабан, що обертається на підшипникових опорах 5, спираючись на них своїми бандажами.

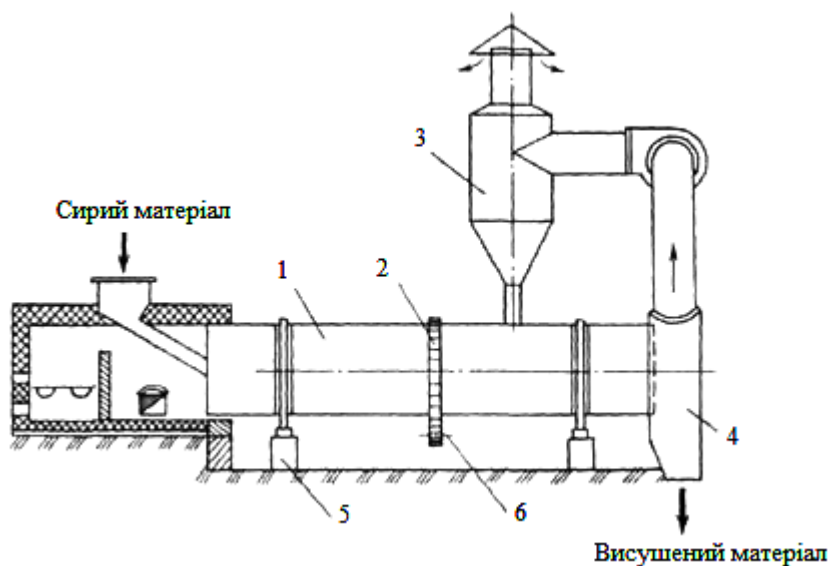


Рис. 2.5. Схема барабанної сушарки

Барабан обертається за допомогою зубчастого вінця 2, що перебуває у зачепленні із зубчастим колесом 6, яке приводиться в дію від електродвигуна через редуктор. Швидкість обертання конвеєра  $1...8 \text{ хв}^{-1}$ . Діаметр конвеєра залежить від продуктивності сушарки і становить 1200...2800 мм. Відношення довжини до діаметра становить від 3,5:1 до 7: 1. Барабан встановлюють горизонтально або похило в бік переміщення матеріалу.

Для кращого контакту матеріалу з сушильним агентом у барабані встановлюють внутрішню насадку. Типи насадок зображено на рис. 2.6. Вологий матеріал подають у барабан живильником, вивантажують висушений матеріал крізь отвір 4 і транспортують далі шнеком.

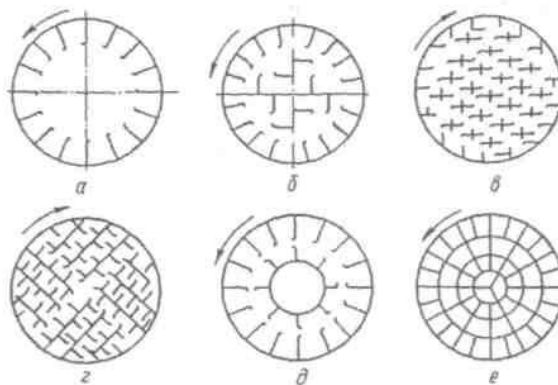
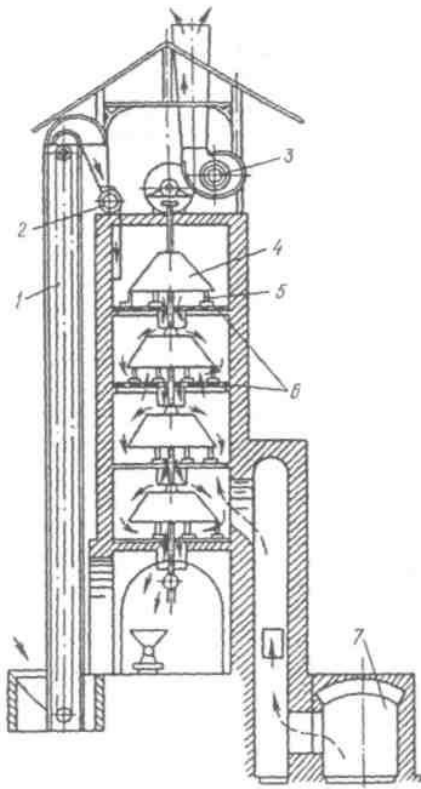


Рис. 2.6. Типи насадок у сушарці:

*a* — радіально-лопатєва; *б* — секторна; *в, з* — розподільні; *д* — комбінована; *е* — перевалювальна із закритими комірками

**Шахтні сушарки** (рис. 2.7) належать до установок безперервної дії і використовуються для сушіння сипких матеріалів, в т.ч. біосировини, попередньо порізаних. Елеватором сировину подають у живильник 2, звідки сирій матеріал надходить у сушарку. В самій сушильній камері є ряд ґратчастих полиць 6 з отворами в центрі. На вертикальному валу встановлено конуси 4 і скребачки 5, якими висушуваний матеріал підгрібається до центрального отвору ґраток. Гарячий сушильний агент надходить у сушильну камеру знизу з газоходу 7 і відсмоктується з верхньої частини вентилятором 3. Сушарки цього типу працюють на топкових газах або на гарячому повітрі.

Рис.2.7. Схема шахтної сушарки



**2.3.4. Сушарки зі зваженим прошарком матеріалу. Сушарки з киплячим шаром.** Фізична суть цього способу сушіння така. Якщо крізь шар матеріалу, що розміщується на сітці, пропускати з певною швидкістю повітря, то шар спочатку розпушується, а потім переходить у стан, що нагадує киплячу рідину, тобто в стан псевдозрідження. У такому стані шар інтенсивно переміщується, завдяки чому всі частинки матеріалу добре омиваються сушильним агентом. Внаслідок інтенсивного перемішування і контакту окремих частинок вирівнюється температура в усьому об'ємі, що особливо

важливо під час висушування сипкої рослинної сировини.

Принцип киплячого шару дає змогу значно спростити та інтенсифікувати процес сушіння при значному зменшенні габаритних розмірів сушильного агрегату порівняно з сушильними установками інших типів. У сушарці цього типу можна суміщати сушіння з транспортуванням матеріалу, а сам процес сушіння повністю автоматизувати.

У сушарках з киплячим шаром сушать зерно, біосировину, рослинні матеріали тощо. На рис. 2.8 наведено схему сушарки з висушуванням у киплячому шарі безперервної дії. Вологий сипкий матеріал з бункера 7 потрапляє в сушильну камеру 5 і розподіляється на сітці 3. Гаряче повітря або гази надходять у сушильну камеру під сітку через підвідну коробку. Сушильна камера має вигляд корита, внаслідок чого швидкість повітря в міру підняття вгору зменшується. Відпрацьоване повітря виходить через відвідний канал 6. Щоб матеріал рівномірно переміщувався вздовж сушильної камери, сітки часто роблять вібруючими у напрямку руху матеріалу. Висушений матеріал потрапляє в бункер 2, а звідти — в тару. Надходження газу регулюється заслінками 4. Газорозподільна сітка трапецієвидної форми з більшою основою біля входу вологого матеріалу і з меншою основою біля виходу висушеного забезпечує однакову швидкість руху повітря в шарі матеріалу у будь-якій точці сітки.

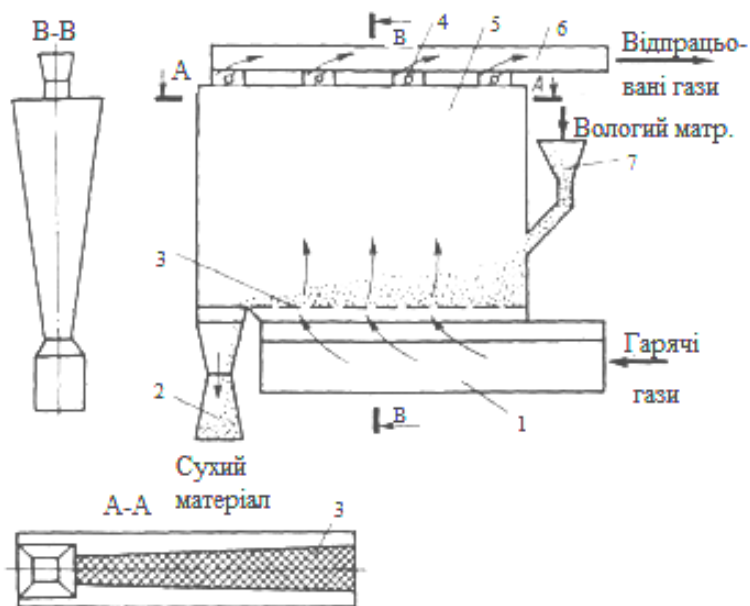


Рис. 2.8. Схема сушарки з висушуванням у «киплячому шарі»

**2.3.3. Контактні сушарки.** При контактному (кондуктивному) сушінні теплота передається матеріалу в основному завдяки безпосередньому контакту з поверхнею нагріву.

Кондуктивні сушарки можуть бути атмосферними і вакуумними.

На рис. 2.9 зображено двовальцюву сушарку, яку використовують для сушіння вологих мас в кормовому та харчовому виробництвах. Сушарка має два порожнисті барабани, що обертаються. Нагрівну пару, гарячу воду або інший теплоносій подають у барабани через порожнисті цапфи. Конденсат пари або відпрацьовану воду відводять за допомогою сифонних трубок. Висушуваний матеріал подають живильником 2 згори між вальцями, під час обертання яких він розтікається по їхній поверхні і в такий спосіб висушується. Висушений матеріал знімається ножами 3 і шнеками 5 відводиться із сушарки. Відпрацьоване повітря через витяжний пристрій 4 викидається в атмосферу.

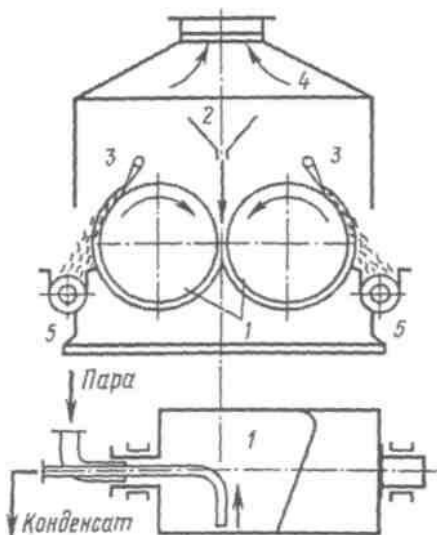


Рис 2.9. Схема кондуктивної сушарки

Перевага сушіння під вакуумом полягає в тому, що підвищується інтенсивність процесу при низьких температурах і немає небажаних наслідків, пов'язаних з нагріванням матеріалу до високих температур.

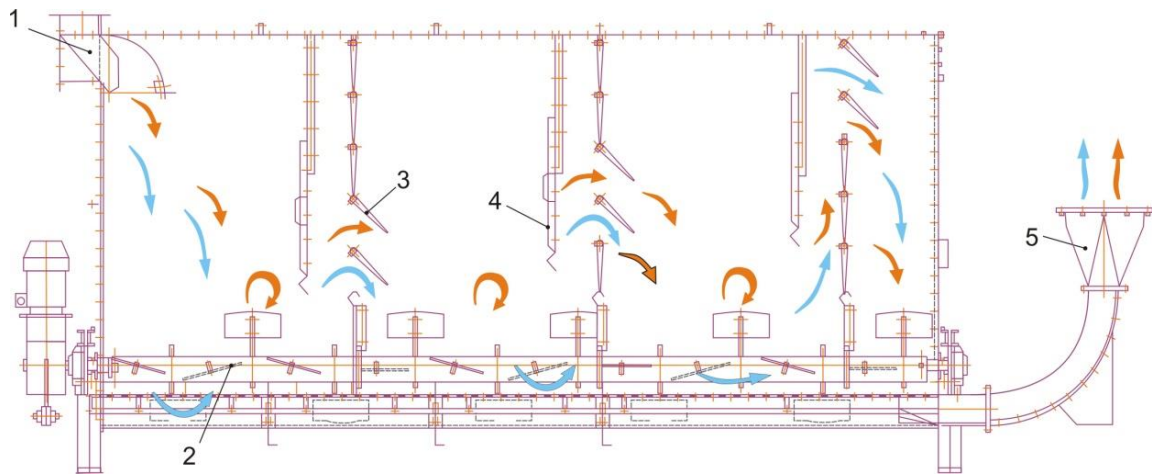


Рис. 2.10. Конструкційно-функціональна схема секційно-камерної сушарки

Перспективу має конвективна сушарка з лопатевими робочими органами, що входить до сушильного комплексу ГТСК інжинірингової компанії ІСК (рис. 2.10).

## Висновки до розділу 2

1. Проведений аналіз свідчить про те, що найбільш ефективною для технологічної лінії підприємства буде конвективна сушарка конвеєрного типу. Попередньо подрібнені матеріали мають характеристики наближені до твердого сипкого матеріалу, тому доцільно застосувати замість барабанної сушарки конвеєрну багатострічкову сушарку, яка повинна мати високі техніко-технологічні показники.

2. Основні переваги конвеєрної сушарки - це простота конструкції, універсальність і надійність в роботі. До недоліків можна віднести невелику інтенсивність перемішування матеріалу, значну масу установки (3-4 т на 1 т випарованої вологи за 1 год.), можливість налипання вологого матеріалу на поверхні сушильного конвеєра, що значно знижує ефективність роботи.

### Розділ 3.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ СИРОВИНИ

### 3.1. Теоретичні аспекти процесу сушіння

Методи сушіння вологих матеріалів розрізняються переважно способом підведення теплоти й зумовлені фізико-хімічними властивостями цих матеріалів, а також формою їх зв'язку з вологою. Найпоширенішим є метод конвективного сушіння, що характеризується безпосереднім контактом матеріалу з потоком нагрітого газу (повітря, димових газів). Волога випаровується за допомогою теплоти нагрітого газу, який одночасно поглинає і виносить із сушарки водяну пару.

Значно рідше, але теж застосовують у переробних виробництвах контактний (кондукційний) метод сушіння, при якому теплота від теплоносія (звичайно водяної пари) до матеріалу передається через металеву стінку, що розділяє їх.

Матеріальний баланс сушарки за вологою складемо, якщо прирівняємо кількість вологи, що вноситься в сушарку з вологим матеріалом і з повітрям, до кількості вологи у висушеному матеріалі й відпрацьованому повітрі:

$$\frac{m_1 \omega}{100} + Lx = \frac{m_2 \omega_2}{100} + Lx_2,$$

звідки 
$$\frac{m_1 \omega_1}{100} - \frac{m_2 \omega_2}{100} = (x_2 - x_1)L,$$

де  $L$  – витрата абсолютно сухого повітря, кг/с.

Ліва частина останнього рівняння – це кількість вологи, що видаляється під час висушування, тобто

$$W = (x_2 - x_1)L,$$

звідки загальна витрата абсолютно сухого повітря на висушування

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1}. \quad (3.1)$$

Питома витрата повітря, тобто витрата його на 1 кг вологи, яку видаляють з матеріалу в сушарці,

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{x_2 - x_1} = \frac{1000}{d_2 - d_1}, \quad (3.2)$$

де  $d_2, d_1$  – вологовмісти повітря після і до сушарки, г/кг.

Оскільки повітря, проходячи через калорифер, не поглинає і не віддає вологи, його вологовміст при нагріванні в калорифері лишається незмінним, отже,  $x_1 = x_0$ , тому

$$l = \frac{1}{x_2 - x_o} = \frac{1000}{d_2 - d_o}. \quad (3.2)$$

Рівняння (3.2) є основним рівнянням для визначення витрати повітря в сушильній установці. Із цього рівняння видно, що витрата повітря збільшується із збільшенням  $x_o$ . Вологовміст зовнішнього повітря в літній час більший порівняно із зимовим, тому вентилятор розраховують для літніх умов роботи сушарки.

### 3.2. Тепловий баланс повітряної сушарки

Для усталеного процесу рівняння теплового балансу виражає однаковість кількості теплоти, що надходить у сушильну установку, і теплоти, що виходить.

Надходження теплоти:

а) із свіжим повітрям у калорифер вноситься теплоти  $LI_o$ , де  $I_o$  – ентальпія повітря при його температурі  $t_o$ ;

б) від джерела теплоти в калорифері  $Q_k$ ;

в) додаткова теплота, що вводиться в сушильну камеру  $Q_d$ ;

г) з вологим матеріалом  $m_1 c_m \theta_1$ , де  $m_1$  – маса матеріалу, що подається на висушування з одиницю часу, кг/с;  $c_m$  – теплоємність матеріалу Дж/(кг · К);  $\theta_1$  – температура матеріалу до висушування, °С.

Оскільки за рівнянням (3.1)  $m_1 = m_2 + W$ , то можна записати:

$$m_1 c_m \theta_1 = m_2 c_m \theta_1 + W c_w \theta_1,$$

де  $c_w$  – теплоємність вод, Дж/(кг · К);

д) з транспортними пристроями  $m_T c_T t_{T.n}$ , де  $m_T$ ,  $c_T$ ,  $t_{T.n}$  – відповідно має теплоємність матеріалу транспортного пристрою та його температура на вході в сушарку.

Вихід теплоти:

а) з повітрям, що виходить,  $LI_2$ , де  $I_2$  – ентальпія повітря при його температурі  $t_2$ ;

б) з висушеним матеріалом  $m_2 c_m \theta_2$ , де  $\theta_2$  – температура матеріалу на виході з сушарки;

в) з транспортними пристроями  $m_T$ ,  $c_T$ ,  $t_{T.k}$  – температура матеріалу транспортного пристрою на виході з сушарки;

г) втрати теплоти в навколишнє середовище  $Q_n$ .

Тепловий баланс сушарки виразиться рівнянням

$$LI_0 + Q_k + Q_d + m_2 c_m \theta_1 + W c_v \theta_1 + m_T c_T t_{T.n} = LI_2 + m_2 c_m \theta_2 + m_T c_T t_{T.k} + Q_H.$$

Загальні витрати теплоти в сушарці складаються з  $Q_k$  і  $Q_d$ , тому останнє рівняння набуває вигляду

$$Q_k + Q_d = L (I_2 - I_0) + m_2 c_m (\theta_2 - \theta_1) + m_T c_T (t_{T.k} - t_{T.n}) + Q_H - W c_v \theta_1. \quad (3.2a)$$

Поділимо кожен складову частину теплового балансу на  $W$  і назвемо вирази питомими витратами теплоти, тобто

$$\frac{Q_k}{W} = q_k; \quad \frac{Q_H}{W} = q_H; \quad \frac{L}{W} = l; \quad \frac{W c_v \theta_1}{W} = c_v \theta_1;$$

$$\frac{m_2 c_m (\theta_2 - \theta_1)}{W} = q_m; \quad \frac{m_T c_T (t_{T.k} - t_{T.n})}{W} = q_T.$$

Позначимо сумарні питомі теплові втрати через  $\sum q_{втр} + q_m + q_T + q_H$ .

Відповідно до цих позначень питомі витрати теплоти на висушування становлять

$$q_k + q_d = l(I_2 - I_0) + \sum q_{втр} - c_v \theta_1. \quad (3.3)$$

Питому витрату теплоти в калорифері при заданому  $q_d$  визначимо з рівняння

$$q_k = l(I_2 - I_0) + \sum q_{втр} - c_v \theta_1 - q_d. \quad (3.4)$$

Питому витрату теплоти в калорифері можна визначити також з рівняння

$$q_k = l(I_1 - I_0). \quad (3.5)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (3.4) і (3.5), дістанемо:

$$l(I_2 - I_1) = (q_d + c_v \theta_1) - \sum q_{втр}. \quad (3.6)$$

Позначимо праву частину цього рівняння через  $\Delta$ :

$$\Delta = (q_d + c_v \theta_1) - \sum q_{втр}. \quad (3.7)$$

Рівняння (3.6) можна записати так:

$$l(I_2 - I_1) = \Delta. \quad (3.8)$$

Для аналізу і розрахунку процесів сушіння доцільно ввести поняття про – теоретичну сушарку, яка працює без додаткового підведення теплоти в сушильній камері ( $q_d = 0$ ), без теплових втрат ( $\sum q_{втр} = 0$ ) і при  $\theta_1 = 0$ . Порівняно з рівнянням (3.4) для такої сушарки  $\Delta = 0$ , тоді з рівняння (3.8)

$$l(I_2 - I_1) = 0, \text{ або } I_2 = I_1 = I = \text{const.}$$

Процес у теоретичній сушарці відбувається при постійній ентальпії. При цьому теплота, що виділяється під час охолодження повітря, лише на випаровування вологи з матеріалу, а тому вона разом з паром знову повертається в повітря.

У реальній сушарці під час висушування матеріалів можуть трапитись такі випадки:

$$\Delta = 0, \text{ тобто } q_d + c_v \theta_1 = \sum q_{\text{втр.}}$$

Підведена теплота в сушарку  $q_d + c_v \theta_1$  покриває втрати на нагрівання матеріалу, транспортних засобів та втрати в навколишнє середовище. У цьому випадку на підставі рівняння (3.8)  $l(I_2 - I_1) = 0$ , що відповідає  $I_2 = I_1 = \text{const}$ . Таку сушарку розраховують аналогічно теоретичній сушарці.

--  $\Delta > 0$ , тобто  $q_d + \theta_1 < \sum q_{\text{втр.}}$ . У цьому випадку підведена теплота з перебиває усі теплові втрати, тобто  $l(I_2 - I_1) > 0$ , отже,  $I_2 > I_1$ .

--  $\Delta < 0$ , тобто  $q_d + \theta_1 < \sum q_{\text{втр.}}$ . У цьому випадку підведеної теплоти не вистачає на покриття теплових втрат, тобто  $l(I_2 - I_1) < 0$ , отже,  $I_2 < I_1$ . сушарки найпоширеніші у практиці.

Виходячи з наведених міркувань, величину  $\Delta$  називають **тепловою характеристикою** сушарки.

### 3.3. Побудова процесу сушіння на I-x-діаграмі

Розраховувати повітряну сушарку – це означає визначити питомі та задані витрати теплоти і повітря на висушування, а також інші параметри, потрібні для розрахунку калорифера, сушильної камери й витяжного пристрою (вентилятора).

Побудова процесу сушіння на I-x-діаграмі дає можливість встановити характер обміну теплотою і вологою, а також визначити проміжні й кінцеві параметри повітря.

*Теоретична сушарка.* Процес, що відбувається в теоретичній сушарці, на діаграмі (рис. 3.1) зображають так. За відомою початковою температурою повітря  $t_0$  і його відносною вологістю  $\phi_0$  знаходять на діаграмі точку А, для якої, у свою чергу, знаходять вологовміст  $x_0$  та ентальпію  $I_0$ . Оскільки повітря в калорифері нагрівають при незмінному вологовмісті, перетин лінії  $x_0 = x_1 = \text{const}$  із заданою ізотермою  $t_1$  дає точку В, що характеризує стан повітря на вході в сушарку. Для цієї точки знаходять ентальпію  $I_1$ .

Ми вже довели, що в теоретичній сушарці теплообмін відбувається при постійній ентальпії повітря. Спускаючись з точки В по лінії постійної ентальпії  $I_1 = I_2$

$= \text{const}$  до перетину із заданою ізотермою  $t_2$  або з лінією  $\varphi_2$ , знаходять т. С кінцевого стану повітря. Для цієї точки на діаграмі знаходять значення вологовмісту  $x_2$ .

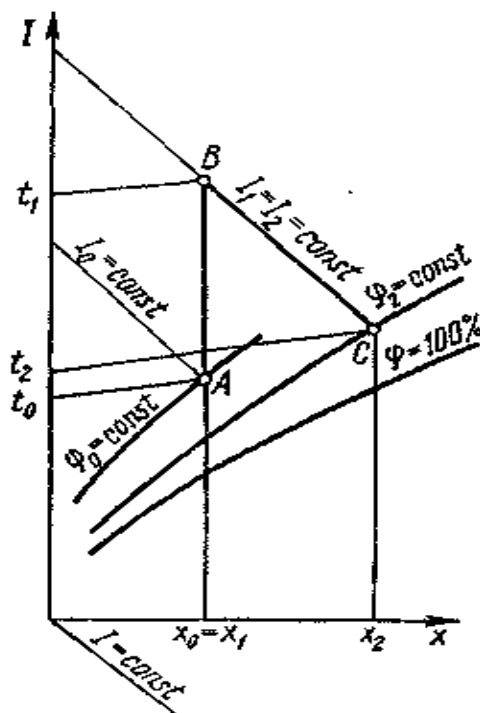


Рис. 3.1. Діаграма процесу сушіння в теоретичній сушарці

Знаючи параметри повітря на вході й виході, легко обчислити:

- питому вагу сухого повітря на випаровування 1 кг вологи – за (3.2);
- питому витрату теплоти в калорифері – за рівнянням (3.5).

Оскільки в теоретичній сушарці процес відбувається при  $I_1 = I_2$ , рівняння (3.5) можна переписати як:

$$q_k = l(I_2 - I_0).$$

Витрата теплоти буде тим меншою, чим нижча температура відпрацьованого повітря  $t_2$  і вища температура свіжого повітря, що надходить у калорифер, а також чим менша питома витрата сухого повітря.

Процес, що відбувається в реальній сушарці у випадку, коли  $\Delta = 0$ , зображається на  $I-x$ -діаграмі аналогічно процесу в теоретичній сушарці.

*Р е а л ь н а с у ш а р к а.* На діаграмі  $I-x$  (рис. 3.2) побудуємо процес теоретичної сушарки з тими самими параметрами стану повітря, що і для реальної. Цей процес зобразиться лінією  $ABC$ , в якій відрізок  $BC$  пройде паралельно осі абсцис по лінії  $I=\text{const}$ .

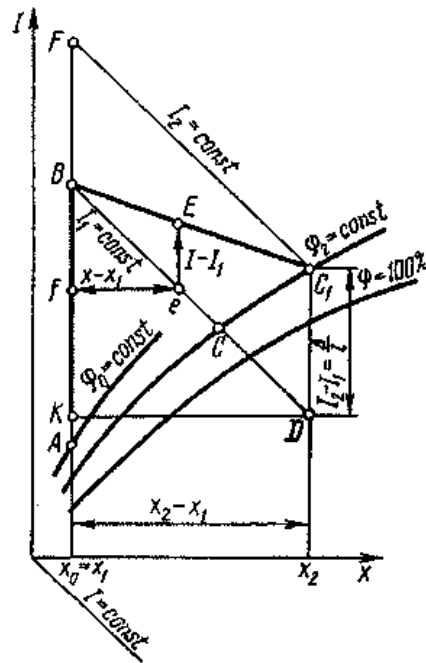


Рис. 3.2. Діаграма процесу сушіння в реальній сушарці

У реальній сушарці при  $\Delta > 0$  стан повітря змінюватиметься не по лінії  $BC$ , а по іншій лінії, що лежить вище, оскільки при цьому ентальпія відпрацьованого повітря більша від ентальпії повітря перед сушаркою ( $I_2 > I_1$ ). Побудова у цьому разі зводиться до встановлення напрямку змінення стану повітря в сушильній камері.

Нехай лінія  $I_2 = \text{const}$  характеризує стан відпрацьованого повітря. Перетин цієї лінії із заданою ізотермою  $t_2$  або з лінією відносної володстуві  $\phi_2$  дасть точку  $C_1$  – кінцевий стан повітря, а продовження цієї лінії вгору до перетину з лінією  $x_0 = x_1$  дасть точку  $F$ . Сполучивши прямою лінією точки  $B$  і  $C_1$ , дістанемо шуканий напрямок змінювання стану повітря в сушарці. Для цього виконаємо таку побудову. З точки  $C_1$  проведемо вниз пряму ( $x_2 = \text{const}$ ) до перетину з лінією  $I_1 = \text{const}$ , внаслідок чого дістанемо точку  $D$ , з якої проведемо горизонтальну лінію до перетину з лінією  $AB$  і знайдемо точку  $K$ .

На лінії теоретичного процесу  $BC$  візьмемо будь-яку точку  $e$ , від неї проведемо горизонтальну і вертикальну лінії до перетину з  $BC_1$  і  $AB$  й дістанемо відповідно точки  $f$  і  $E$ . В результаті побудови дістанемо дві пари подібних трикутників:  $\triangle BC_1D = \triangle DEe$  і  $\triangle BDK = \triangle bef$ .

З подібності трикутників випливає, що

$$\frac{C_1D}{Ee} = \frac{BD}{Be} \quad \text{і} \quad \frac{KD}{ef} = \frac{BD}{Be}, \quad \text{звідки} \quad \frac{C_1D}{Ee} = \frac{KD}{ef}$$

або, замінюючи відрізки їхніми виразами, дістанемо

$$\frac{I_2 - I_1}{I - I_1} = \frac{x_2 - x_1}{x - x_1},$$

де  $I, x$  – поточні координати точки  $E$ .

Цю залежність можна переписати інакше:

$$\frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_1} = \frac{I - I_1}{x - x_1}.$$

На підставі рівняння (3.8)  $\frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_1} = \Delta$ , отже, і праве відношення одержаного рівняння дорівнює  $\Delta$ , тобто

$$\frac{I - I_1}{x - x_1} = \frac{EeM_1}{efM_x} = \frac{Ee}{ef} m$$

і остаточно

$$Ee = ef \frac{\Delta}{m}, \quad (3.9)$$

де  $M_1, M$  – масштаби для  $I$  і  $x$  на діаграмі;  $m$  – відношення цих масштабів.

Користуючись рівнянням (3.9), можна легко встановити напрямок --- процесу сушіння при  $\Delta > 0$ . Для цього від довільно взятої точки на лінії  $BC$ , що зображає теоретичний процес сушіння, вимірюють відстань  $ef$  до лінії  $x_0 = x_1$ . Відклавши на вертикалі, що проходить через точку --- відстань  $eE = ef \Delta/m$ , знаходять точку  $E$ . З точки  $B$  через точку  $E$  проводять пряму до перетину із заданою ізотермою  $t_2$  або з лінією відносної волоДСТУі  $\varphi_2$  і дістають точку  $C_1$ , що характеризує кінцевий стан повітря в сушарці. Провівши з точки  $C_1$  лінії  $I = const$  і  $x = const$ , знаходять значення ентальпії  $I_2$  і вологовмісту  $x_2$  на виході з сушарки.

При  $\Delta < 0$  у реальній сушарці, як зазначалося раніше, теплові втрати перевищують теплоту, що надходить у сушильну камеру. У цьому випадку ентальпія відпрацьованого повітря  $I_2$  буде меншою від ентальпії  $I_1$  повітря, що вводиться в сушарку. Тому напрямок лінії, що характеризує зміну стану повітря в сушильній камері, можна визначити, як і в попередньому випадку з тією лише відмінністю, що відрізок  $Ee$  відкладається не вгору, а вниз.

Для реальної сушарки питомі витрати повітря, кг сух. пов./кг вол. і теплоти, кДж/кг вол., обчислюють за відомими формулами:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_1} = \frac{1000}{d_2 - d_1};$$

$$q_k = l (I_2 - I_0) - \Delta = l (I_1 - I_0).$$

Розраховуючи сушарки з додатковою кількістю теплоти, яка вноситься безпосередньо в сушильну камеру, значення  $q_d$  звичайно вибирають, орієнтуючись на конкретний процес сушіння.

### 3.4. Основні вимоги до сушильної установки

Сушарка біомаси призначена для сушіння малосипучих сільськогосподарських матеріалів. Сушарка забезпечує якість як фуражного, технічного і рослинного матеріалу.

Особливості технологічного процесу сушарки біомаси наступні: ворох біомаси та інші малосипучі матеріали мають високу початкову вологість, тому при транспортуванні він може зменшуватись, ущільнюватись, набирати форму транспортного засобу. Для забезпечення якості виконання технологічного процесу пропонується розроблювана структура сушарки (рис. 3.3). Рівномірність подачі матеріалу забезпечує завантажувальний пристрій який включає транспортери та сепаратор. Сепаратор розділяє матеріал, що подається сушінню, на 2 фракції, які різні за вологістю. Передбачається окреме сушіння кожної фракції – вільного біомаси і . Вивантаження матеріалу – біомаси з сушильної камери здійснюється за допомогою вивантажувального пристрою.

Сушарка біомаси призначена для використання її у всіх природньо-кліматичних зонах України взамін сушарок спеціального призначення. Машина даного типу стаціонарні, тому додатково для сушарки ворох біомаси , що пропонується, необхідне приміщення з освітленням для багатозмінної роботи. При необхідності сушарку можна використовувати цілий рік, так як умови на роботу машини не впливають.

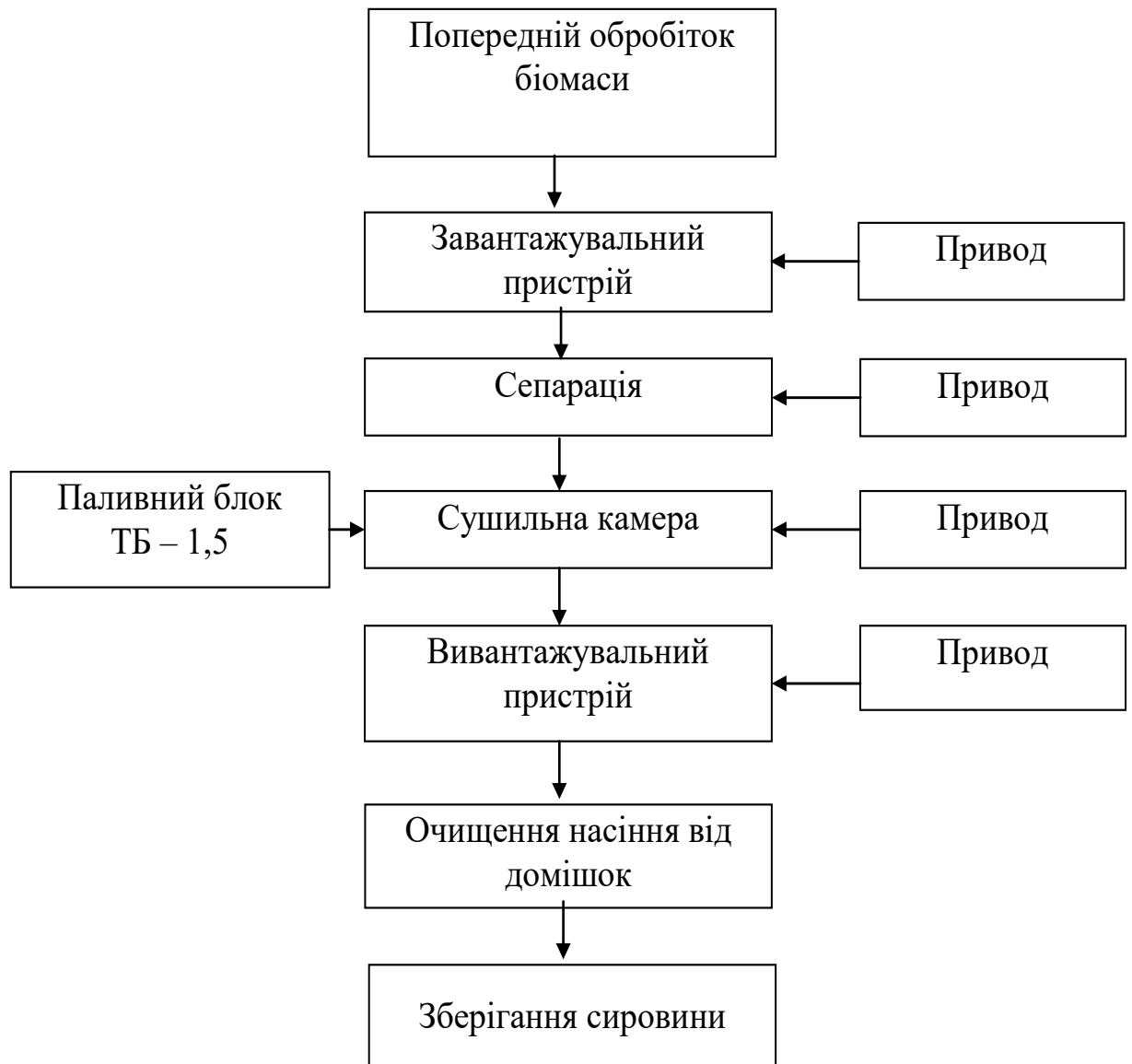


Рис. 3.3. Структурна схема сушарки біомаси

До показників технологічного процесу слід віднести:

- а) сушарка біомаси повинна бути стаціонарна з можливістю проводити як безперервні, так і циклічні процеси;
- б) сушарка повинна бути пристосованою для агрегування з теплогенератором, що випускається серійно;
- в) механізовані засоби завантаження матеріалу повинні забезпечити його рівномірне розподілення по площі і висоті сушильної камери відхилення по товщині матеріалу не повинно перевищувати - 10 % ;
- г) нерівномірність сушіння по окремих пробах повинна бути не більше + 2% при нерівномірності по волоДСТУі вихідного матеріалу -5%;
- д) подрібнення націнного матеріалу не повинно перевищувати -1 %;

е) сушарка ворох біомаси повинна мати дистанційні термометри для контролю за температурного сушильного агента.

До основних техніко-експлуатаційних показників та показників, що регламентують надійність слід віднести:

а) продуктивність, при його кінцевій волоДСТУі біомаси 14,5 %, - 0,5 т/год (початкова вологість ворох біомаси до 35 %);

б) встановлена потужність – 93,5 кВт;

в) вид палива – рідке (пічне паливо);

г) витрата тепла, яке поступає в сушильну камеру на 1 кг вологи, що випаровуються не більше 1500 ккал;

д) витрата теплоносія – 2000 м<sup>3</sup> /год;

е) товщина шару матеріалу в камері сушіння сипких матеріалів до 40 см, малосипучих матеріалів до 1 м;

є) коефіцієнт корисної дії теплогенератора – 75 %;

ж) маса сушарки без паливного блока – 8500 кг;

з) габаритні розміри сушарки біомаси , мм:

довжина – 11225

ширина – 12 395

висота – 6 375

Конструкція сушарки біомаси повинна забезпечити наступні експлуатаційні показники:

а) коефіцієнт готовності не менше 0,97;

б) коефіцієнт надійності виконання технологічного процесу не менше 0,96;

в) коефіцієнт використання робочого часу зміни – 0,85;

г) строк служби сушарки – 8 років;

д) трудомісткість виготовлення сушарки льоно повинна складати не більше 250 люд \*год.

е) конструкція сушарки біомаси повинна забезпечити потому матеріалоємність не більше 10 2000 кг/ т/год;

є) конструкція сушарки біомаси повинна забезпечити можливість швидкого очищення її від матеріалу при переході від однієї культури до іншої або від одного сорту до іншого. Затрати праці на одну очистку повинні бути не більше 2 люд./год.

Використання сушарки біомаси в порівнянні з іншими сушарками повинно забезпечити:

- а) збільшення продуктивності праці в 1,2 рази;
- б) зниження затрат праці на одну тону на 15%;

Річний економічний ефект, який отримаємо від впровадження в народне господарство сушарки складе 8400 гривень.

### **3.5. Формування вимог технічного завдання на проектування машини**

Сушарка біомаси призначена для сушіння біомаси та іншої малосипучої сільськогосподарської продукції. Сушарка біомаси може бути використана в комплексі обладнання сушильно-очисних комплексів та пунктів.

Сушарка біомаси розробляється з метою підвищення продуктивності праці, зниження трудозатрат, покращення умов праці і збереження якості матеріалу при його сушінні.

Сушарка біомаси повинна складатись із наступних основних частин:

- а) завантажувального пристрою;
- б) сушильної камери для сушіння матеріалу
- в) пристрій для вивантаження матеріалу;
- г) серійного теплогенератора;
- д) сонячного колектора (у випадку використання альтернативних джерел енергії);
- е) вентиляторів і дифузорів, призначених для підвищення підігрітого повітря до сушильної камери;
- є) станції керування сушаркою;
- з) допоміжних засобів (бункерів, заслінок, електрообладнання та ін.).

Сушарка біомаси (без теплогенератора) повинна встановлюватись в приміщенні легкого типу або під накриттям, площа якого не більше 120 м<sup>2</sup> на попередньо підготовлений фундамент.

У випадку встановлення сонячного колектора, він повинен встановлюватись на даху приміщення або накриття з південної сторони під кутом 30...50° до горизонту в залежності від пори року.

Сушарка біомаси повинна мати дистанційні термометри для контролю температури теплоносія в камері сушіння. Привід електричний. Керування сушаркою біомаси повинно здійснюватися у станції управління сушаркою.

Контроль за роботою електродвигунів повинен вестись при допомозі сигналізації. Повинна бути передбачена звукова і світлова сигналізація аварійних

режимів роботи електродвигунів з відповідною системою блокування, яка попереджує порушення технологічного процесу.

Електричні схеми керування електродвигунами сушарки біомаси повинні мати захист від перевантаження і струмів замикання.

Сушарка біомаси повинна обслуговуватись однією людиною – сушильним майстром, який повинен спеціально бути навчений будові і правилам експлуатації сушарки і мати відповідне посвідчення.

Конструкція сушарки біомаси повинна забезпечувати наступні експлуатаційні показники:

- а) коефіцієнт готовності не менше 0,97;
- б) коефіцієнт надійності виконання технологічного процесу не менше 0,96;
- в) коефіцієнт використання робочого часу зміни не менше 0,85;
- г) строк служби сушарки біомаси менше 8 років.

Трудомісткість виготовлення сушарки повинна складати не більше 125люд/год.

Конструкція сушарки біомаси повинна забезпечити питому матеріалоемність не більше 10200 кг/т/год. Вузли і деталі сушарки біомаси повинні бути технологічними у виготовленні і складанні, а також при технічному обслуговуванні, ремонті і діагностиці.

З метою забезпечення найменшої трудомісткості виготовлення конструкції сушарки біомаси повинно бути передбачено широке використання гнутих профілів, прокату і штампованих деталей. В той же час асортимент деталей індивідуального виготовлення, що використовуватиметься, повинен бути мінімальним.

Аналогом розробки документації є карусельна сушарка СКМ-1. Коефіцієнт уніфікації з даною маркою відносно куплених деталей і виробів загальномашинобудівного призначення не менше 15 %.

Сушарка біомаси повинна повністю відповідати “Вимогам до конструкції тракторів і сільськогосподарських машин по безпеці і гігієні праці”, правилами пожежної безпеки.

Розміщення і конструкція вузлів і механізмів повинні забезпечити доступ до них, безпечним при ремонті, монтажі і експлуатації.

Рухомі деталі машини, що обертаються повинні бути вмонтовані в конструкцію, або закриті кожухами та огорожені, і не повинні створювати небезпеку для обслуговуючого персоналу. Огородження небезпечних зон, які підлягають на протязі зміни огляду, повинні легко змінюватись або відкриватись.

Важкі вузли і деталі масою більше 20 кг повинні мати пристрої для зачалування при підніманні. Місця зачеплення повинні позначатись стійкою фарбою, яка відрізняється від загального кольору згідно ДСТУ.

Всі металеві неструмопровідні частини сушарки, які можуть попасти під напругу, повинні мати надійний металевий зв'язок з нульовим проводом джерела живлення і контуром заземлення через заземлені провідники.

На видних місцях сушарки біомаси повинні бути таблички з підписами, які відображають вказівки по положенню важелів, рукояток, кнопки, а також по техніці безпеки.

Конструкція сушарки біомаси повинна забезпечити швидкий і безпечний доступ обслуговуючого персоналу до пожежонебезпечних частин сушарки.

В ергономічному відношенні сушарка повинна відповідати діючим “Єдиним вимогам до конструкції тракторів і сільськогосподарських машин по безпеці і гігієні праці”, а також “Рекомендаціям по забезпеченню ремонтпридатності елементів конструкцій сільськогосподарських машин” з врахуванням ергономічних вимог механізаторів (РТМ 23.2.13. - 70).

Рівень шуму і вібрації в зоні постійного знаходження обслуговуючого персоналу не повинен перевищувати допустимих значень згідно ДСТУ 12.1.003-83.

З метою покращення умов праці обслуговуючого персоналу, управління електроприводом сушарки біомаси повинна відбуватись дистанційно.

За своїми естетичними показниками (інформативність форми, композиційне вдосконалення, гармонічність форми) конструктивно-компоновочна схема сушарки біомаси повинна відповідати існуючим тенденціям в формотворенні машин схожого типу.

Всі матеріали і комплектуючі вироби по найменуваннях і марках повинні відповідати закладеними в технічну документацію на сушарку вимогам і відповідати ДСТУ, та іншим нормативним документам на них.

Вибір матеріалів і комплектуючих виробів повинен забезпечити виконання показників призначення, експлуатаційних і інших вимог.

Матеріали, що використовуються для виготовлення сушарки біомаси, повинні відповідати діючим стандартам Міністерства тракторного і сільськогосподарського машинобудування.

Для мащення підшипників і поверхонь тертя повинно використовуватись мастило ЧС-2 ДСТУ 1033-73 попутні вироби і матеріали повинні відповідати вимогам не нижче I-ї категорії якості.

Конструкція сушарки біомаси повинна забезпечити виконання пунктів складеного технічного завдання у відповідності з експлуатаційною документацією.

Для сушарки біомаси повинно бути виготовлено не більше двох видів технічного обслуговування: щозмінне і післясезонне.

Трудомісткість щозмінного технічного обслуговування не повинна перевищувати 0,25 люд.\*год.

Трудомісткість післясезонного технічного обслуговування не повинна перевищувати 24 люд.\*год.

Час готовності сушарки біомаси для використання після транспортування і зберігання визначається часом, необхідним для приведення монтажу, налагодження і випробування на холостому ході та під навантаженням, і повинен складати не більше 120 люд.\*год.

На сушарці біомаси повинно бути нанесено: товарний знак підприємства – виробника або його назва, марка, порядковий номер сушарки біомаси, по системі нумерації підприємства- виробника; рік і місяць виготовлення.

Перед установкою всі оброблені і непофарбовані поверхні збірних одиниць і складових частин повинні покриватись консервуючим мастилом згідно стандарту.

Складальні одиниці сушарки біомаси повинні бути розміщені так, щоб вони не були пошкоджені при транспортуванні.

Зберігання сушарки біомаси у споживачів згідно стандарту і правил, вказаних в технічному описі і інструкції по експлуатації.

Консервація сушарки біомаси повинна забезпечити її зберігання при умовах зберігання “Ж” згідно стандарту.

Застосування сушарки біомаси для сушіння сільськогосподарських культур в порівнянні з іншими сушарками повинно забезпечити:

- а) підвищення продуктивності праці в 1,5 рази;
- б) зниження затрат праці на одну тону на 85 %;

**3.5.1. Властивості матеріалів, що обробляються.** Ці властивості є вихідними даними для вирішення задач по режимах роботи сушарки і для визначення параметрів її робочих органів.

Основними показниками фізико-механічних властивостей, які впливають на роботу сушарки біомаси є початкова і кінцева вологість матеріалу. Згідно державних вимог і природних властивостей кінцева вологість сільськогосподарських матеріалів повинна бути в межах 14,5 % для рослинного матеріалу, що дозволяє зберігати матеріали без втрат певний період часу.

Вологість біомаси коливається у досить широких межах: початкова вологість складає 35 %, а кінцева – 13...16 %. Відповідно сушарка повинна забезпечити такі температурні режими: нагрів рослинного матеріалу не більше 45°C.

Інші фізико-механічні властивості біомаси, які впливають на конструктивні особливості будови сушарки та її робочих органів зведені в табл. 3.1. Слід відмітити, що при проектуванні робочих органів сушарки треба брати до уваги фізико-механічні властивості як плутанини так і біомаси.

Таблиця 3.1. Фізико-механічні властивості біомаси

| Показники   | Значення показників |
|---|---------------------|
| Щільність біомаси, г/см <sup>3</sup>                      | 0,62-1,06           |
| Швидкість витання, м/с                                    | 0,8-6,0             |
| Кут тертя біомаси, $\alpha^\circ$ :                       |                     |
| - по металу   | 13-32               |
| - по дереву   | 6-29                |
| - по транспортерній стрічці                               | 21-60               |
| Кут природного скосу біомаси (сухого), $\alpha^\circ$ :   |                     |
| Кут природного скосу біомаси (вологого), $\alpha^\circ$ : | 33                  |
| Еквівалентний діаметр насінини, мм                        | 45                  |
|   | 0,78 – 4,40         |

**3.5.2. Аналіз конструкцій машин-аналогів і машин, які взаємодіють з сушаркою.** Ефективна робота сушарки залежить від ряду факторів серед, яких велике значення має організація роботи. Тобто весь технологічний процес збирання біомаси залежить від взаємодії машин, які працюють в полі і машин, що здійснюють переробку і біомаси.

Таблиця 3.2. Технічна характеристика паливного агрегату ТБ – 1,5

| Показники  | Значення показника |
|--|--------------------|
| Годинна витрата палива, кг/год                                   | 66,0 – 68,3        |
| Питома витрата палива в розрахунку на 1 т вологого матеріалу, кг | 74,9               |
| Потужність, що споживається, кВт                                 | до 2,4             |
| Теплопродуктивність, МДж/год.                                    | 6285               |
| Коефіцієнт корисної дії, %                                       | 87                 |
| Межі регулювання температури, °С                                 | 20-100             |
| Маса, кг   | 2390               |

За машину – аналог беремо стаціонарну універсальну транспортерну сушарку ГТС-0,6, яка призначена для використання в комплекті обладнання сушильно-очисного комплексу КСПЛ-0,9 первинної переробки малосипучої сільськогосподарської продукції. В склад сушарки входить завантажувальний пристрій, сушильна камера, дифузор, тепловентиляційний блок ТБ-1,5 з вентилятором ЦВ-12, розвантажувальний пристрій, кабіна керування і площадка приводів робочих органів сушарки від мережі трифазного струму.

Продуктивність сушарки при зниженні володСТУі біомаси до 14,5 % становить 0,9 т/год. Зведена потужність електродвигунів – 105 кВт. Паливний агрегат ТБ – 1.5, технічна характеристика якого подана в табл. 3.2, обладнаний відцентровим вентилятором ВЦ-12 має продуктивність до 110 тис.м<sup>3</sup>/год.

## Розділ 4.

# ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

### 4.1. Розрахунок геометричних параметрів сепаруючого механізму

Одним із напрямків зниження затрат на отримання біомаси в процесі його вирощування є зменшення витрат на післязбиральний обробіток. Головними операціями в післязбиральному обробітку являються сушіння біомаси і його збереження. Крім цього, ситуація погіршилась внаслідок зношення машин для виробництва, що привело до збільшення плутанини у воросі, підвищенням цін на паливно-мастильні матеріали. Ці і інші причини призводять до затягування строків збирання і втрат повноцінного біомаси в результаті осипання його у полі.

Зниження енергозатрат на післязбиральний обробіток можна досягти шляхом виділення вільного біомаси, вологість яких наближається до кондиційної, від загальної маси з подальшим сушінням окремо біомаси та окремо плутанини із залишками невиділеного біомаси.

Для реалізації процесу розділення на дві фракції: насіння і плутанини із залишками насінневих коробочок, пропонується барабанний сепаратор.

Барабанні сепаруючі робочі органи розтягують ворох, зменшують щільність соломистої просторової решітки, що дозволяє просипатись вниз вільним частинкам і по скатній поверхні подається на сушку. Однак для виділення біомаси, що знаходиться у коробочках прикріплених до стебел, недостатнім є дія лише сепаратора. Для його виділення необхідно здійснити руйнування коробочок шляхом їх плющення.

Основними параметрами, які суттєво впливатимуть на якість роботи сепаруючого механізму будуть геометричні розміри барабанів та зубів і кінематичні параметри механізму.

Найбільш ефективним процес сепарації буде при максимальному розтягуванні шару насіння без його розриву на величину  $\ell_p$ . Де  $\ell_p$  - сумарна можлива величина розтягу шару в процесі роботи сепаратора, яка обмежена довжиною стебла рослини  $\ell_c$ .

До параметрів трьохбарабанного сепаратора відносяться:  $d_1, d_2, d_3$  - діаметри барабанів,  $h_1, h_2, h_3$  - висоти зубів барабанів,  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  - кутові швидкості барабанів.

Величину розтягу шару біомаси можна представити як різницю шляхів руху вершин зубів сусідніх барабанів у відповідних зонах розтягу (рис. 4.1):

$$\ell_p = \ell_A + \ell_B + \ell_B, \quad (4.1)$$

де  $\ell_A, \ell_B, \ell_B$  - величина розтягу шару насіння в зонах А,Б,В відповідно.

Так як в процесі роботи сепаратора необхідно досягти максимального розтягу матеріалу, то осі обертання барабанів слід розміщати на одній лінії. У протилежному випадку спостерігатиметься зменшення довжини шляху руху шару матеріалу. З цих міркувань та за умови зняття шару із зуба зубом наступного барабана приймаємо:

$$\begin{cases} d_1 \leq d_2 \leq d_3; \\ h_1 \leq h_2 \leq h_3. \end{cases}$$

Враховуючи показники технологічності виготовлення машини остаточно приймаємо:

$$\begin{cases} d_1 = d_2 = d_3; \\ h_1 = h_2 = h_3. \end{cases} \quad (4.2)$$

Основним недоліком барабанних робочих органів є можливість намонок на циліндричні поверхні. Тому довжина поверхні барабана, що контактує із матеріалом до зняття наступним робочим органом, не повинна перевищувати довжину стебла рослини  $\ell_c$ , що є основним соломистим компонентом біомаси .

$$\ell_c \leq \frac{d_1}{2} \varphi_1 = r_1 \cdot \varphi_1.$$

Тому:

$$d_1 \geq 2 \frac{\ell_c}{\varphi_1} \quad (4.3)$$

Так як  $\ell_c = 0,6 \dots 1,2$  то підставивши в (4.3) матимемо:

$$d_1 = 0,38 \dots 0,76 \text{ м.}$$

Приймаємо:  $d_1 = d_2 = d_3 = 0,50$  м.

При  $\ell_p \leq \ell_c$  розриву шару не відбуватиметься. Тому у випадку трьохбарабанного сепаратора:

$$\ell_p = \ell_A = \ell_B = \ell_B = \frac{1}{n_A} \ell_c + \frac{1}{n_B} \ell_c + \frac{1}{n_B} \ell_c, \quad (4.4)$$

де  $n_A, n_B, n_B$  - коефіцієнти пропорційності розтягу в зонах А,Б,В, причому  $\sum n_i = 1$

$$\text{Приймаємо } n_A = n_B = n_B = \frac{1}{3}.$$

Встановлено [20], що при збільшенні висоти зуба більше 110 мм зростає можливість не зняття зубом наступного барабана біля основи попереднього зуба. Тому приймаємо:  $h_1 = h_2 = h_3 = 0,10$  м.

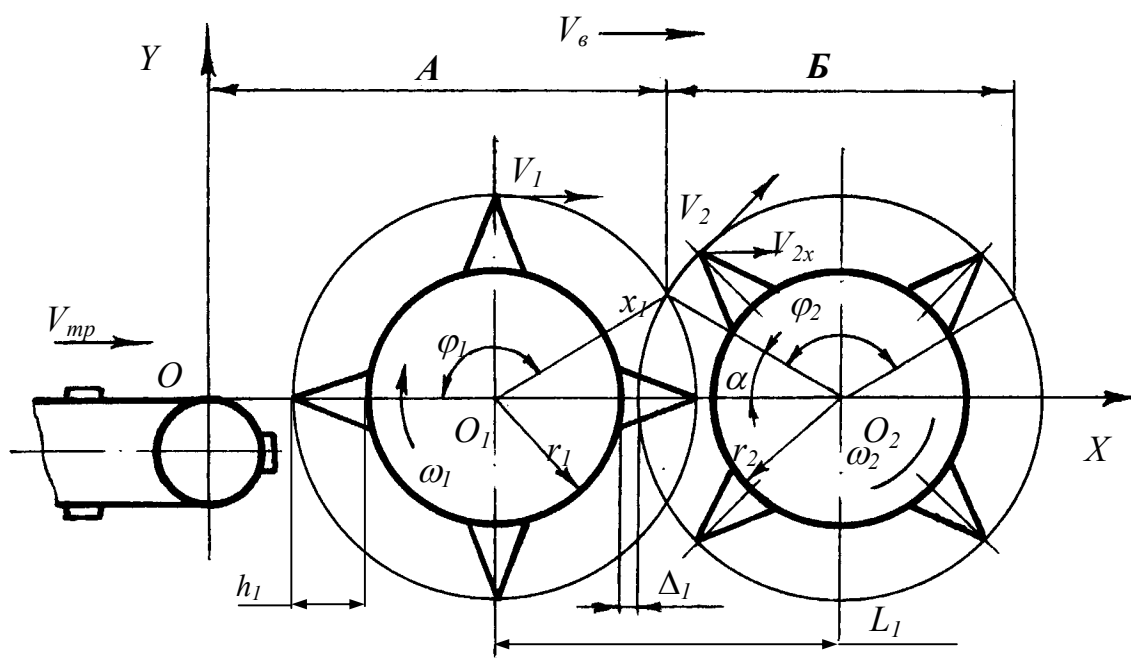


Рис. 4.1. Розрахункова схема сепаруючого механізму

#### 4.2. Розрахунок кінематичних параметрів сепаратора

На основі залежності (4.4) розтяг в зоні А можна виразити як:

$$\frac{1}{n} \ell_c = \varphi_1 \left( R_1 - \frac{V_{mp}}{\omega_1} \right),$$

де  $R_1 = r_1 + h_1$ .

Відповідно у зоні Б та В:

$$\frac{1}{n} \ell_c = \varphi_2 \left( R_2 - \frac{R_1 \omega_1}{\omega_2} \right), \quad \frac{1}{n} \ell_c = \varphi_3 \left( R_3 - \frac{R_2 \omega_2}{\omega_3} \right). \quad (4.5)$$

Виразивши значення кутів  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  через розміри барабанів можна встановити вирази для кутових швидкостей обертання. На основі [20] матимемо:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \pi - \arccos \left( \frac{R_1^2 + L_1^2 - R_2^2}{2R_1L_1} \right), \\ \varphi_2 &= \pi - \left[ \arccos \left( \frac{R_2^2 + L_1^2 - R_1^2}{2R_2L_1} \right) - \arccos \left( \frac{R_2^2 + L_2^2 - R_3^2}{2R_2L_2} \right) \right], \end{aligned} \quad (4.6)$$

де  $L_1 = r_1 + r_2 + h_2 + \Delta_1$ ,  $L_2 = r_2 + r_3 + h_3 + \Delta_2$ ,  $R_3 = r_3 + h_3$ .

На основі запропонованих залежностей та у випадку розтягу матеріалу на величину  $\ell_c$  при відомій швидкості подаючого транспортеру  $V_{mp} = 2M/c$  можна отримати умови для встановлення кутових швидкостей барабанів.

$$\omega_1 = \frac{V_{mp} \left[ \pi - \arccos \left( \frac{R_1^2 + L_1^2 - R_2^2}{2R_1L_1} \right) \right]}{R_1 \left[ \pi - \arccos \left( \frac{R_1^2 + L_1^2 - R_2^2}{2R_1L_1} \right) \right] - \frac{1}{n} \ell_c}, \quad (4.7)$$

$$\omega_2 = \frac{R_1 \omega_1}{R_2 - \frac{\ell_c}{n \left[ \pi - \left( \arccos \left( \frac{R_2^2 + L_1^2 - R_1^2}{2R_2L_1} \right) + \arccos \left( \frac{R_2^2 + L_2^2 - R_3^2}{2R_2L_2} \right) \right) \right]}}, \quad (4.8)$$

$$\omega_3 = \frac{R_2 \omega_2}{R_3 - \frac{\ell_c}{n \left[ \pi - \left( \arccos \left( \frac{R_3^2 + L_2^2 - R_2^2}{2R_3L_2} \right) + \arccos \left( \frac{R_3^2 + L_3^2 - R_4^2}{2R_3L_3} \right) \right) \right]}}. \quad (4.9)$$

Так як  $R_1 = R_2 = R_3 = R$ , та  $L_1 = L_2 = L_3 = L$  то вирази (4.6), (4.7), (4.8) переписуться так:

$$\omega_1 = \frac{V_{mp} \left[ \pi - \arccos\left(\frac{L}{2R}\right) \right]}{R \left[ \pi - \arccos\left(\frac{L}{2R}\right) \right] - \frac{1}{n} \ell_c}, \quad (4.10)$$

$$\omega_2 = \frac{R\omega_1}{R - \frac{\ell_c}{n \left[ \pi - 2 \cdot \arccos\left(\frac{L}{2R}\right) \right]}}, \quad (4.11)$$

$$\omega_3 = \frac{R\omega_2}{R - \frac{\ell_c}{n \left[ \pi - 2 \cdot \arccos\left(\frac{L}{2R}\right) \right]}}. \quad (4.12)$$

Приймаючи, що зазор  $\Delta = 3 \dots 5$  см матимемо:

$$L = 0,25 + 0,25 + 0,10 + 0,05 = 0,65 \text{ м,}$$

$$R = 0,25 + 0,10 = 0,35 \text{ м.}$$

Тоді:

$$\omega_1 = \frac{0,20 \left[ 3,14 - \arccos\left(\frac{0,65}{2 \cdot 0,35}\right) \right]}{0,35 \left[ 3,14 - \arccos\left(\frac{0,65}{2 \cdot 0,35}\right) \right] - \frac{1}{3} \cdot 1,2} = 0,96 \text{ рад/с.}$$

$$\omega_2 = \frac{0,35 \cdot 0,96}{0,35 - \frac{1,2}{3 \left[ \pi - 2 \cdot \arccos\left(\frac{0,65}{2 \cdot 0,35}\right) \right]}} = 1,86 \text{ рад/с.}$$

$$\omega_3 = \frac{0,35 \cdot 1,86}{0,35 - \frac{1,2}{3 \left[ 3,14 - 2 \cdot \arccos\left(\frac{0,65}{2 \cdot 0,35}\right) \right]}} = 3,61 \text{ рад/с.}$$

Отримані кінематичні та геометричні параметри сепаратора зведені в табл.4.1

Таблиця 4.1. Кінематичні та геометричні параметри механізму

|                                   | Сепар. барабан №1 | Сепар. барабан №2 | Сепар. барабан №3 |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Діаметр, м                        | 0,50              | 0,50              | 0,50              |
| Висота зуба, м                    | 0,10              | 0,10              | 0,10              |
| Кутова швидкість обертання, рад/с | 0,96              | 1,86              | 3,61              |

### 4.3. Розрахунок потужності сепаратора

Так як швидкості обертання робочих органів є невеликими, а зусилля, що передається, - значне, то в якості механізмів передачі руху приймаються ланцюгові передачі.

Згідно досліджень, зусилля розриву шару становить  $[F] = 1,7 \text{ кН} / \text{м}^2$ . Так як ширина сепаруючого пристрою рівна  $B = 1200 \text{ мм}$ , а максимальна висота шару біомаси, що подається на обробіток не перевищує  $H_{\text{max}} = 0,5 \text{ м}$ , то розрахункове зусилля розтягу шару матеріалу складе:

$$F = [F] \cdot B \cdot H_{\text{max}}. \quad (4.13)$$

$$F = 1,7 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 1,0 \text{ кН}.$$

Для визначення потужності привода сепаруюче-плющильного механізму встановимо потужності, що витрачаються на кожен барабан окремо. Тобто

$$P = \frac{T \cdot \omega}{\eta} = \frac{F \cdot R \cdot \omega}{\eta},$$

де  $T$  - крутний момент на валу Нм;  
 $\omega$  - частота обертання барабана,  $\text{с}^{-1}$ ;  
 $\eta$  - ККД передачі.

Матимемо відповідно:

$$P_1 = \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot 0,96}{0,94} = 357,44 \text{ Вт},$$

$$P_2 = \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot 1,86}{0,94} = 692,55 \text{ Вт},$$

$$P_3 = \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot 3,61}{0,94} = 1344,14 \text{ Вт},$$

Сумарна потужність складе:

$$P = \sum_{i=1}^5 P_i = 357,44 + 692,55 + 1344,14 = 2394,13 \text{ Вт}. \quad \text{Або ж } P = 2,5 \text{ кВт}.$$

Приймаємо в якості електричного двигуна мотор-редуктор МПз2-50-56 за ДСТУ 21.356-95 потужністю 3 кВт.

#### 4.4. Автоматизований розрахунок ланцюгових передач

У магістерській роботі передбачена розробка конструкції сепаратора біомаси. Це є складна конструкція, що кріпиться в підшипникових опорах. Обертовий момент на вал із привідною зірочкою, для руху транспортера передається з редукторів. Число зубів зірочки рівне 38.

Кріплення валів та зірочок здійснюється за допомогою шпонкового з'єднання.

Виходячи із проведених раніше кінематичних та силових розрахунків обертовий моменти на валу привідної зірочки складе:

$$T = \frac{N}{\omega} \text{ Нм}, \quad (4.14)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість обертання вала із зірочкою,  $\text{с}^{-1}$ .

Отже:

$$T_1 = \frac{357}{0,96} = 372 \text{ Нм}. \quad T_2 = \frac{692}{1,86} = 372 \text{ Нм}. \quad T_3 = \frac{1344}{3,61} = 372 \text{ Нм}.$$

Тому на основі проектного розрахунку визначається діаметри валів під підшипникові опори.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi[\tau]}}, \quad (4.15)$$

де  $[\tau]$  - допустима напруга, МПа. Для валів з конструкційних вуглецевих сталей  $[\tau] \leq 15 \div 20$  МПа;

$T$  - обертовий момент, Нм.

Тоді:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 372}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,045 \text{ м} = 45 \text{ мм},$$

Згідно ДСТУ 66.36-69 вибираємо зі стандартного ряду значення для валу  $d = 45$  мм.

Для розрахунку ланцюгових передач використовується типова методика, що реалізована у системі MathCad. Розміщення ланцюгів горизонтальне, або ж вертикальне. Змащення та регулювання періодичне. Результати розрахунку наведені нижче.

## 4.5. Побудова схеми сушильної установки у графічному редакторі

**4.5.1. Побудова деталі Вісь.** 1. Створюємо новий файл - деталь. Вказуємо потрібну площину і переходимо в режим редагування ескізу.

2. Рисуємо контур деталі за заданими розмірами.

3. За допомогою формоутворюючого елемента – операція обертання- створюємо тіло моделі вісі (рис. 4.2).

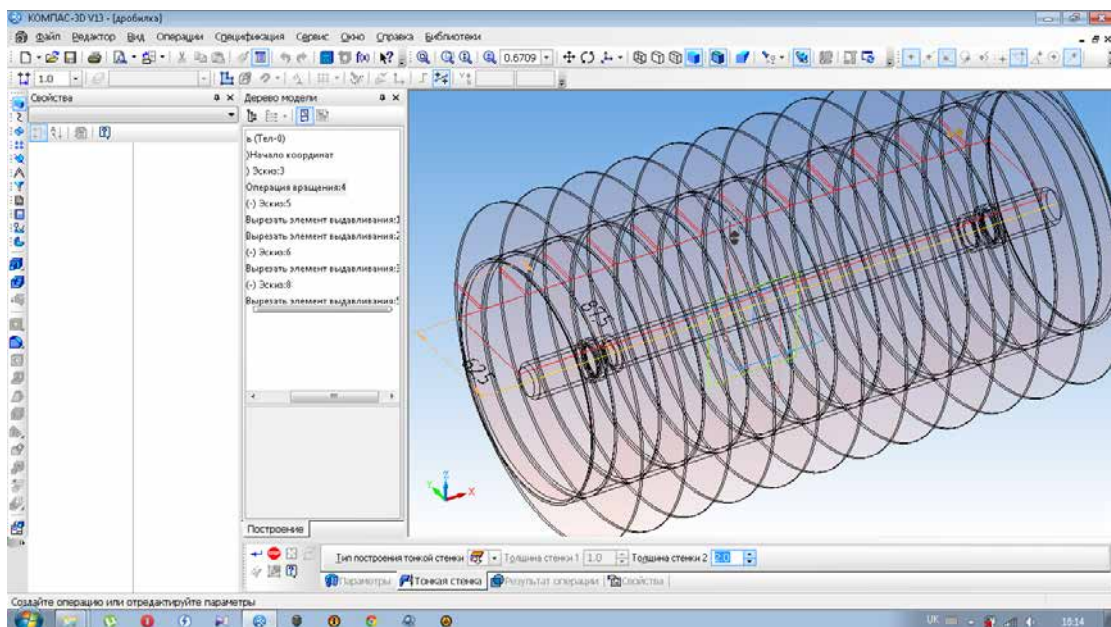


Рис. 4.2. Побудова тіла моделі вісі

4. Будемо трапеціальні отвори. Для цього вказуємо потрібну площину і переходимо в режим редагування ескізу і створюємо ескіз отвору (рис. 4.3).

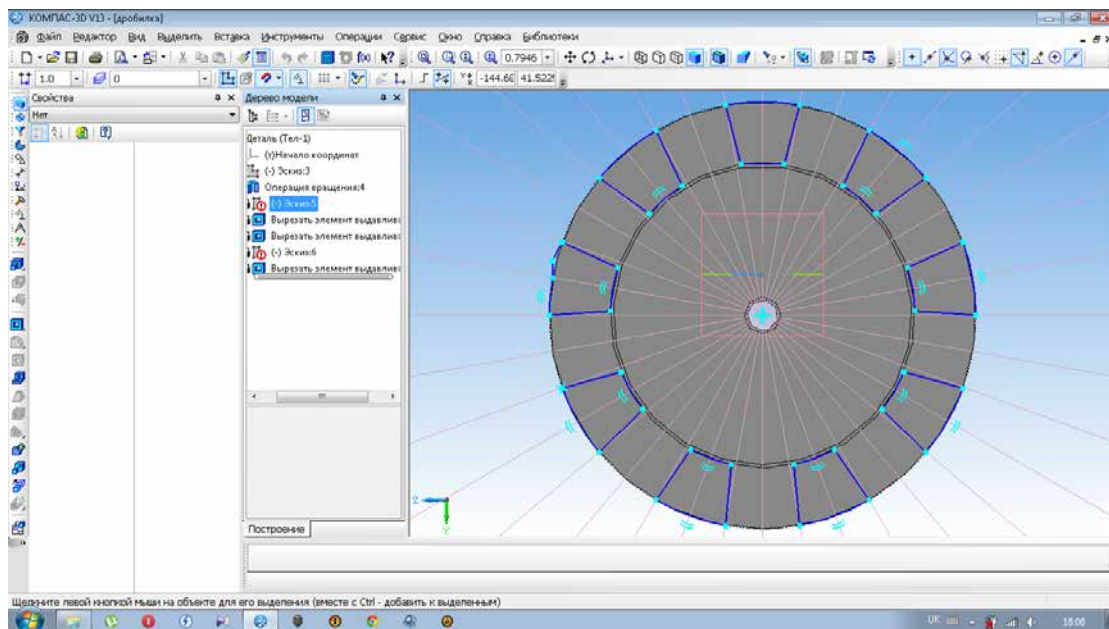


Рис. 4.3. Створення ескізу робочого органу

5. За допомогою формуючого елемента – операція вирізати видавлюванням – дублюємо попередню операцію тільки під іншими кутами.(рис. 4.4)

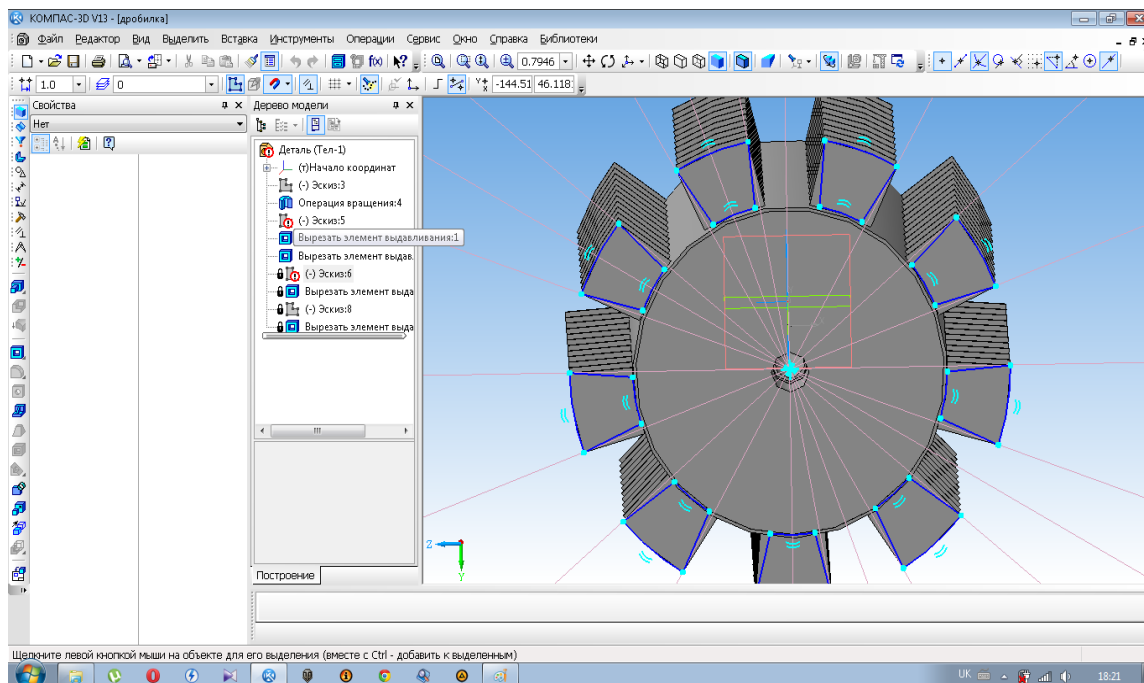


Рис. 4.4. Створення отвору

6. Після декількох операцій отримуємо готову деталь (рис. 4.5).

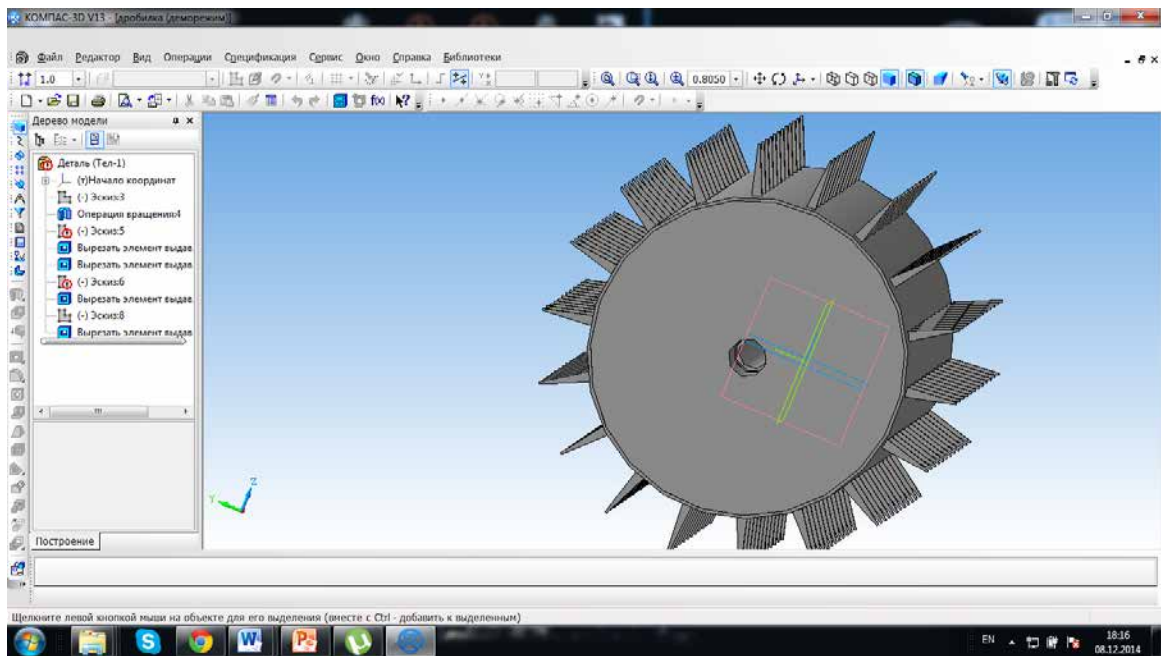


Рис. 4.5. Створення готової деталі

7. Наступний етап – створення на основі побудованої моделі барабана сепаратора та загального вигляду сушильної установка. з оформленням відповідно до вимог ЄСКД (рис. 4.6).

Недостатня оснащеність проектно-конструкторських підрозділів сучасними передовими технологіями проектування призводить до неякісної проробки конструктивних і технологічних рішень, що потім обертається суттєвими втратами часу та матеріальних ресурсів на стадії виготовлення. Нерідко трапляється й так, що сучасне дороге устаткування, закуплене за кордоном і яке коштує сотні тисяч доларів, виявляється недостатньо завантаженим або використовується неефективно через те, що доводиться по декілька разів вносити зміни в конструкцію виробу або технологію його виготовлення, усуваючи помилки, допущені на стадії проектування.

Єдиний реальний спосіб вдосконалення роботи конструкторів і технологів на підприємстві лише один - застосування сучасних комп'ютерних технологій проектування і конструювання, які дозволяють:

- скоротити терміни розробки та запуску в серійне виробництво нових виробів та їх модифікацій;
- зробити їх випуск максимально ефективним з точки зору виробництва;
- досягти максимального здешевлення продукції, що випускається, а також відповідності її усім вимогам найприскіпливіших споживачів.

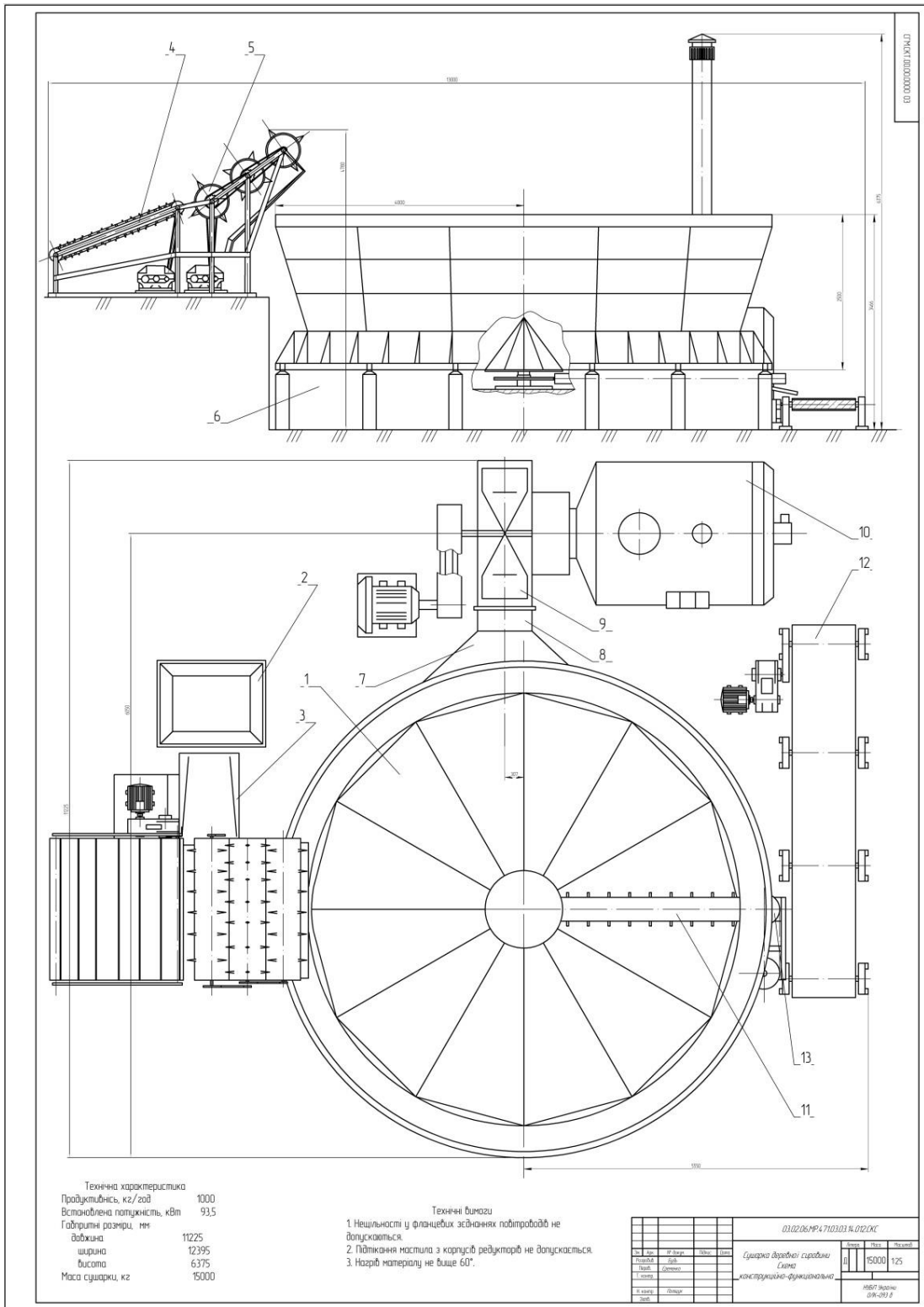


Рис. 4.6. Сушильна установка. Загальний вигляд

## Розділ 5.

# ОХОРОНА ПРАЦІ І ДОВКІЛЛЯ

### 5.1. Вимоги з охорони праці на твердопаливних підприємствах

5.1 Сировинні матеріали, біоБіопаливні гранули необхідно зберігати в спеціальних приміщеннях згідно з вимогами нормативних документів на них.

5.2 При виготовленні і зберіганні біогранули не повинні виділяти в навколишнє середовище шкідливі речовини в кількостях, що перевищують гранично допустимі концентрації згідно з ДСП 201.

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

5.4 Виробничі і побутові приміщення повинні відповідати вимогам БНіП 2.09.02 і БНіП 2.09.04.

5.5 Виробничі приміщення повинні бути обладнані системами вентиляції та опалення згідно з ДСТУ 12.4.021 і БНіП 2.04.05

5.6 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.

5.7 Виробничі приміщення повинні бути обладнані водопровідною системою і каналізацією згідно з БНіП 2.04.01, питною водою згідно з ДСТУ 2874.

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

5.9 При виробництві необхідно використовувати вимоги ДСТУ 12.3.002, ДСТУ 12.2.003 та санітарних правил організації технологічних процесів згідно з СП 1042.

5.10 Технологічне обладнання повинно бути заземлене відповідно до вимог ДСТУ 12.2.007.0 та ПУЗ. Комунікації повинні бути заземлені від статичної електрики згідно з ДСТУ 12.1.018.

При роботі з електрообладнанням потрібно виконувати правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів згідно з ДНАОП 0.00 - 1.21, ДСТУ 12.2.007.0.

5.11 У виробничих приміщеннях необхідно виконувати вимоги пожежної безпеки згідно з ДСТУ 12.1.004.

Виробничі приміщення повинні бути оснащені первинними засобами пожежогасіння згідно з НАПБ А. 01.001.

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

5.12 Рівні шуму та вібрації на робочих місцях при виготовленні гранул не повинні перевищувати величин, встановлених згідно з ДСТУ 12.1.003, ДСН 3.3.6 - 037, ДСТУ12.1.012, ДСН 3.3.6.039. Контроль шуму на робочих місцях здійснюють згідно з ДСТУ 12.1.050, контроль вібрації на робочих місцях здійснюють згідно з ДСТУ 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.

5.13 Навантажувальні та розвантажувальні роботи проводять з дотриманням вимог безпеки згідно з ДСТУ 12.3.009 та норм, що встановлені виконавчим органом у сфері охорони здоров'я України (ДНАОП 003 - 3.28 та наказ МОЗ України від 27.12.2001р №528 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»).

5.14 Інструктаж з охорони праці працівників проводять за ДНАОП 0.00 – 4.12 і відповідними матеріалами з охорони праці.

5.15 Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту згідно з ДНАОП 0.00 - 4.26: спецодягом згідно з ДСТУ 27574, ДСТУ 27575, спецвзуттям згідно з ДСТУ12.4.127, засобами індивідуального захисту рук згідно з ДСТУ 12.4.010. 12.17 Охорону ґрунтів від забруднення побутовими і виробничими відходами забезпечують згідно з СанПиН 42—128-4690 та ДСанПиН 2.2.7.029.

5.16 Відходи при виготовленні гранул використовуються повторно при брикетуванні подрібненої деревної сировини.

Кускові відходи (у тому числі забраковані гранул) при цьому попередньо подрібнюють.

5.17 Контроль за скиданням стічних вод здійснюють згідно з СанПиН 4630.

5.18 Контроль за наявністю радіонуклідів в сировині проводять згідно «Рекомендацій з ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення».

## 5.2. Небезпечні та шкідливі фактори в зоні роботи сушильного агрегату

Шкідливі фактори, такі як шум, вібрації, запиленість та загазованість повітряного середовища, ненормальне освітлення робочої зони, шкідлива дія біологічних, психофізичних факторів при перевищенні допустимих рівнів і санітарно-гігієнічних норм впливають на зниження продуктивної праці, викликають професійні захворювання, що негативно позначається на ефективності виробництва і соціальному рівні населення.

До основних шкідливих факторів при сушінні біосировини належить шум і вібрація машин, запиленість приміщення, підвищена температура та вологість.

Неодмінною умовою високоефективного виробництва є дотримання вимог з охорони праці людини. Щоб забезпечити належний стан охорони праці під час виконання виробничих процесів, в Україні розроблені та впроваджені нормативні документи, серед яких найголовнішим є закон України “Про охорону праці”.

Відповідно законодавства служба охорони праці разом з керівництвом підприємства вирішує такі завдання:

- забезпечення безпеки виробничих процесів обладнання, будівель, споруд;
- проводить професійну підготовку нових кваліфікацій робітників з охорони праці, впроваджує нові методи роботи;
- забезпечує працівників засобами індивідуального захисту;
- впроваджує оптимальні режими роботи і відпочинку.

Технологічний процес роботи сушарки оснований на використанні суміші паливних газів і атмосферного повітря, то факторами, що негативно впливають на мікроклімат робочого місця обслуговуючого персоналу є перш за все концентрація вуглекислого газу та інших продуктів горіння палива. Крім цього в процесі роботи сушарки, матеріал розпушується, деякою мірою подрібнюється, внаслідок чого створюється запиленість приміщення, в якому працює сушарка. При роботі електродвигунів, редукторів, мотор-редукторів, ланцюгових і пасових передач, внаслідок роботи вентиляторів і теплогенератора створюється досить високий рівень шуму. Не менш важливим фактором, який впливає на стан мікроклімату робочого місця є інфрачервоне випромінювання від нагрітих камер сушіння.

**5.1.1. Заходи по усуненню небезпеки.** Для усунення нещасних випадків при роботі сушарки біосировини необхідно дотримуватись таких вимог техніки безпеки:

- до обслуговування сушарки допускати осіб, не молодших 18 років, які пройшли вступний інструктаж, медичний огляд, навчання за програмою підготовки

операторів сушильних установок, склали іспити і мають посвідчення кваліфікаційної комісії на право обслуговування цих установок;

- всі пасові та ланцюгові передачі, а також деталі, що обертаються, повинні бути надійно закриті металевими кожухами червоно кольору;
- бункер завантажувального пристрою повинен бути огорожений;
- технічне обслуговування, ремонт і регулювання проводити при вимкненому обладнанні;
- корпус сушарки, електродвигунів, мотор-редукторів і магнітних пускачів повинні бути надійно заземлені;
- стінки сушильних камер, дифузорові і повітропроводів повинні бути тепло ізольовані;
- кабелі та проводи електрообладнання сушарки повинні бути прокладені всередині трубок з ізоляційного матеріалу на відстані не менше 0,5 м від деталей і вузлів, що нагріваються в процесі роботи сушарки;
- перед початком роботи перевіряти щільність з'єднання дифузора з камерою сушіння та нагнітаючим патрубком вентилятора;
- ремонт і обслуговування сушарки проводити в спецоязі для захисту від підвищених температур за ДСТУ 12.4.045-87.

У відповідності до нормативних документів сформульовано такі вимоги безпеки та охорони довкілля на твердопаливних виробництвах:

1. Гранули виготовляють при дотриманні санітарних норм до повітря робочої зони згідно з ДСТУ 12.1.005, в яку можливе виділення пилу біосировини, ГДК якого становить  $6 \text{ мг/м}^3$ , 4 класу небезпеки. Контроль за повітрям робочої зони здійснюють згідно з МУ № 4436.

2. Виробничі приміщення мають бути обладнані системами вентиляції та опалення згідно з ДСТУ 12.4.021 і БНіП 2.04.05.

3. Технологічне обладнання повинно бути заземлене відповідно до вимог ДСТУ 12.2.007.0 та ПУЗ. Комунікації повинні бути заземлені від статичної електрики згідно з ДСТУ 12.1.018. При роботі з електрообладнанням потрібно виконувати правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів згідно з ДНАОП 0.00 - 1.21, ДСТУ 12.2.007.0,

4. У виробничих приміщеннях необхідно виконувати вимоги пожежної безпеки згідно з ДСТУ 12.1.004. Виробничі приміщення повинні бути оснащені первинними засобами пожежегасіння згідно з НАПБ А. 01.001. Категорія виробничих приміщень

за пожежною небезпекою В - згідно з НАПБ Б. 07.005, зона класу 11 - 11а - згідно з ДНАОП 0.00-1.32.

### 5.3. Розрахунок освітлення виробничого приміщення

Освітлення передбачене природне через вікна і штучне - за допомогою ламп розжарювання. Природне освітлення здійснюється через на 1500x1800 мм.

#### 5.3.1. Розрахунок природного освітлення

Загальну площу вікон обчислюємо за формулою:

$$\sum S_b = \frac{S_n \cdot l_{\min} \cdot n_0 \cdot k}{100 \cdot i_0 \cdot n_1}, \quad (5.1)$$

де  $S_n$  – площа підлоги, м<sup>2</sup>;

$l_{\min}$  – мінімальний коефіцієнт природного освітлення,  $l_{\min} = 0,5$ ;

$n_0$  – світлова характеристика вікон;  $n_0 = 11$ ;

$k$  – коефіцієнт, що враховує затемнення вікон сусідніми будівлями,  $k = 1$ ;

$i_0$  – коефіцієнт світлопропускання з врахуванням затінення,  $i_0 = 0,3$ ;

$n_1$  – коефіцієнт, що враховує відбивання світла від внутрішніх поверхонь приміщення,  $n_1 = 1,2$ .

$$\sum S_b = \frac{298,3 \cdot 0,5 \cdot 11 \cdot 1}{100 \cdot 0,3 \cdot 1,2} = 43,175 \text{ м}^2$$

Розрахуємо загальну кількість вікон за формулою:

$$n = \frac{\sum S_b}{S_b}, \quad (5.2)$$

де  $S_b$  – площа одного вікна,  $S_b = 2,7 \text{ м}^2$ .

$$n = \frac{43,175}{2,7} = 15,99$$

Приймаємо 16 вікон розміром 1500x1800 мм.

#### 5.3.2. Розрахунок штучного освітлення

Штучне освітлення повинно відповідати вимогам БНіП II-4-79 і може бути як загальним так і комбінованим.

Необхідна кількість ламп для штучного освітлення визначається за формулою:

$$n = \frac{k \cdot S_n \cdot E_{\min}}{F \cdot Z \cdot \eta}, \quad (5.3)$$

де  $F$  – світловий потік для лампи 150 Вт,  $F = 2100$ ;

$k$  – коефіцієнт запасу,  $k = 1,3$ ;

$S_n$  – площа підлоги приміщення,  $S_n = 298,3 \text{ м}^2$ ;

$E_{\min}$  – освітленість по нормі для переробних підприємств;

$E_{\min} = 100 \text{ лк}$ ;

$Z$  – коефіцієнт нерівномірної освітленості,  $Z = 0,95$ ;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку,  $\eta = 0,57$ ;

$n_1$  – кількість ламп.

Визначаємо кількість ламп розжарювання:

$$n_1 = \frac{1,3 \cdot 298,3 \cdot 100}{2100 \cdot 0,95 \cdot 0,57} = 34,16$$

Приймаємо 34 лампи розжарювання потужністю 150 Вт.

#### 5.4. Розрахунок обміну повітря у приміщенні

Для виробничих цехів, підсобних приміщень і побутових служб обладнується вентиляція із врахуванням діючих норм і технічних умов БНіП -33-75, природна вентиляція не залежить від механічної і цех забезпечується вентиляційними отворами і кватирками. В тих приміщеннях, де можна розрахувати кількість шкідливих виділень величину повітрообміну розраховують за формулою:

$$L = \frac{G}{\rho} \cdot 10^6, \quad \text{м}^3/\text{год.}, \quad (5.4)$$

де  $G$  – кількість шкідливих виділень, кг/год;

$\rho$  - гранично допустима концентрація забруднення повітря, мг/м<sup>3</sup>.

При відомій кратності повітрообмін розраховують за формулою:

$$L_B = V_n \cdot k, \quad (5.5)$$

де  $V_n$  – об'єм приміщення;  $V_n = 1193,2 \text{ м}^3$

$k$  - годинна кратність обміну повітря,  $k = 3-4$ .

$$L_B = 1193,2 \cdot 3 = 3579,6 \text{ м}^3.$$

Діаметр повітропроводу розраховуємо за формулою:

$$d = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{L_B}{\Pi \cdot V_B}}, \quad (5.6)$$

де  $v_b$  - швидкість повітря в повітропроводі,  $v_b = 1,5$  м/с.

$$d = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{3579,6}{3,14 \cdot 10}} = 0,356 \text{ м.}$$

Тиск вентилятора визначається за формулою:

$$H = H_{\text{дин}} + H_p + H_m, \quad (5.7)$$

де  $H_{\text{дин}}$  – динамічний тиск, Па;

$H_p$  – втрати тиску на подолання опору руху повітря в повітропроводі, Па;

$H_m$  – втрати напору від місцевих опорів.

$$H_{\text{дин}} = \frac{\rho_v \cdot V_B^2}{2 \cdot d}, \quad (5.8)$$

де  $\rho_v$  – густина повітря,  $\rho_v = 1,24$  кг/м<sup>3</sup>,

$$H_{\text{дин}} = \frac{1,24 \cdot 15^2}{2 \cdot 9,81} = 14,22 \text{ Па,}$$

$$H_p = \frac{\lambda_v \cdot V_B \cdot \rho_v \cdot l}{2 \cdot d \cdot 0,9}, \quad (5.9)$$

де  $l$  – довжина повітропроводу,  $l = 23$  м;

$\lambda_v$  – гідравлічний коефіцієнт опору руху повітря,  $\lambda_v = 0,0155$  Па.

$$H_p = \frac{0,0155 \cdot 15 \cdot 1,24 \cdot 23}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,9} = 0,37 \text{ Па}$$

Визначаємо втрати напору від місцевих переходів за формулою:

$$H_m = \frac{\Sigma \cdot V_B \cdot \rho_v}{2 \cdot d}, \quad (5.10)$$

де  $\Sigma$  - коефіцієнт опору руху,  $\Sigma = 1,1$ .

$$H_m = \frac{1,1 \cdot 15 \cdot 1,24}{2 \cdot 9,81} = 1,16 \text{ Па.}$$

Загальний тиск вентилятора:

$$H = 14,22 + 0,37 + 1,16 = 15,7 \text{ Па.}$$

Знаючи подачу вентилятора та напір, вибираємо вентилятор УЦ-70. За аеродинамічними характеристиками визначаємо частоту обертання крильчатки,  $n_B = 1500$  об/хв, коефіцієнт корисної дії вентилятора  $\eta_B = 0,75$ , потужність  $P_B = 1,5$  кВт.

## 5.5. Причини виникнення та заходи усунення пожежних і вибухових ситуацій

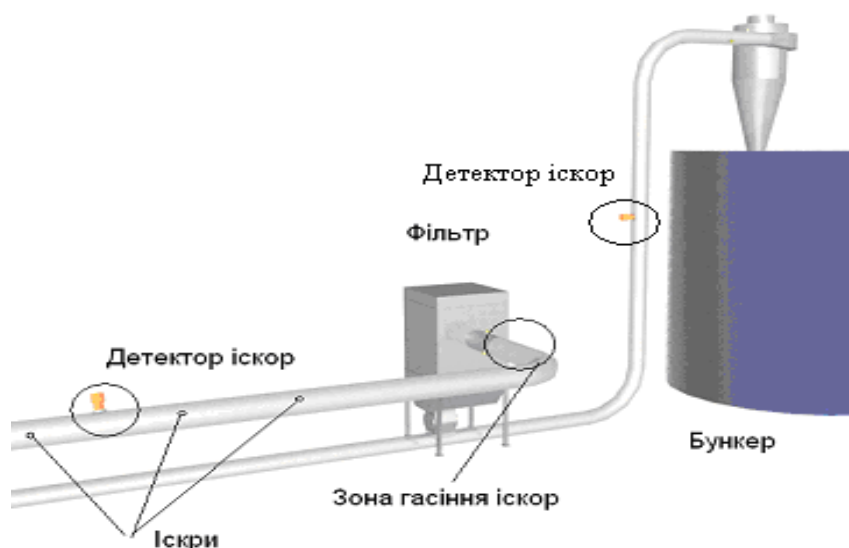
На виробництві біопаливних гранул існує високий ризик загоряння у технологічному процесі. Пелетні виробництва згідно з класифікацією приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою належать до категорії Б. Наявність одночасно підвищених температур та подрібненої біосировини в технологічному обладнанні може спричинити загоряння та вибухи [2, 25, 26].

Аналіз причин цих та аналогічних аварій показав, що часто вибухи технологічного обладнання зумовлюють пил та гарячі частинки ущільненої біосировини, що рухаються всередині магістралей пелетного виробництва [25].

У сушарках, куди безпосередньо потрапляє гарячий газ з топки, біосировина може загорітися, а повітряно-пилова суміш вибухнути. Причинами загоряння є припинення потрапляння до камери вологих частинок біомаси за умов надходження до камери продуктів згоряння з топки, наявність кишень у камері з пересушеними (обвугленими) частинками.

Накопичений пил у системі надходження часток, потрапивши до газового потоку, миттєво згорає, що призводить до вибуху сушарки. Небезпечним є порушення режиму роботи топки з отриманням продуктів неповного згоряння (генераторного газу), які після заповнення системи можуть спалахнути у разі наявності іскор. Згідно із статистичними даними [10] основною причиною виходу з ладу пелетного виробництва є пожежі у технологічному обладнанні.

Особливу небезпеку становлять гарячі частинки (рис. 1) з температурою понад 470 °С та енергією понад 40 МДж, що можуть бути джерелами загоряння. Інколи це можуть бути навіть частки без яскравої світливості („темні” частинки).



### Рис. 5.1. Схема виявлення і гасіння іскор у пелетному виробництві

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 сульфіді свинцю. Це дозволяє виявляти як іскри, так і „темні” частинки високої енергії з температурою 250°С та вище. Їх перевагою щодо силіконових фотодетекторів, які реагують на світло від іскор, є нечутливість до денного світла [10, 26].

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, борошномельному та ін. виробництвах, а також у технологічних лініях, де встановлюються аспіраційні витяжні установки (наприклад, деревинна, твердопаливна, зернова промисловості) [10, 33, 34].

## Розділ 6.

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

## 6.1. Вихідні дані

Карусельна сушарка із конструкцією механізму завантаження нового типу розробляється на базі типової транспортерної сушарки ГТС-0,6 без встановленого сепаратора-завантажувача. За допомогою розробленої сушарки є можливим виконувати очищення вороху насіння трав перед сушінням. Такий поділ дає змогу сушити насінневого матеріалу застосовуючи більш м'які, енергозберігаючі режими сушіння. Процедура завантаження матеріалу в сушильну камеру здійснюється механізовано. Привод конвеєра та завантажувального механізму - електричний. Ці обставини дозволяють значно збільшити продуктивність сушарки в порівнянні з базовою. За рахунок цього і передбачається досягнення економічної ефективності.

Вихідні дані необхідні для визначення ефективності застосування транспортерної сушарки вороху насіння трав приведені в таблиці 6.1

Таблиця 6.1. Вихідні дані для розрахунків

| Показники  | Одиниці виміру | Позначення        | Розробка |             |
|--|----------------|-------------------|----------|-------------|
|  |                |                   | Базова   | Пропонувана |
| Продуктивність сушарки по сухому вороху насіння трав   | т/год          | W                 | 0,9      | 1           |
| Тривалість робочого дня  | год            | T                 | 8        | 8           |
| Кількість днів роботи сушарки  | днів           | D                 | 14       | 10          |
| Кількість обслуговуючого персоналу   | людей          | L                 | 2        | 2           |
| Маса сушарки в зборі   | кг             | G <sub>з</sub>    | 1000     | 1400        |
| Чиста маса сушарки без покупних частин   | кг             | G <sub>г</sub>    | 700      | 1010        |
| Балансова ціна сушарки   | грн.           | Ц <sub>б</sub>    | 30000    |             |
| Собівартість сушарки   | грн.           | С <sub>б</sub>    | 15780    |             |
| Вартість покупних виробів, що використовуються у сушарці в оптових цінах з затратами на доставку | грн.           | С <sub>п.в.</sub> |          | 4200        |
| Нормативний коефіцієнт на реновацію;   | %              | a                 | 16       | 16          |
| Потужність, необхідна для приводу сушарки  | кВт            | N <sub>0</sub>    | 3        | 2,5         |
| Вартість електроенергії  | грн./кВт·      | Ц <sub>е</sub>    | 5,25     | 5,25        |

## 6.2. Визначення економічної ефективності застосування нової сушарки

Продуктивність сушарки за зміну визначаємо за формулою:

$$W_{зм.} = W \cdot T, \text{ т/зміну.} \quad (6.1)$$

де  $W$  – годинна продуктивність сушарки, т/год;

$T$  – тривалість робочого дня, год;

для нової сушарки:

$$W_{змн} = 1 \cdot 8 = 8 \text{ т/зміну.}$$

для базової сушарки:

$$W_{зоб} = 0.9 \cdot 8 = 7.2 \text{ т/зміну.}$$

Річний обсяг сушильних робіт:

$$Q = W_{зм} \cdot t_p, \text{ т/рік} \quad (6.2)$$

де  $W_{зм}$  – продуктивність сушарки за зміну, т/зм;

$t_p$  – річне завантаження сушарки, год.

$$t_p = T \cdot Д, \text{ год.} \quad (6.3)$$

де  $T$  – тривалість робочого дня, год;

$Д$  – кількість днів роботи сушарки на біомаси, днів.

для нової сушарки:

$$t_{п.н} = 8 \cdot 10 = 80 \text{ год.}$$

для базової сушарки:

$$t_{п.б} = 8 \cdot 14 = 112 \text{ год.}$$

Отже для нового варіанту:

$$Q_n = 8 \cdot 80 = 640 \text{ т/рік.}$$

для базового:

$$Q_b = 7.2 \cdot 112 = 806.4 \text{ т/рік.}$$

Приймаємо, що річний обсяг сушильних робіт буде:

$$Q_b = Q_n = 806.4 \text{ т/рік.}$$

Затрати праці на сушіння вороху насіння трав:

$$V_3 = \frac{L}{W}, \text{ ЛЮД-ГОД/Т} \quad (6.4)$$

де  $L$  – кількість людей, які обслуговують сушарку, чол.;

$W$  – продуктивність сушарки за годину, т/год.

для нової сушарки:

$$V_{3н} = \frac{2}{1} = 2 \text{ ЛЮД-ГОД/Т.}$$

для базової сушарки:

$$V_{3б} = \frac{2}{0,9} = 2,22 \text{ ЛЮД-ГОД/Т.}$$

Річна економія затрат праці при застосуванні нової сушарки:

$$W_{3.н} = (V_{3.б} - V_{3.н}) \cdot Q, \text{ ЛЮД-ГОД/Т.} \quad (6.5)$$

де  $V_{3.б}$ ,  $V_{3.н}$  – затрати праці на сушіння вороху насіння трав відповідно базовою і новою сушаркою, люд-год/т.;

$Q$  – річний обсяг сушильних робіт, т/рік.

Отже,

$$W_{3.н} = (2,22 - 2) \cdot 806,4 = 177 \text{ ЛЮД-ГОД/Т.}$$

Вартість 1кг чистої маси матеріалів, що йдуть на виготовлення сушарки:

$$M = \frac{C_M}{G_r}, \text{ ГРН./КГ.} \quad (6.6)$$

де  $C_M$  – вартість матеріалів у собівартості базової сушарки, грн;

$G_r$  – чиста маса базової сушарки без покупних частин, кг.

$$M = \frac{8100}{700} = 11,57 \text{ ГРН./КГ.}$$

Затрати на виготовлення нової сушарки без вартості матеріалів і покупних частин, що йдуть на 1 кг його чистої маси:

$$H = \frac{C_{\bar{o}} - (C_n + C_{п.в})}{G_2}, \text{ ГРН./КГ,} \quad (6.7)$$

де  $C_0$  – собівартість базової сушарки, грн.;

$C_M$  – вартість матеріалів у собівартості базової сушарки, грн. ;

$C_{н.в}$  – вартість покупних виробів, що використовуються у новому варіанті в оптових цінах із затратами на доставку, грн. ;

$C_2$  – маса базової сушарки, кг.

$$H = \frac{15780 - (8100 + 4200)}{700} = 4,97 \text{ грн. /кг.}$$

Собівартість нової сушарки на стадії технічного завдання:

$$C_0 = G_{г.н} (\lambda H K_H + M) + C_{н.в} K_{м.з}, \text{ грн.} \quad (6.8)$$

де  $G_{г.н}$  – чиста маса сушарки за новим варіантом, кг;

$\lambda = 1,3$  – коефіцієнт конструктивної складності сушарки в порівнянні з технологією виготовлення нової машини;

$H$  – затрати на виготовлення сушарки без покупних виробів, що припадають на 1 кг його чистої маси, грн. ;

$K_h = 1,4$  – коефіцієнт зміни «Н» в залежності від обсягу випуску;

$M$  – вартість 1 кг чистої маси матеріалів для нового варіанту, грн./кг;

$C_{н.в.}$  – вартість покупних виробів нової сушарки, грн.;

$K_{м.з}$  - 0,05...0,1 – коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат, приймаємо

$$K_{м.з} = 0,1$$

Отже,

$$C_0 = 700 \cdot (1,3 \cdot 4,97 \cdot 1,4 + 11,57) + 4200 \cdot 0,1 = 14850,78 \text{ грн.}$$

Нормативний прибуток:

$$\Pi_n = \frac{C_0 P_o}{100} \text{ грн.} \quad (6.9)$$

де  $C_0$  – собівартість нової сушарки на стадії технічного завдання, грн;

$P_o = 14...16\%$  - норматив галузевої рентабельності, приймаємо  $P_o = 16\%$ .

$$\Pi_n = \frac{14850,78 \cdot 16}{100} = 2376,12 \text{ грн.}$$

Оптова ціна нового виробу:

$$C_o = C_o + P_n, \text{ грн.} \quad (6.10)$$

де  $C_o$  – собівартість нової сушарки;  
 $P_n$  – нормативний прибуток.

$$C_o = 14850,78 + 2376,12 = 17226,90 \text{ грн.}$$

Балансова ціна нової сушарки:

$$C_{б.н} = C_o \cdot 1,2 = 17226,90 \cdot 1,2 = 20672,29 \text{ грн.}$$

де  $C_o$  – оптова ціна нової сушарки, грн.

Приймаємо  $C_{б.н} = 20672$  грн.

Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації сушарки:

$$K_{шт} = \frac{C_{б.н}}{W \cdot t_p}, \text{ грн./т.} \quad (6.11)$$

де  $C_{б.н}$  – балансова ціна сушарки, грн.

$W$  – годинна продуктивність машини, т/год.;

$t_p$  – річне завантаження (приймаємо рівним завантаженню сушарки), год.

Отже, для нового виробу питомі капіталовкладення:

$$K_{шт.н} = \frac{20672}{1 \cdot 80} = 258,4 \text{ грн./т.}$$

для базового виробу:

$$K_{шт.б} = \frac{30000}{0,9 \cdot 112} = 297,6 \text{ грн./т.}$$

Питома металомісткість сушарки нової:

$$M_{шт} = \frac{G_3}{Q}, \text{ кг/т.} \quad (6.12)$$

де  $G_3$  – маса зібраної сушарки, кг;

$Q$  – річний обсяг сушильних робіт, т/рік.

Отже, для базової :

$$M_{шт.б} = \frac{1000}{806,4} = 1,24 \text{ кг/т.}$$

для нової сушарки:

$$M_{\text{н.н}} = \frac{1400}{806,4} = 1,74 \text{ кг/т.}$$

Собівартість сушильних робіт:

$$C_c = 3n + A + R + E + Z + U_{\text{см}} \text{ грн./т.} \quad (6.14)$$

де  $3П$  – заробітна плата працівників, грн./т;

$A$  – амортизаційні затрати на реновацію, грн./т;

$E$  – затрати на ремонт і техобслуговування, грн./т;

$R$  – затрати на електроенергію, грн./т;

$Z$  – затрати на зберігання, грн./т;

$U_{\text{см}}$  – затрати на експлуатаційні матеріали, грн./т.

Витрати на заробітну плату сушильників:

$$3П = \frac{f_{\text{з.м}} + f_{\text{зн}}}{W} \text{ грн./т.} \quad (6.15)$$

$W = 1,36$  га/год. – годинна продуктивність машини.

Для нової сушарки:

$$3П_n = \frac{10,0 + 2,2}{1} = 12,2 \text{ грн./т.}$$

Для базової сушарки:

$$3П_{\delta} = \frac{10,0 + 2,2}{0,9} = 13,56 \text{ грн./т.}$$

Амортизаційні витрати на реновацію:

$$A = \frac{Ц_{\delta} \cdot a}{100 \cdot W \cdot t_p} \text{ грн./т.} \quad (6.16)$$

де  $Ц_{\delta}$  – балансова ціна, грн.;

$a$  – нормативний коефіцієнт відрахувань на реновацію, приймаємо  $a = 16\%$ , додаток 1 [13];

$W$  – годинна продуктивність машини, т./год;

$t_p$  – річне завантаження, год.

Отже, для базової: 
$$A_{\delta} = \frac{30000 \cdot 16}{100 \cdot 0,9 \cdot 112} = 47,6 \text{ грн./т.}$$

для нової: 
$$A_n = \frac{20672 \cdot 16}{100 \cdot 1 \cdot 80} = 41,34 \text{ грн./т.}$$

Витрати на капітальний, поточний ремонт і техогляди сушарки:

$$R = \frac{C_0 r}{100 W t_p} \text{ грн./т.}$$

де  $C_0$  – балансова ціна сушарки, грн.;

$r$  – норматив щорічних відрахувань на капітальний, поточний ремонт і техогляди, згідно додатка [37] приймаємо 14 %;

$W$  – годинна продуктивність сушарки, т./год.;

$t_p$  – річне завантаження сушарки, год.

Отже, для нової:

$$R_n = \frac{20672 \cdot 14}{100 \cdot 1 \cdot 80} = 36,18 \text{ грн./т.}$$

Для базової:

$$R_0 = \frac{30000 \cdot 14}{100 \cdot 0,9 \cdot 112} = 41,7 \text{ грн./т.}$$

Вартість енергоресурсів, що витрачаються на приводи,  $E$ :

$$E = \frac{N_0 \cdot t'_n \cdot C_e}{Q}, \text{ грн./т.} \quad (6.17)$$

де  $N_0$  – потужність, яка витрачається двигуном на привід;

$t'_n$  – річне завантаження електродвигуна. Приймаємо річному завантаженню сушарки;

$C_e$  – вартість електроенергії, грн./кВт·год,

$Q$  – річний обсяг сушильних робіт, т/рік.

Отже, для нової:

$$E_n = \frac{2,5 \cdot 80 \cdot 0,25}{806,4} = 0,06 \text{ грн./т.}$$

для базової:

$$E_0 = \frac{3 \cdot 112 \cdot 0,25}{806,4} = 0,10 \text{ грн./т.}$$

Витрати на зберігання:

$$Z = \frac{T_n \cdot f_{z.c.}}{Q} \text{ грн./т.}$$

де  $T_n$  – норматив витрат праці на підготовку сушарки для зберігання, люд.-год., додаток [37] приймаємо  $T_n = 5$  люд.-год.;

$f_{z.c.}$  – годинна тарифна ставка при виконанні робіт, пов'язаних з підготовкою сушарки до зберігання, грн./год.;

$Q$  – річний обсяг сушильних робіт, т/рік.

Приймаємо, що витрати на зберігання сушарок будуть рівні, тобто:

$$Z_n = Z_b = \frac{5 \cdot 2,2}{806,4} = 0,01 \text{ грн./т.}$$

Витрати на матеріали, що використовуються при експлуатації:

$$U_m = \Sigma q_m \cdot C_m \text{ грн./т.} \quad (6.18)$$

де  $q_m$  – питома витрати матеріалів на експлуатацію сушарки. Приймаємо згідно додатка [13] і заносимо в таблицю;

$U_m$  – преіскурантна ціна матеріалів, грн./т.

Відрахування на експлуатаційні матеріали в розрахунку на 1 т висушеного матеріалу можна визначити за формулою:

$$U_{e.m} = \frac{U_m}{Q} \text{ грн./т.} \quad (7.19)$$

де  $U_m$  – витрати на матеріали, що використовуються при експлуатації, грн.;

$Q$  – річний обсяг сушильних робіт, т/рік.

Отже, для сушарок ці відрахування становитимуть:

$$U_{e.m} = U_{e.m.b} = \frac{12,54}{806,4} = 0,02 \text{ грн./т.}$$

Отже, собівартість сушильних робіт:

Для нового варіанту:

$$C_{c.b.} = 13,56 + 47,6 + 41,7 + 0,10 + 0,01 + 0,02 = 102,99 \text{ грн./т.}$$

для базового:

$$C_{z.n.} = 12,2 + 41,34 + 36,18 + 0,06 + 0,01 + 0,02 = 89,81 \text{ грн./т.}$$

Експлуатаційні витрати на сушарку:

$$U = 3П + R + E + Z + U_{em} \quad (6.20)$$

де  $3П$  – витрати на зарплату, грн./т.;

$R$  – витрати на капітальний, поточний ремонт і техобслуговування, грн./т.;

$E$  – витрати на електроенергію, грн./т.;

$Z$  – витрати на зберігання, грн./т.;

$U_{em}$  – витрати на експлуатаційні матеріали, грн./т.

Отже, для базової:

$$U_{\delta} = 13,56 + 41,7 + 0,06 + 0,01 + 0,02 = 55,35 \text{ грн./т.}$$

для нової сушарки:

$$U_{н} = 12,2 + 36,18 + 0,06 + 0,01 + 0,02 = 48,47 \text{ грн./т.}$$

Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах при використанні одної сушарки.

$$\varepsilon_{p.o.} = Q \cdot (U_{\delta} - U_{н}) \text{ грн.}, \quad (6.21)$$

де  $Q$  – річний обсяг сушильних робіт, т/рік;

$U_{\delta}$ ,  $U_{н}$  – прямі експлуатаційні витрати відповідно, грн./т.

Отже,

$$\varepsilon_{p.o.} = 806,4 \cdot (55,35 - 48,47) = 5548,03 \text{ грн.}$$

Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах при застосуванні випущеної партії сушарко:

$$\varepsilon_{p.n.} = \varepsilon_{p.o.} \cdot B_p, \text{ грн.} \quad (6.22)$$

де  $\varepsilon_{p.o.}$  – річна економія на експлуатаційних витратах при застосуванні однієї сушарки, грн.;

$B_p = 15$  шт. – річний випуск нових сушарок.

$$\varepsilon_{p.n.} = 5548,03 \cdot 15 = 83220,45 \text{ грн.}$$

Розмір додаткових капіталовкладень, необхідних для річного випуску нових сушарок:

$$K_{d.p.s.} = B_p \cdot \left( Ц_{\delta.б.} - Ц_{б.н} \frac{Q_{н}}{Q_{\delta}} \right) \text{ грн.} \quad (6.23)$$

де  $B_p$  – річний випуск нових сушарок, шт.;

$C_{б.б.}, C_{б.н}$  – балансова ціна відповідно, грн.;

$Q_n, Q_b$  – річний обсяг сушильних робіт, т.

$$K_{о.р.в.} = 15 \left( 30000 - 20672 \frac{640}{806,4} \right) = 203904,76 \text{ грн.}$$

Строк окупності капіталовкладень на придбання сушарки:

$$T_{ок} = \frac{K_n}{\varepsilon_{р.о.}}, \text{ років} \quad (6.24)$$

де  $K_n$  – капіталовкладення на придбання нової сушарки і вони становлять

$$K_n = C_{б.н.} = 20672 \text{ грн.}$$

$\varepsilon_{р.о.}$  – річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах при використанні однієї сушарки, грн.

$$T_{ок} = \frac{20672}{5548,03} = 3,7 \text{ роки.}$$

$$\text{Економічна ефективність проекту } \varepsilon = \frac{I}{T_{ок}} = \frac{1}{3,7} = 0,27$$

Таким чином проведені розрахунки показали, що нова сушарка має перевагу у порівнянні з базової ГТС-0,6, оскільки дає річну економію на експлуатаційних затратах у розмірі 5548 грн.

Зведені дані економічних обґрунтувань доцільності застосування нової сушарки зведені у таблицю 6.2.

Таблиця 6.2. Економічна ефективність використання розробленої сушарки

| № з/п | Показники                          | Одиниця виміру | Розробка |      | Різниця |
|-------|------------------------------------|----------------|----------|------|---------|
|       |                                    |                | Базова   | Нова |         |
| 1.    | Продуктивність сушарки за:         |                |          |      |         |
|       | – годину змінного часу;            | т./год         | 0,9      | 1    | 0,1     |
| 2.    | – зміну.                           | т/зміну        | 7,2      | 8    | 0,8     |
| 3.    | Річний обсяг сушильних робіт       | т/рік          | 806      | 806  | –       |
|       | Кількість обслуговуючого персоналу | чол.           | 2        | 2    | 0,22    |

|     |  |                            |                      |                        |                    |
|-----|--|----------------------------|----------------------|------------------------|--------------------|
| 4.  | Затрати праці на сушіння сировини<br>Річна економія затрат праці при застосуванні сушарки  | люд-год/т                  | 2,22<br>–            | 2<br>177               | 0,22<br>–          |
| 5.  | Собівартість сушильних робіт<br>Експлуатаційні витрати<br>Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах при застосуванні сушарки | люд-год.<br>грн./т<br>грн. | 102,99<br>55,35<br>- | 89,81<br>48,47<br>5548 | 13,18<br>6,88<br>– |
| 6.  |  |                            |                      |                        |                    |
| 7.  |  |                            |                      |                        |                    |
| 8.  | Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації сушарки  | грн./т.                    | 297,6                | 258,4                  | 39,2               |
| 9.  | Питома металомісткість технологічного процесу сушарки  | т/т                        | 1,24                 | 1,74                   | 0,5                |
| 10. | Строк окупності капіталовкладення нової сушарки  | років                      |                      | 3,7                    |                    |

## ВИСНОВКИ

1. В ході виконання роботи проведено аналітичний огляд методів і способів сушіння біомаси, визначено основні положення процесу вологообміну в повітряно-теплових сушарках. Проведений аналітичний аналіз методів сушіння сировини дозволив визначити основні теоретичні положення процесу вологообміну в повітряно-теплових сушарках.

Результати аналітичного огляду вартості виробництва пелет для сухої або вологої біосировини представлений на діаграмах. Як видно з діаграм, у разі використання вологої сировини вартість сушки і самої сировини може складати 2/3 від собівартості біогранул. Вартість виробництва пелет при використанні сухої сировини (діаграма 2) в основному визначається вартістю сировини, яка складає більш ніж 1/2 від собівартості продукції.

2. Для подальшого дослідження сушіння біосировини прийнято робочий процес конвекційної сушильної установки транспортерного типу. На основі аналізу існуючих способів сушіння та відомих технологій виробництва висушеної біомаси потрібно розраховувати для твердопаливного підприємства універсальну технологічну лінію, на якій можна ефективно сушити деревну тирсу, а після незначного переналагодження – соломку, лузгу, рослинні рештки і таке інше.

3. Складено класифікацію сучасних установок для сушіння біосировини, проведено удосконалення конструкції однієї з основних машин технологічної лінії – універсальної сушарки, що дало можливість підвищити продуктивність цього засобу та застосовувати його на сушіння подрібненої біосировини.

Основні переваги сушарки - це простота конструкції, універсальність і надійність в роботі. До недоліків можна віднести невелику інтенсивність перемішування матеріалу, значну масу установки (3-4 т на 1 т випаруваної вологи за 1 год.), можливість налипання вологого матеріалу на поверхні сушильного конвеєра, що значно знижує ефективність роботи.

4. Досліджено процес конвекційного сушіння в конвеєрній сушарці. Для визначення величини кінцевого вологовмісту повітря  $x_2$  як значення, що відповідає точці перетинання лінії з відомим параметром вологого газу на виході із сушильної камери ( $t_2, \varphi_2$ ). Величину  $\Delta$  визначають, побудувавши лінію реального сушильного процесу і задавшись довільним значенням  $H$  (або  $x$ ).

5. Для переміщення біомаси у камері сушіння передбачено два конвеєра. Привод конвеєрів здійснюється від електродвигуна потужністю  $N = 3$  кВт та частотою

обертання  $n = 970$  об./хв. Від двигуна крутний момент через пружну втулково-пальцеву муфту передається на швидкохідний вал двохступінчатого циліндрично-чев'ячного редуктора РЧН-180-1-2. На вали ведучих зірочок конвеєрів крутний момент передається від тихохідного вала редуктора через ланцюгову передачу.

6. За розрахунками отримані такі техніко-технологічні показники сушарки:

- кількість вологи, що випаровується у камері сушіння – 280 кг/год.;
- маса біосировини, що виходить з камери сушіння – 1220 кг/год.;
- втрати тепла на нагрів біомаси в камері сушіння – 206 кДж/кг;
- середня температура агента сушіння - 35°C;
- питомі втрати тепла в середовище через стінки камери – 4,4 кДж/кг;
- годинна витрата агента сушіння – 49926 кг/год.;
- обертовий моменти на валу приводної зірочки – 4024 Н м;
- діаметр барабана конвеєра – 200 мм;
- діаметри валів під підшипникові опори – 80 мм;
- потужність привода транспортера, що завантажує – 0,35 кВт ( $N = 1$  кВт).
- маса сушарки – 2500 кг; габаритні розміри – 5470x3543x3904 мм.

7. Розроблені нормативні вимоги з охорони праці та пожежної безпеки охоплюють складові процеси технологій виробництва твердих біопалив. Здійснення технологічних процесів на твердопаливному виробництві передбачає ретельне дотримання як загальних правил з охорони праці, так і виконання встановлених норм. Комплексні рішення запобігання пожежам та вибухам на твердопаливних виробництвах повинні передбачати, в першу чергу, системні пристрої вчасного виявлення і гасіння іскор з температурою до 400° С, а також системи автоматичного контролю стану пожежної безпеки і включення пристроїв миттєвого гасіння іскор.

Проаналізувано травмонебезпечні і забруднюючі фактори, через які сушарка впливає на людину на навколишнє середовище. При роботі на сушарці необхідно з однієї сторони суворо дотримуватись правил охорони праці, а з іншої – компоновку всіх робочих органів та деталей необхідно робити такою, щоб вони були закриті кожухами і, по можливості, вмонтовані в корпус сушарки.

8. Проведено розрахунки економічних показників роботи сушильної установки. Річний обсяг сушіння біомаси становить 806 т. При впровадженні модернізованої сушарки капіталовкладення зменшуються на 1000 грн./т, річна економія коштів на експлуатаційних витратах становить 93 тис. грн. Термін окупності капіталовкладень дорівнює 3,7 років.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Біопалива (технології, машини і обладнання) / [В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та ін.] – К.: Енергетика і електрифікація, 2004. – 256 с.
2. Анненков В.Ф. Деякі питання використання відходів для виробництва паливних брикетів /В.Ф. Анненков, С.Ф. Лосіцький // Світ меблів і .- 2002.- № 2-3.- С.19-20.
3. Бать Р.Я. Утилізація промислових відходів переробки шляхом створення біопалива: автореф. дис... на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Р.Я. Бать. - Львів, 2008. – 20с.
4. Обливанцев А.Б. Новые направления развития производства экструзионного биотоплива / А.Б. Обливанцев //Строительные и дорожные машины. - 2003. - № 8. – С. 36-39.
5. Мальований М.С. Технология створення біокомпозиції на основі відходів лісової та целюлозно-паперової промисловості / М.С. Мальований, Р.Я. Бать // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету. – 2006. Вип. 16.2. – С. 86-88.
6. Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад: Науково-методичні рекомендації / [В.О. Дубровін, М.Д. Мельничук, Ю.Ф. Мельник та ін.] – К: НУБіП України, 2009. – 122 с.
7. Альтернативна енергетика: Навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / [М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко та ін.] – К.: Аграр Медіа Груп, 2011. – 612 с.
8. Гелетуха Г.Г. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная, Ю.Б. Матвеев, М.М. Жовнір // Промислова теплотехніка. – 2006. - Т. 28. - № 2. – С. 85-93.
10. 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. // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування . Серія: техніка та енергетика. – К.: НУБіП України, 2009. – Вип. 134, ч. 2. – С. 7-14.
11. Биоэнергетика: мировой опыт и прогнозы развития / [Л.С. Орстик, Н.Т. Сорокин, В.Ф. Федоренко и др.]. – М.: Росинформ агротех, 2008. – 404 с.
12. Перспективи ведучих компаній з розробок технологій та обладнання для виробництва твердого біопалива [електронний ресурс]. Режим доступу до журн.:

[www.bioesurs.com.ua](http://www.bioesurs.com.ua); [www.biotoplivo.ub.ua](http://www.biotoplivo.ub.ua); [www.pelletsgold.com/](http://www.pelletsgold.com/); [www.ick.ua](http://www.ick.ua);  
[www.alterenergy.info](http://www.alterenergy.info); [www.biofuel.in.ua/](http://www.biofuel.in.ua/); [www.bioesurs.com.ua](http://www.bioesurs.com.ua); [www.presmash.if.ua](http://www.presmash.if.ua);  
[www.ivtech.de](http://www.ivtech.de); [www.weima.com.ua](http://www.weima.com.ua);

13. Габрель М.С. Виробництво твердого біопалива в Україні: стан та перспективи розвитку/ М.С. Габрель. – Львів: Науковий вісник НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.9. – с. 126-131.

14. Федик О.Ю. Сучасний стан та перспективи розвитку ринку твердого біопалива в Україні/ О.Ю. Федик. – Інноваційна економіка. – 2012. – Вип. 9. – с. 172-176.

15. Тиайнен В.С. Преимущества прессованного биотоплива: топливные гранулы и брикеты / В.С. Тиайнен // Леспроминформ. – 2003. – №11. – С. 42–45.

17. Севастьянова С.Н. Биоэнергетика. Древесные (топливные) гранулы / С.Н. Севастьянова // Вестник Оренбургского государственного университета. – Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2009. – №10. – С. 133–138.

18. Єременко О.І. Аналіз стану та тенденції розвитку твердопаливних виробництв / О.І. Єременко, О.В. Паянок, Д.М. Усенко // Науковий збірник «Вісник Степу». - Ювілейний випуск до 100-річчя Кіровоградського інституту АПВ, ч. 2. – Кіровоград: КОД, 2012. – С. 234-240.

19. Тарасов В.П. Технологическое оборудование зерноперерабатывающих предприятий : учебное пособие / В.П. Тарасов. – Барнаул: АлтГТУ, 2002. – 230 с.

20. Долгов И.А., Попов С.И. Технология и оборудование для производства гранулированных кормов и белковых добавок // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1999, №5. - С.17-19.

21. 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.

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

23. Особов В.И. Машины и оборудование для уплотнения сено-соломистых материалов / В.И. Особов, Г.К. Васильев, А.В. Голянский – М.: Машиностроение, 1974. – 232 с.

24. Єременко О.І., Поліщук В.М., Шворов С.А. та ін. Розрахунок обладнання для отримання біопаливних пелет і брикетів: монографія. К.: НУБіП України, 2021. 248 с.

25. Штефан Є.В. Використання методів математичного моделювання для проектування вузлів преса-гранулятора / Є.В. Штефан, Д.В. Риндюк // Механіка та інформатика : зб. наук. пр. – Хмельницький: ХНУ, 2005 – С. 172–175.

26. Штефан Є.В. Визначення конструктивно-технологічних параметрів процесів переробки харчових матеріалів холодною екструзією / Є.В. Штефан, Ю.О. Заєць, Д.В. Риндюк // Комбікормова промисловість України. – 2006. – №5(18). – С. 16–20.

27. Пат. № 30058 МПК(2006), B01J2/00. Спосіб визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів преса-гранулятора / Штефан Є.В., Риндюк Д.В. – Опубл. 11.02.2008.

28. Гелетуха Г.Г. Науково-технічні засади виробництва енергії з біологічних видів палива: дис. ... д-р техн. наук: 05.14.08. Київ, 2021. 332 с.

29. ДСТУ ISO 128-1: 2005. Кресленники технічні. Загальні принципи оформлення. Ч.1. Передмова та покажчик понять стандартів ISO серії 128(ISO 128-1:2003, IDT). – К.: Держстандарт України, 2007. – 16 с.

30. Дубровін В.О. Методика розрахунку параметрів матриці твердопаливних грануляторів /В.О. Дубровін, О.І. Єременко, С.М. Виговський, Р.М. Чорний // Міжвідомчий тематичний науковий зб. «Механізація та електрифікація сільського господарства». – Глеваха: ННЦ«ІМЕСГ», 2013. – Вип. 98, т. 2. – С. 280-289.

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

32. Практимум з машин та обладнання біоенергетики: [В.О. Дубровін, В.М. Поліщук, С.Є. Тарасенко, С.В. Драгнєв]. К: Аграр Медіа Груп, 2013. 208 с.

33. Hughes, C.E., Bailey, C.D. 2019. The evolutionary history of *Leucaena*: Recent research, new genomic resources and future directions. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 7(2), 65-73.

34. Войналович О.В. Аналіз потенційних небезпек на pelletних 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.

35. Проскурня О.М. Ганус О.І. Економіка в енергетиці: навч. посібник. Харків: НТУ «ХПІ», 2012. 272 с.

36. Електронний ресурс: Техніко-економічне обґрунтування в енергетиці. Режим доступу: <http://iknet.com.ua>
37. Електронний ресурс: Техніко-економічне обґрунтування. Оцінка впливу на навколишнє середовище. Заключний звіт № 1606-69-Т7, 2015р . Режим доступу: [http://uhe.gov.ua/content/files/zakluchniy\\_zvit\\_kah2.pdf](http://uhe.gov.ua/content/files/zakluchniy_zvit_kah2.pdf)
38. Агафонова Л.Г., Рога О.В. Підготовка бізнес-плану: практикум. К.: Знання, 2001. 278 с.
39. Ярошенко І.Ф. Безпека життєдіяльності в інженерних рішеннях: навчальний посібник. Суми, Довкілля, 2003. 390 с.
40. Основи охорони праці: підручник / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін. К.: Основа, 2003. 472 с.
41. Войналович О.В. Працезохоронні засади у схемах, таблицях і графіках. К.: Основа, 2014. 142 с.
42. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці: навч. посібник. Львів: Афіша, 2000. 348 с.
43. Войналович О.В., Білько Т.О. Безпека виробничих процесів: навч. посібник. К.: НУБіП України, 2009. 100 с.
44. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник. 2-ге вид. Д.: НГУ, 2014. 271 с.
45. Справочник економіста-аграрника / Под ред. Н.П. Кононенко. К.: Урожай, 1991. 580 с.

## ДОДАТКИ



## Додаток 2. Барабан сепаруюче-пальцевий. Специфікація

| Фо        | Зон  | Поз        | Позначення            | Назва                           | К-ть                               | Примітка |
|-----------|------|------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------|
|           |      |            |                       | <b>Документація</b>             |                                    |          |
| A2        |      |            | СГМ.КПС.00.00.0000.СК | Складальне креслення            |                                    |          |
|           |      |            |                       | <b>Складальні одиниці</b>       |                                    |          |
|           |      | 1          | СГМ.КПС.05.01.0000    | Рама                            | 1                                  |          |
|           |      |            |                       | <b>Деталі</b>                   |                                    |          |
|           |      | 2          | СГМ.КПС.00.00.0001    | Палець                          | 80                                 |          |
|           |      | 3          | СГМ.КПС.00.00.0002    | Опора                           | 6                                  |          |
|           |      | 4          | СГМ.КПС.00.00.0003    | Барабан                         | 3                                  |          |
|           |      | 5          | СГМ.КПС.00.00.0004    | Опора                           | 6                                  |          |
|           |      | 6          | СГМ.КПС.00.00.0005    | Кришка                          | 6                                  |          |
|           |      | 7          | СГМ.КПС.00.00.0006    | Зірочка                         | 1                                  |          |
|           |      | 8          | СГМ.КПС.00.00.0007    | Вал                             | 1                                  |          |
|           |      | 9          | СГМ.КПС.00.00.0008    | Кришка                          | 4                                  |          |
|           |      | 10         | СГМ.КПС.00.00.0009    | Кришка                          | 4                                  |          |
|           |      | 11         | СГМ.КПС.00.00.0010    | Корпус підшипника               | 6                                  |          |
|           |      | 12         | СГМ.КПС.00.00.0011    | Вал                             | 1                                  |          |
|           |      | 13         | СГМ.КПС.00.00.0012    | Вал                             | 1                                  |          |
|           |      | 14         | СГМ.КПС.00.00.0013    | Кришка                          | 2                                  |          |
|           |      | 15         | СГМ.КПС.00.00.0014    | Труба                           | 3                                  |          |
|           |      | 16         | СГМ.КПС.00.00.0015    | Вал                             | 1                                  |          |
|           |      | 17         | СГМ.КПС.00.00.0016    | Зірочка                         | 1                                  |          |
|           |      | 18         | СГМ.КПС.00.00.0017    | Зірочка                         | 1                                  |          |
|           |      | 19         | СГМ.КПС.00.00.0018    | Зірочка                         | 1                                  |          |
|           |      |            |                       | <b>МТФ. КПС. 00.00.0000. СК</b> |                                    |          |
| Зм        | Арк. | № докум    | Підпис                | Дата                            |                                    |          |
| Розробив  |      | Косовський |                       |                                 | Літера                             | Аркуш    |
| Перевірів |      | Єременко   |                       |                                 |                                    | 2        |
| Н. контр. |      |            |                       |                                 | <b>Барабан сепаруюче-пальцевий</b> |          |
| Затверд.  |      |            |                       |                                 |                                    |          |

