

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ,  
АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 62-65

**ПОГОДЖЕНО** **ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Директор ННІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження т.в.о завідувача кафедри  
електротехніки, електромеханіки  
та електротехнологій

проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./  
вчене звання, науковий ступінь підпис

доцент., к.т.н. /РАДЬКО І.П./  
вчене звання, науковий ступінь підпис

” \_\_\_\_\_ ” 2022 р. ” \_\_\_\_\_ ” 2022 р.  
число місяць рік число місяць рік

**КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

на тему «Розроблення електротехнологічного комплексу з виготовлення  
паливних брикетів на основі електричного теплогенератора»

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(код і назва)  
Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(назва)  
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**  
д.т.н., професор Радько І.П.  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПШ)

**Керівник магістерської роботи**  
к.т.н., доцент Березюк А.О.  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПШ)

**Виконав** Форостянко Р.А.  
(ПШ) (підпис)

КИЇВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І  
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

т.в.о завідувача кафедри  
електротехніки, електромеханіки та  
електротехнологій  
к.т.н., доцент Радько І.П.  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПШБ)

„ ” 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ  
Форостянко Р.А.

Спеціальність Т41 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"  
Орієнтація освітньої програми – освітньо-наукова

Тема кваліфікаційної магістерської роботи: «Розроблення електротехнологічного  
комплексу з виготовлення паливних брикетів на основі електричного  
теплогенератора»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «01» лютого 2021 р. № 175 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру до 04 квітня 2022

Вихідні дані до кваліфікаційної магістерської роботи:

- Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
- Правила будови електроустановок (електрообладнання спеціальних установок).
- Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.
- Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- Аналіз сучасного стану виробництва альтернативного палива.
- Обґрунтування конструкції установки для виготовлення паливних брикет.
- Електромагнітний розрахунок індукційного теплогенератора.
- Моделювання процесу індукційного нагріву із складною геометрією завантаження.
- Охорона праці.

Дата видачі завдання „02” лютого 2021 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи Березюк А.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання Форостянко Р.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 67 с., 16 рис., 2 табл., 15 джерел.

**Об'єктом дослідження:** є електротехнологічний комплекс з виробництву паливних брикетів в прес екструдері.

**Предметом дослідження:** є взаємозв'язки електричних характеристик індукційного нагрівача з завантаженням індуктора та продуктивністю установки.

**Мета дослідження:** розробка проєкту електротехнологічного комплексу з виготовлення паливних брикетів на базі теплогенератора індукційного типу.

Щоб досягти поставленої мети, мені необхідно вирішити наступні задачі:

- Проаналізувати існуючі технології виготовлення паливних брикетів або гранул.
- Обґрунтувати конструктивні та режимні параметри комплексу з виготовлення паливних брикет.
- Провести розрахунок електромагнітного поля індукційного теплогенератора.
- Чисельно змоделювати процеси індукційного нагріву в технології виготовлення паливних брикет.

Опрацьовано математичну модель для обчислення електромагнітних та теплових полів трифазного індукційного теплогенератора, який є компонентом технологічної лінії для виробництва паливних брикет чи гранул. Отже в наслідок аналітичних розрахунків було визначено певні взаємозв'язки між енергетичними, режимними та конструктивними характеристиками індукційного теплогенератора.

Чисельно зображено роботу індукційного нагріву завантаження складної геометрії, в результаті якого я отримав розподіл складових теплового і електромагнітного полів вздовж екструдера.

# Зміст

## Вступ

### РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРОБНИЦТВА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА

1.1. Технологічний процес виробництва паливних гранул(брикетів) з деревини

1.2. Варіанти сушіння подрібненої деревини.

1.3. Генератори теплоти.

1.3.1. Генератори теплоти з використанням мінерального палива.

1.3.2. Генератори теплоти з використанням біопалива

1.3.3. Електричні теплогенератори

1.4. Принципи брикетування відходів деревини

### РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ

2.1. Режимні параметри установки.

2.2. Конструктивні параметри установки.

### РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ РОЗРАХУНОК ІНДУКЦІЙНОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

3.1. Розрахунок електромагнітного поля індуктора, що завантажений феромагнітною трубою.

3.2. Визначення складових електромагнітного поля

3.3. Енергетичні характеристики індуктора

### РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ ІЗ СКЛАДНОЮ ГЕОМЕТРІЄЮ ЗАВАНТАЖЕННЯ.

4.1. Принцип дії індукційного нагріву

4.2. Переваги та недоліки індукційного нагріву.

4.3. Фізичні процеси в індукційних установках та їх моделювання.

4.4. Моделювання електромагнітних і температурних полів.

### РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Класифікація приміщення за пожежною безпекою.

# НУБІП України

5.2. Охорона праці на підприємстві з виготовлення паливних брикетів

5.2.1. Загальні вимоги

5.2.2. Вимоги до організації охорони праці.

5.2.3. Освітлення.

5.2.4. Небезпечні і шкідливі виробничі чинники.

5.2.5. Пожежна безпека.

5.2.6. Охорона навколишнього середовища

# НУБІП України

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

## Вступ

На 2022 рік, з відказом від традиційних джерел енергії, використання природного газу, кам'яного вугілля, нафти як палива для опалювальних установок більше не є придатним або вигідним.

Людство рухається до енергетичної ери, і альтернативні джерела енергії стануть основною частиною отримання електроенергії та тепла. При створенні системи з використанням енергії або конверсії необхідно приділити особливу увагу екологічності, економічності та ефективності установки.

Дослідження навколишнього середовища доводять, що вуглецевий слід, який людство залишає на планеті, швидко зростає, що призведе до глобальної катастрофи, тому стандарти викидів підприємств і автомобілів у навколишнє середовище змінюються.

Введення системи оподаткування та штрафних санкцій за порушення встановлених законодавством лімітів вуглецевого сліду спонукало підприємців шукати еко-види енергії, тому в електромобільність були вкладені величезні інвестиції в напрямку розвитку та вдосконалення існуючих систем електродвигунів. З цієї ж причини були створені зелені тарифи.

Закон про альтернативну енергетику передбачає створення умов для виробництва та використання енергії альтернативними методами, що, у свою чергу, збільшить попит на сонячні батареї, вітряки приватного сектору, котли, які використовують як паливо деревину.

Тирса, сухі подрібнені гілки, відходи лісопереробки та деревообробки, які можна застосовувати для опалення або як паливо для технологічних потреб. Тому «зелений тариф» не може бути введений на повну потужність, тобто через брак коштів і непридатні для такого режиму роботи лінії електропередач. Локальні системи, засновані на принципі когенерації, збільшать потребу. В зв'язку з підвищенням чисельності КПС, збільшиться ініціатива на паливо для таких систем деревини її похідні в перспективі до 7

мільйонів метрів кубічних. КГС в зв'язку з заміщенням газу та вугілля на деревину, як ефективного та якісного пального для потреб місцевого застосування для приватного сектору так і для промислових масштабів набуває ріст, на території України так і за кордоном.

Через відмову від використання російського газу та звичне підвищення тарифів на традиційні види палива найближчим часом можливий дефіцит поширених природних мінеральних утворення. Здійснюється втілення масштабних проектів таких як Приморська 1-ша та 2-га ВЕС, Нікопольська СЕС, Юженерджі ВЕС, ближчим часом Тилігульська ВЕС, з кожним

наступним роком частка таких об'єктів зростає, але найближчим часом вони не зможуть задовольнити всі потреби населення, оскільки актуальними стають системи підключення будинкових і комунальних систем теплопостачання до місцевої тепломережі, а не до тепломережі міста.

Наприклад: дитячі садки, невеликі школи, університети переходять на системи індивідуального опалення на дровах.

Проблема, яка суттєво здорожує дрова, це транспортування до замовника, оскільки деревина є значним матеріалом і вирішенням логістичної проблеми може бути децентралізація виробництва цього пального. Для того щоб виготовити паливні брикети на місці та поблизу споживачів висувається багато вимог, таких як: дотримання технологічних умов, забезпечення низьких рівнів шуму та забруднення навколишнього середовища.

У цьому контексті перехід від застарілих типів котлів на традиційних видах палива до використання альтернативних джерел палива (наприклад, дров, брикетів, пелет, відходів деревини) для забезпечення споживачів теплом є важливим напрямком для галузі. Україна.

НУБІП України

## РОЗДІЛ 1

# НАУБІП УКРАЇНИ

### АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРОБНИЦТВА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА

#### 1.1. Технологічний процес виготовлення паливних брикетів (гранул) з деревини

Процес з виготовлення паливних брикетів, настає після попередньої підготовки обрізків деревини з лісогосподарських фірм.

У дробарку завантажують тирсу, лушпиння, кору, соломку та гілки, щоб подрібнити сировину до потрібного співвідношення (однорідна суміш схожа на борошно). Другим етапом процесу є сушіння цієї суміші в сушарці, після досягнення необхідної вологості суміш надходить до гранулятора, де за допомогою гранулятора або формується кінцевий варіант продукту (брикети, гранули, пелети).

Сировина обробляється в грануляторах і екструдерах за принципом зв'язування целюлозних волокон деревини, тобто коли целюлоза стискається, її температура підвищується і виділяється лігнін, який зв'язує частинки під час охолодження.

На виготовлення однієї тонни брикетів чи пелет іде від трьох до п'яти кубічних метрів деревних відходів. Після виходу маси або гранул у формувальну установку продукт охолоджується примусово або природною конвекцією, що необхідно, оскільки температура після виходу з форми досить висока, щоб пошкодити пакувальний матеріал або викликати опіки у людей.

Вже сьогодні заходьте в steam, і ви можете побачити деякі варіанти упаковки біля приватних котелень, наприклад, дрібні пакети, які не потребують транспортування обладнання, та більші пакети, які потребують роботизованого чи конвеєрного розвантаження.



Методика виробництва не змінювалась з моменту створення, з 1947 року, здебільшого були деякі поліпшення але в результаті саме температура, вологість і тиск основні незмінні характеристики.

## 1.2. Варіанти сушіння подрібненої деревини.

Існує багато способів видалення зайвої вологи з деревини. Видалення відбувається природним і механічним шляхом. Сушка на сонці (на відкритому повітрі) займає багато часу і запобігає випаданню великої кількості опадів, тому механічне осушення стає все більш поширеним. За допомогою механічного обладнання пилоподібну суміш можна відстоювати, видувати, віджимати, але в цьому випадку видаляється волога з поверхні матеріалу, тому для видалення внутрішньої вологи деревину нагрівають теплогенератором. В процесі краще видаляється волога.

Швидкість висихання залежить від розміру частинок суміші, оскільки висихання — це етап переходу вологи з центру зразка до його поверхні, а потім випаровується, швидкість від центру до випаровування - це швидкість висихання зразка сировина, і під час цього процесу відбувається обмін теплотою та масою. Фізичний процес, хоча його об'єм змінився, хоча не дуже суттєво.

Так як тепло підводиться різними способами, сушку поділяють на:

- 1) **Контактна** — відбувається передачею теплового потоку до матеріалу через стінку (рис. 1.1), в наслідок чого стінка нагріває матеріал і волога викидає. Час, який йде на нагрів стінки та потреба в перемішуванні матеріалу є головними недоліками такого способу сушки.

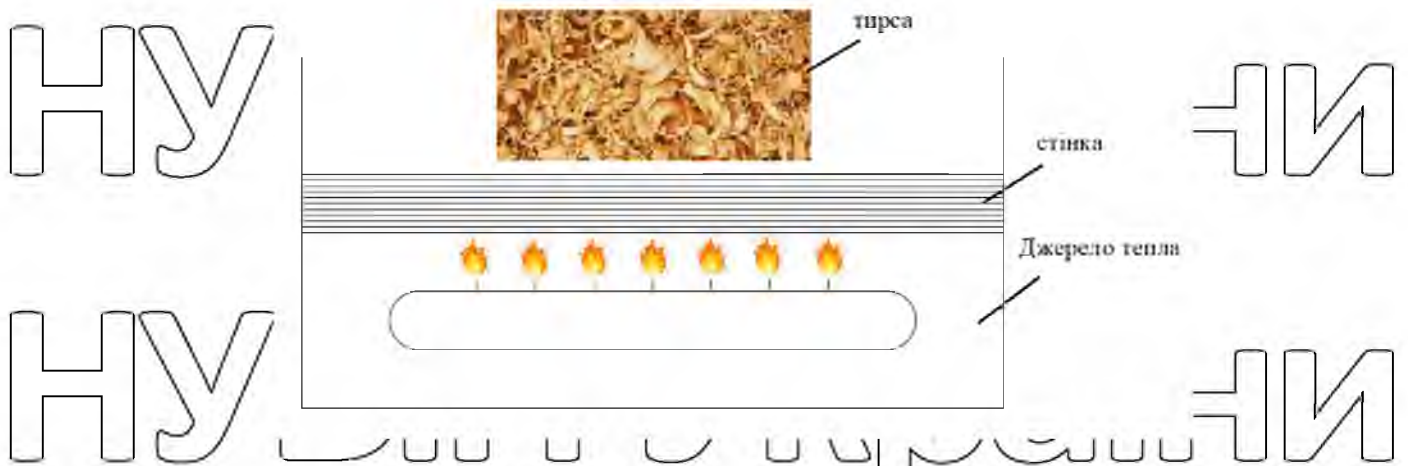


Рисунок 1.1 установка контактної сушки.

2) **Конвективна** виникає в зв'язку між деревиною, є необхідність її підсушити теплоносієм, який нагрівається від калорифера (рис 1.2). Теплоносієм виступає гаряче повітря, інертні та токсичні гази. Основний недолік системи це складність утримання температурного режиму в заданих нормах, саме дотримання умови де парціальний тиск зовні сировини має бути меншим ніж в центрі матеріалу, при такому взаємозв'язку вологість з центру деревини за рахунок тиску виводиться на поверхню де і випаровується, швидке відведення вологи з поверхні матеріалу може привести до тріскання та розсихання.

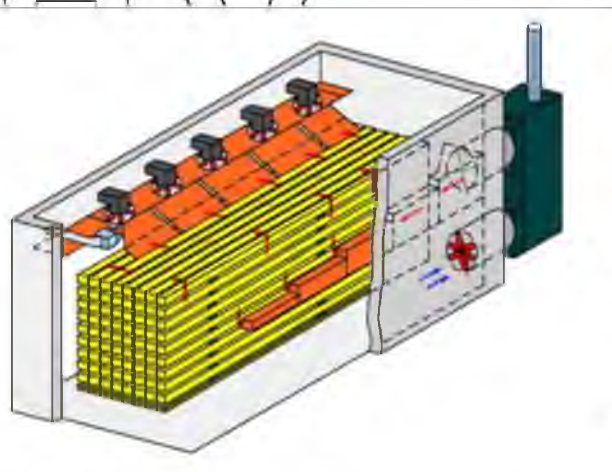


Рисунок 1.2 установка конвективної сушки.

3) **Радіаційна** установка сушіння для усунення вологи в якій застосовують інфрачервоне випромінювання, застосовують інфрачервоні промені

(рис. 1.3), рух вологи і тепла в продукті протилежно направлені, процес займає занадто багато часу і більше підходить для сушки деревини, що підготовляють для столярних майстерень та мебельних організацій, так як будова продукту не пошкоджується. Після прогріву з середини, вологість виходить назовні, та випаровується, та на відміну від конвективного способу, рівномірно. Також використання інфрачервоних променів знайшло застосування в текстильній промисловості.

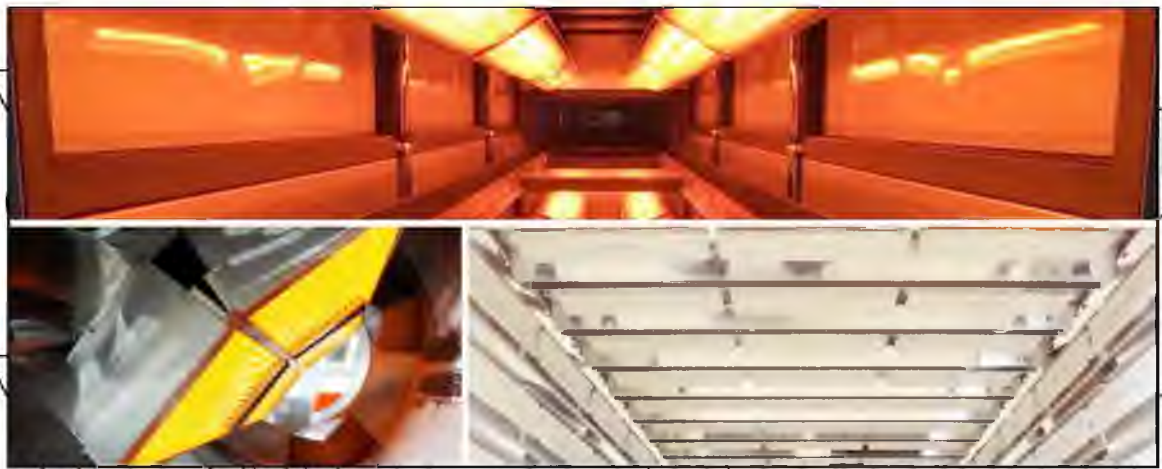


Рисунок 1.3 установка інфрачервоної сушки.

4) **Нагрів високочастотними струмами** – сушіння струмом високої частоти робиться за рахунок того, коли деревину поміщають між двома електродами по яких тече струм високої частоти, між електродами виникає магнітне поле воно діє на іони та електрони в матеріалі та змінює напрям руху, теж при зміні знаку на електроді, дипольні молекули розгочинають обертатися, неполярні молекули поляризуються. Результат цих процесів в продукті наводиться в мікро ЕРС та температура зразку підвищується, потім волога на поверхні починає випаровуватися. Програма є досить високо-інтенсивним способом сушки деревини, недоліки це складність установки та висока вартість.



Рисунок 1.4 установка з використанням струмів високої частоти.

- 5) **Індукційна** – для сушіння індуктивним способом застосовують ті ж самі закони відведення вогкості, що й при контактній сушці, відрізняється тільки установка, хоча тепло береться від металевої поверхні (стінки), нагрівається поверхня за рахунок індукції представимо, що установка для сушіння це є велика мідна котушка в яку помістили підніс з деревиною, по котушці тече струм та наводить магнітне поле, що діє на феромагнітний підніс і наводить ЕРС в ньому, тим самим нагріваючи його. (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 установка індукційної сушки

6) **Сублімація** – система, що використовує різку зміну температури, і зміну агрегатного стану вологості з послідовним вакуумом (рис. 1.6).

Продукт розміщують в герметичній камері, де проходить його охолодження до температури нижчої  $0^{\circ}\text{C}$  в центрі деревини волога кристалізується, наступним кроком є те, що в камері відкачують повітря створюючи вакуум навколо продукту, і підвищують температуру, волога яка замерзла не змінює агрегатний стан, а одразу випаровується й видаляється з деревини та розповсюджується в вакуумі. Для сушіння відходів лісового господарства цей спосіб використовувати не доцільно, як вартість готового продукту буде не рентабельною. Цей спосіб дуже набув широкого використання в хімічній галузі, для приготування сублімованих продуктів харчування, наприклад це можуть бути добові пайки для військовослужбовців.



Рисунок 1.6 установка сублімації

Агрегати сипучої сировини сконструйовані як системи тривалого використання.

Такими установками є сушарки з потском повітря, барабанні сушарки та установки з киплячим шаром. Ефективність теплообміну в таких системах

буде змінюватися в залежності від вологості в установці, сили повітряного потоку, температури теплоносія і швидкості обертів. Для зразку барабанної сушарки розглянемо установку та параметри.

**Барабанна сушарка** – металевий циліндр, що розміщений під кутом щоб при обертанні продукту завантажувались і вивантажувались самі, на зовнішній стороні циліндру закріплені опори а також шків приводу та електромотор, кут нахилу осі обертання установки від  $4^{\circ}$  –  $6^{\circ}$  (рис 17). Теж можливе здійснення перфорованих циліндрів різного діаметру, що розміщують один в одному, тому що отвори різного діаметру, окрім сушіння

можливе сортування частинок деревини. Найкраще те, що барабанна сушарка підходить для сушки подрібнених відходів деревини, розмірність частинок яких не перевищує 300 мм.

В цій установці робота теплоносія відбувається за рахунок цих засобів: димовий газ, нагріте повітря, інертний газ. Використовують для подрібнення блоків сировини та для їх змішування. На стінках гвинтової сторони все ще може переносити сировину знизу циліндра до верху для кращого та рівномірного сушіння, крім того, бічний край збільшує швидкість розвантаження продукту.

Щоб виготовити сушарку, застосовують вуглецеву сталь. Овогнетривке покриття, або їх замінюють дешевшими сплавами.

Барабанна сушарка працює за таким принципом:

Деревна тріска (попередньо подрібнена), що відправляється з ферми, завантажується в сушильний барабан за допомогою конвеєра, і на етапі завантаження параметри сушарки регулюються відповідно до показника вологості. Після встановлення параметрів починає обертатися барабан (також краще запустити осушувач повітря, щоб уникнути перевантаження двигуна на етапі запуску). При використанні димових газів підігріта теплоносій подається в завантажений барабан примусово за допомогою вентилятора і природним шляхом за допомогою витяжної системи. Завдяки контакту теплоносія з сировиною, явищу дифузії і видаленню надлишкової вологи,

волога видаляється з обладнання у вигляді конденсованої води або викидається в атмосферу разом з використанням теплоносія.

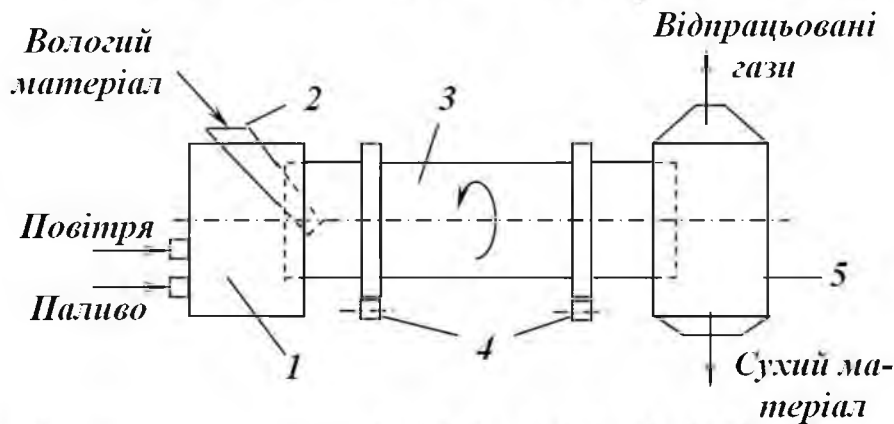


Рисунок 1.7 - схема барабанної сушарки та напрямок обертання:

1 - джерело теплоносія або місце підведення труб за когенераційною схемою, 2 - бункер для завантаження продукту, 3 - барабан для сушки, 4 - опорні механізми та місце з'єднання маховика з привідною шестернею, 5 - бункер прийому готової сировини та відведення вологи з сушарки.

### 1.3. Генератори теплоти.

#### 1.3.1 Генератори теплоти з використанням мінерального палива

Більшість сушильних установок обладнані теплогенератором. Для прискорення процесу сушіння теплоносії нагрівається за рахунок спалювання палива в теплогенераторі. Регулювати температуру можна двома способами: збільшити або зменшити кількість теплоносія всередині певний період часу. Постійна теплота згоряння або підвищення або зниження температури нагрівального теплоносія.

**Теплогенератор** - прилад, що використовується для створення теплоносія певною температурою, використовують органічне паливо або електричну енергію. Теплогенератор конструктивно виготовлений з камери згоряння пального, та теплообмінника, він також може бути обладнаний

механічними автоматичними заслінками для регулювання температури а також вентиляторами, щоб збільшити швидкість потоку теплоносія теж можуть бути встановлені радіатори для того щоб була краща тепловіддача.

В якості пального використовуються органічні палива, такі як рідке дизельне паливо, мазут, вугілля, дрова і газ. Коли паливо згорає, тепло виділяється, і воно поширюється вздовж змійовиків і через радіатор, нагріваючи теплоносії в теплообміннику, а потім виводячи у зовнішнє середовище.

Завдяки герметичному з'єднанню в теплообміннику повітря змінює лише свою температуру, тому його можна використовувати в різних галузях промисловості, навіть для опалення кімнат. Потужність теплогенератора буває: побутова чи промислова, залежить від типу установки, в чисельному еквіваленті в межах від 20 до 2000 кВт.

Основними причинами відмови від таких теплогенераторів є ціни на паливо та залишкові шкідливі викиди в атмосферу. Рішення було знайдено в установках для виробництва біопалива, оскільки це дешевше, а дослідження показують, що спалювання біопалива виділяє ті самі викиди, що й природне розкладання.

### **1.3.2 Генератори теплоти з використанням біопалива**

Теплогенератори, що використовують біопаливо замість традиційного палива, за принципом роботи нічим не відрізняються від розглянутих нами раніше видів теплогенераторів. В якості пального використовують обрізки деревини, лущиння соняху або зернових, сухе листя, горіхову шкарлупу. Основною перевагою ТГБ є те, що вартість пального порівняно з нафтопохідними та газом, що їх використовують останні 150 років.

Крім того, при спалюванні біопалива виділяється менше небезпечних речовин, що пом'якшує вимоги до використання цього пального.



Крім того, у разі погіршення погодних умов, таких як: вологість, тиск, сильний вітер, можуть перешкоджати роботі, що призводить до накопичення вибухонебезпечних газів.

Отже використання застарілих теплогенераторів відповідає нормам сучасної безпеки.

### 1.3.3 Електричні теплогенератори

Електричний теплогенератор включає в себе нагрівач, що працює від електрики. Найбільш поширені на сьогодні обігрівачі, що працюють від мережі, теплового типу. Відомо, що існують менш використовувані індукційні нагрівачі, які безпечніші і простіші в застосуванні, ніж розглянуті теплогенератори на паливі, займають менше місця і коштують дешевше, ніж газові, індукційний нагрів Теплоносій, який не вимагає герметичної камери, буде відокремлюють небезпечні продукти згоряння, а при нагріванні феромагнетика не виділяють речовини, шкідливі для навколишнього середовища або людей, тому цей тип теплогенератора є більш ефективним, ніж теплогенератори, що розглядалися раніше.

Індукційний нагрів широко використовується в багатьох галузях економіки, таких як сушка і нагрівання матеріалів, термообробка металів, стерилізація і дезінфекція, зварювання. Повітрянагрівачі можна розрізнити між приладами індукційного нагріву.

У попередньому поколінні радіаторів (дешеві дурниці китайського виробництва) використовувалися чутливі до вологи ніхромові провідники та регулятори нагріву, які постійно виходили з ладу. Тут, як і при індукції, використовується індуктор у вигляді соленоїда і феромагнітного сплаву, який нагрівається за своїми параметрами.

Індукційні системи обігріву надійніші та безпечніші за традиційні обігрівачі. Цей висновок ґрунтується на тому факті, що індуктор має хорошу ізоляцію, а виникаючі вихрові струми не впливають і не пошкоджують пристрій.

#### 1.4. Принципи брикетування відходів деревини.

Після аналізу в економічній сфері можна сказати, що все більше деревини використовується для отримання тепла як альтернативи традиційному паливу. Вчені прогнозують, що попит на альтернативні види палива буде стрімко зростати, і, виходячи з політичної ситуації, навіть не потрібно робити розрахунки, щоб знати, що ціна на нафтопродукти буде космічної, тому буде попит на відходи деревини з лісова промисловості. Підприємства, які не використовують відходи деревини, мають потребу експортувати цю сировину, і в цьому випадку доцільною буде когенераційна система, яка використовує ці відходи як паливо для опалення.

У своєму природному вигляді деревні відходи займають багато місця і виділяють дуже мало тепла, якщо спалити відразу. Для усунення цих недоліків і ефективного використання деревини рекомендується її подрібнювати, додавати при необхідності горючі речовини, а також брикети, які мають здатність більше і довше відводити тепло і більш безпечні для використання в якості палива.

**Процес вироблення брикетів**—це пресування підготовленої та подрібненої деревини певної вологості з передчасним її нагрівом.

Щоб виготовити брикет необхідно використовувати шнекові екструдери постійної дії (рис. 1.8). Ці екструдери можуть виготовляти продукцію різних діаметрів залежно від конструкції фильєри приклад (50-70 мм)в перерізі (250-300мм) довжина. Організації взяли за основу виробку брикетів квадратного січення та отвором посередині (щоб було зручніше розміщати продукт поруч з теплогенератором та в товщі, а отвір для кращого горіння) сторона квадрату 50мм та довжина 250мм, переважно цю чисельність топків в теплогенераторах виконано висотою 400мм та глибина завантаження 500мм.

Готовий продукт зберігають в сухому приміщенні, тому що при потрапінні вологи брикет починає втрачати свою цілісну структуру та починає кришитись. Суміш підготовлюють для пресування, вона повинна не

перевишувати 10%, при надлишку вологи сировину додатково відсушують а коли навпаки показник її нижче 3% то зволожують.

Основною екструдера є грубчастий металевий корпус, що звужується на кінці пристрою, поверхня якого полірована для полегшення руху сировини вздовж конічного шнека, закріпленого в середині опорного підшипника, такого ж металевого корпусу, як вал.

Шнек приводиться в рух клиновим ременем або редуктором, з'єднаним з електродвигуном.

Проходячи через екструдер, тобто рухаючись уздовж шнека, потрібна деревна сировина поступово нагрівається і стискається, а на виході з апарату проштовхується через гільзу потрібної форми діаметра, і в результаті формуються паливні брикети. Остудити і нарізати шматочками необхідної довжини.

Робоче місце (місце де продукт починає нагріватися і пересуватися до формуючої втулки), нагрів відбувається за допомогою ТЕНового теплогенератора до такої температури (320-350 °C), що стимулює процес виділення речовини—яка зветься лігнін, лігнін виділяється з деревини під час нагріву, лігнін склеює відходи.

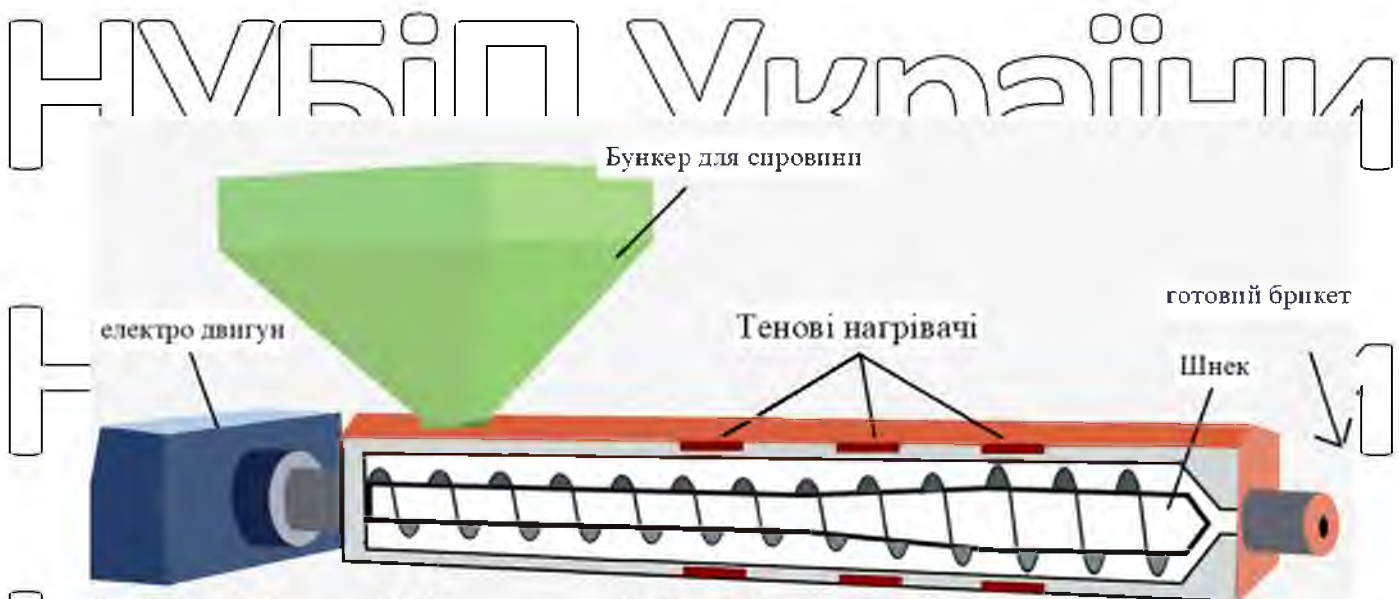


Рисунок 1.8 схема установки брикетування тирси

**Нагрівачі ТЕНового типу** – Пристрій нагріву, що виділяє тепло за рахунок того, що струм протікає через провідник та в результаті чого той нагрівається, що здійснюється за рахунок опору матеріалу. Провідник

перебуває в повністю герметичному трубному корпусі з металу, це простір між нагрівним елементом та стінками заповненими вакуумом чи

теплопровідною речовиною, для кращої теплопередачі, взагалі ТЕНові нагрівачі використовуються як нагрівальні елементи для води в бойлерах.

Нагрівним елементом якого є ніхромова нитка, вона закручена в щільну спіраль для того щоб збільшити площу для інтенсивнішого нагріву, вона

розжарюється та гріє поверхню ТЕНа.

Недоліками ТЕНових нагрівачів є: їхня не надійність, тому що оболонка окислюється та погано проводить тепло, що змушує нагрівач довше

працювати від цього стає меншим термін служби, висока ціна, унікальність

форми, що створює велику проблему при заміні ТЕНу на інший при пошкодженні.

Коли відбувся пробій чи можливе пошкодження, ізоляції з'являється ймовірність можливість бути ураженим електричним струмом (навіть коли

при незначних витоках скрізь ізоляцію це може створити дискомфорт, в

нашому випадку всі ці металеві частини обладнання ведуть до оператора процесу) при такому аварійному режимі роботи потрібно вимкнути все

обладнання.

Отже в цьому разі респектабельна заміна на індукційні нагрівні системи замість ТЕНових, монтується замітник з феромагнітного матеріалу,

простір між тілом екструдера можна заповнити термопастою якщо є небезпека пошкодження, навколо феромагнітних вставок розміщують

індуктор і якщо потрібно ще теплоізоляційний захист, це забезпечує набагато менше витрачання енергії та її зручну експлуатацію в зимовий час.

НУБІП України

НУБІ



НИ

НУБІ

НИ

НУБІ

Рисунок 1.9 ТЭНовий нагрівач.

НИ

Аналізуючи попит та пропозиції на ринку паливних матеріалів визначили середню вартість однієї тони паливних брикетів це 1000 грн, коли собівартість від 500 до 650 грн., висновок такий: виробництво приносить дохід та економить кошти підприємства.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 2

# РОЗБІР ПАРАМЕТРІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ КОМПЛЕКСНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ.

### 2.1. Режимні параметри установки .

Добре відомо, що для отримання високоякісного паливного брикету сировину, що рухається вздовж корпусу екструдера, необхідно рівномірно нагріти як зовні, так і всередині до певної температури, яка визначається в цьому процесі.

Згадаємо попередній розділ, там описано що сировина нагрівається за допомогою декількох ТЕНів які розміщені вздовж екструдера. Розглянувши недоліки цих нагрівачів, і для зменшення ризику пов'язаного з виходом обладнання з роботи, в проекті пропоную змінити ТЕНові нагрівачі на індукційні, вони є більш надійні, та з простотою конструкцією і з високим ККД, та інше. Це дозволяє забезпечувати високу стабільність технологічного процесу а також, безперервно підтримувати високу якість продукту, який виготовляється.

Після проведення порівнювального аналізу, відзначимо, що ця система типу індукційного нагріву має більш кращі енергетичні покази при порівнянні з ТЕНовими нагрівачами.

Отже, для забезпечення необхідного режиму роботи обладнання для виробництва паливних брикетів необхідно забезпечити відповідний температурний та енергетичний режим роботи. Цей стан повністю забезпечується використанням в якості джерела тепла індукційного нагривача. Для того щоб запобігти перекосу фаз, проектувати індукційне обладнання потрібно у трифазному виконанні та з рівномірним навантаженням кожної з фази (рис.2.1).

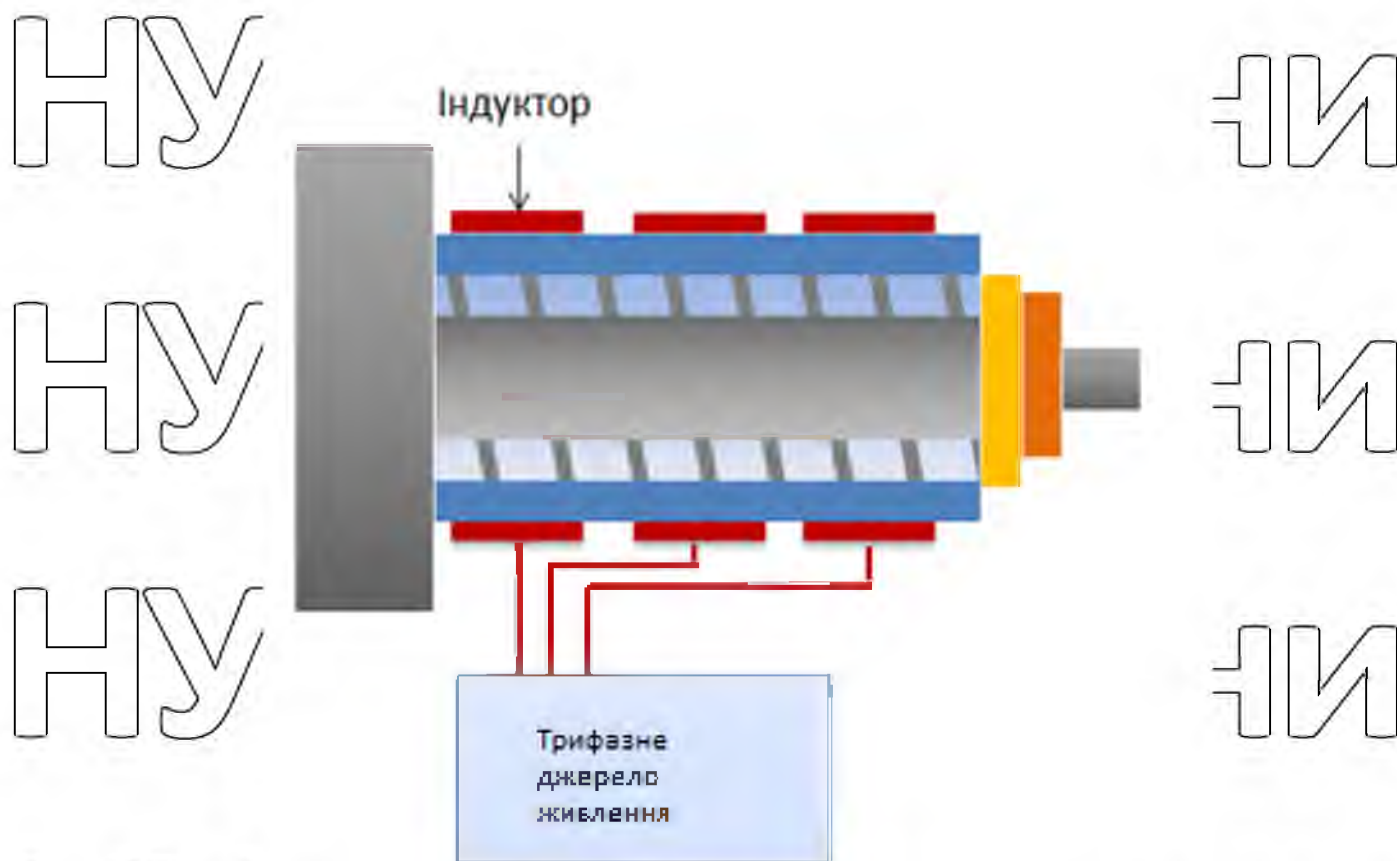


Рисунок 2.1 модель екструдера з теплогенератором індукційного типу

Переважно, під час розрахунку такої системи, процес нагрівання, переміщення і пресування продукту розглядаємо як процес постійного режиму. Робочою зоною прес екструдера є металевий корпус і шнек, а теж по секції з індукційним нагріванем, який підключають до 3-х фазного джерела живлення пофазно. Температурні явища які відбуваються під час роботи установки по виготовленню паливних брикетів, це нагрів робочої частини а саме корпусу установки, а також нагрів сировини та ще нагрів навколишнього оточення.

У звичайний шнек являє собою суцільний циліндр металу з привареним до нього суцільним лезом, тому для його нагрівання потрібно багато часу і тепла (якщо сировину завантажувати в неопалюваний агрегат, то готові брикети будуть крихкими, оскільки там не вистає лігніну в середині, сирі гранули не злипаються самі по собі).

Відмічу, що в ТЕНових нагрівачах, нагрівання буде відбуватися шляхом передачі тепла між ТЕНом та корпусом прес екструдера, де прогріватися буде сировина, та згодом прогріється і сам шнек прес екструдера, під час індукційного нагріву, теплота буде виділятися в сам корпус, за рахунок енергії магнітного поля.

Розглянемо прикладні рівняння щоб детально зрозуміти процеси нагрівання:

$$dQ_1 = dQ_{н.с} + dQ_{с.з} + dQ_{с.п} \quad (2.1)$$

$$dQ_{с.з} = dQ_{н.з} + dQ_{в.в} + dQ_{з.к} + dQ_{з.п} \quad (2.2)$$

$$dQ_{с.п} + dQ_{з.п} = dQ_{н.д} + dQ_{п.к} \quad (2.3)$$

$$dQ_{з.к} = dQ_{н.к} + dQ_{н.і} + dQ_{і.о} \quad (2.4)$$

таким чином:

$Q_1$  – теплота, що виділена феромагнітними елементами;

$Q_{н.с}$  – тепло яке йде до збільшення температури нагрівального елемента;

$Q_{с.з}$  – тепло, що переходить до сировині від нагрівального елемента;

$Q_{с.п}$  – тепло повітря у просторі між частинками сировини;

$Q_{н.з}$  – тепло, необхідне для нагріву сировини для підвищення температури;

$Q_{в.в}$  – витрата теплоти для нагрівання та випаровування вологи з сировини;

$Q_{з.п}$ ,  $Q_{з.к}$  – тепло яке передається від сировини і до корпусу установки;

$Q_{н.п}$  – втрата тепла для нагріву повітря між частинами сировини;

$Q_{п.к}$  – тепле повітря яке передається від корпусу прес екструдера;

$Q_{з.к}$ ,  $Q_{н}$  – тепле повітря що передається корпусу прес екструдера;

$Q_{н.к}$ ,  $Q_{н.і}$  – втрата теплоти для нагріву корпусу установки і самого індуктора;

$Q_{і.о}$  – тепло яке виходить в навколишнє середовище.



Цей об'єкт складається з чотирьох складових, саме з термічних ємностей. Тому що стінки обладнання тонкі, градієнти температурного переходу матеріалу з якого зроблені стінки є незначними то ними можна нехтувати. В камері з сировиною температурне поле рівномірне, зовні та в середині температура однакова, тепло підведення постійне за умови руху і переміжку сировини лопатями, ефект випромінювання, провідності між шнеком в просторі і конвекцією пересування враховуємо коефіцієнт теплопередачі:

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha_k + \alpha_\lambda + \alpha_v; \quad (2.5)$$

де коефіцієнт:

$\alpha_\lambda$  – теплообмін теплопровідністю;

$\alpha_v$  – теплообмін випромінюванням;

$\alpha_k$  – теплообмін конвекцією.

Коефіцієнт еквівалентного теплообміну визначається ось так:

$$\alpha_{\text{эф}} = \frac{1}{\frac{\delta_1}{\lambda_k} + \frac{\delta}{\lambda_p} + \frac{\delta_n}{\lambda}}; \quad (2.6)$$

$\lambda_k$  – теплопровідність за наявності конвективного потоку повітря крізь шар дисперсного матеріалу;

$\lambda_p$  – радіаційна теплопровідність;

$\lambda$  – теплопровідність контактного шару;

$\delta_1$  – половина проміжку між лопатями;

$\delta$  – товща повітряного шару.

Визначають коефіцієнт за такими формулами:

$$\lambda_k = \frac{q\delta}{t_2 - t_1}; \quad (2.7)$$

$$\lambda_p = \frac{3,46 X t_{cp} d (3m \varepsilon_n + (1-m) \varepsilon_u)}{1 + (1-m)(1-\varepsilon_u)} \quad (2.8)$$

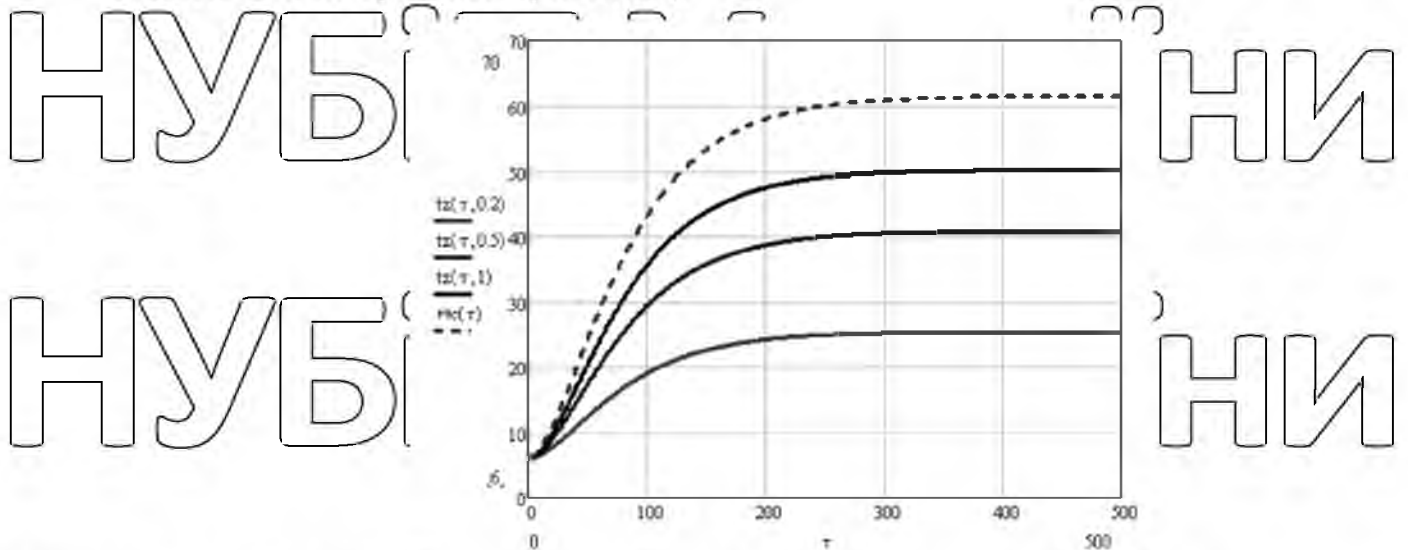
де  $q$  – інтенсивність від стержня теплового потоку;

$(t_2 - t_1)$  – різниця відстані між матеріалом та температурою нагрівача  $2/\delta$  ;

$d$  – діаметр частин сировини,  
 $n$  – порозність шару;  
 $\varepsilon_n, \varepsilon_u$  – матеріал та ступінь чорноти сировини,

$t_{cp}$  – середня температура матеріалу,  $t_{cp} = (t_2 - t_1) 0,5$ .

Для описання процесу нагріву, ми опираємось на рівняння теплового балансу за допомогою диференціальних рівнянь в роботі [1] та отримуємо результат. В підсумку можемо сказати, з початку завантаження матеріалу в бункер та по мірі просування до вихідного отвору, температура та вологість змінюються за графіком (рис.2.1.1).



Рисунк 2.1.1 Графік залежності температури відходів часток деревини в часі та від відстані 0.5, 0.2, і 1 м від завантажувальної горловини [1].

НУБІП України

На (рис.2.2) бачимо три зони температури:

1- Перша це зона завантаження, сюди потрапляє сировина вологістю не більш ніж 10% та температурою яка відповідає температурі навколишнього середовища, для прикладу 20 °С.

2- Друга це зона нагріву сировини, в якій температура робочої зони піднімається з 180 і доходить до 350°С (залежно від вибору сировини чи це тирса, лушпиння або солома).

3- Третя це зона формування готового продукту це місце де при тиску 1-1,2 т/м<sup>3</sup> формується брикет та охолоджується при виході з прес-екструдера.

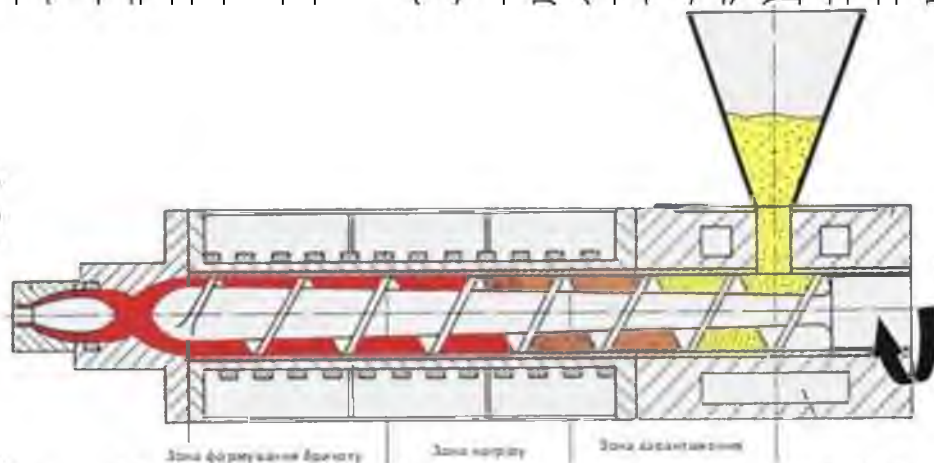


Рисунок 2.2 три температурні зони прес-екструдера.

## 2.2. Конструктивні параметри установки.

Параметри приладу з використанням індукційних і ТЕНових нагрівачів майже не відрізняється, відбувається заміна лише в місці приєднання до екструдера нагрівальних елементів) для прикладу візьмемо установку EB-350 та розглянемо технічні можливості системи.

В таблиці (2.1) приведені технічні характеристики приладу для брикетування.

# НУБІП України

Таблиця 2.1.

Технічні характеристики установки (ЕВ-350).

Найменування параметру	Одиниця виміру	Величина параметру
Продуктивність:	кг/год	300-350
Вологість відходів:	%	10
Потужність:	кВт	53
Температура нагріву робочої зони:	°С	180-350
Розміри брикетів :		
Січення:	мм	50'50
Довжина:		300
Довжина частинок подрібненої маси вздовж волокон:	мм	8
Густина брикету:	т/м <sup>3</sup>	1,1
Теплотворна здатність:	ккал/кг	3500-4500
Ємність бункера:	м <sup>3</sup>	1,5
Частота обертання шнека:	хв	600
Вага:	кг	1350

Передбачено процес виготовлення та регулювання, де регулювання забезпечується зі встановленням редуктора або варіатора для того щоб змінити швидкість обертання валу до якого приєднують шнек.

Отже відбувається наступне а саме регулювання продуктивності установки. Коли шнек обертається то він пересуває з 1-ї до 3-ї зони нагріву і після того відбувається кінцевий процес пресування для формування брикету.

За нормами виробництва пресованих волокнистих матеріалів використовують прес екструдери з такими діаметрами шнека:

45,60,75,90,105,120,150 і 175мм. Загалом довжина шнеку складає від (24-х до

30-ти) діаметрів циліндру, незначне збільшення довжини тільки на 6

діаметрів призвело до росту продуктивності аж на 20 %, а ще коли збільшили

довжину зростає плавність прогріву та якість сировини. Під кутом 17-20°

зварюють доплаті шнека, кут підйому гвинтового каналу прес екструдера до осі обертання. Нарізка і довжина ділянки залежать від виду сировини, глибина пазу в зоні загрузки на 2,5-3,5 рази більша чим в зоні видавлювання.

А в зоні стискання, глибина пазу потроху зменшується від максимальної до мінімальної, і в зоні видавлювання, глибина каналу складає (0,04-0,05) від загального діаметру. Таке конструктивне виконання забезпечує максимальне заповнення робочого простору також знижує можливість коливання шнеку, внаслідок чого забезпечує рівномірне формування для брикету [5].

За цією формулою обчислюємо продуктивність прес екструдера (2.9).

$$Q = \pi^2 DH(D - H)n \frac{\operatorname{tg}\Theta \operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\Theta + \operatorname{tg}\varphi}, \quad (2.9)$$

Де бачимо, що:

Q – це продуктивність екструдера;

D – це діаметр циліндра (внутрішній);

H – це глибина гвинтового каналу;

n – це частота обертів шнеку;

$\Theta$  – це кут транспорту сировини, відносно осі шнека;

$\varphi$  – це кут підйому гвинтового каналу прес екструдера.

Взявши дані від виробника, геометричні параметри екструдера EB-350 (рис 2.2) становлять:

- довжина установки- 3 350мм (без ріжучого механізму);  
3 800мм (з ріжучим механізмом);
- ширина установки- 1 200мм;
- висота- 2 250мм;
- діаметр філь'єри- 50мм;
- діаметр шнеку- 150мм;
- довжина шнеку- 1250мм.

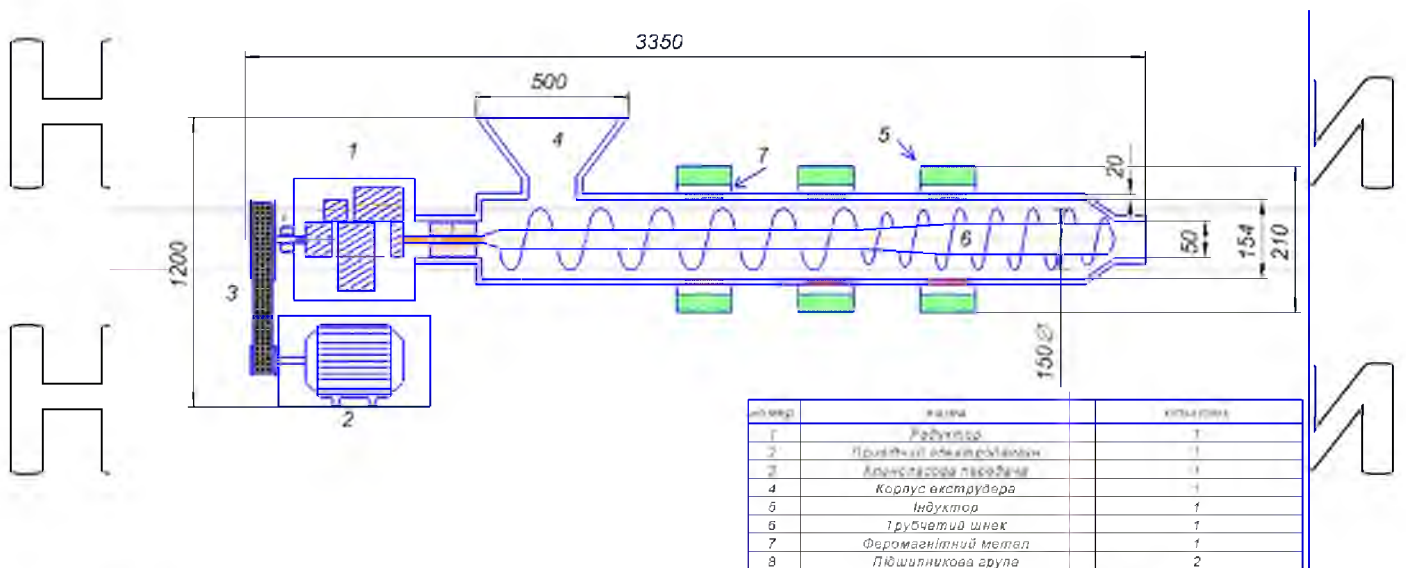


Рисунок 2.3 Екструдер та його розміри.

Щоб уникнути зниження температури і заощадити місце, нагрівальні елементи встановлюються впритул, щоб температура піднімалася плавно.

Вплив індукційного нагрівача визначається умовами, необхідними для процесу, і параметри робочого режиму індуктора можна регулювати, тому розрахунок може бути приблизним, а середнє значення можна вивести на практиці.

Наступним кроком є розгляд трифазного індукційного теплового генератора поздовжнього магнітного поля, який реалізується звичайними соленоїдами, зазвичай званими циліндричними індукторами.

# НУБІП України

## РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ РОЗРАХУНОК ІНДУКЦІЙНОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

### 3.1. Розрахунок електромагнітного поля індуктора, що завантажений феромагнітною трубою.

# НУБІП України

Розглядаємо електромагнітне поле, індуктора циліндричного типу з  
одною довгою феромагнітною трубою та корпус прес-екструдера.

Розглянемо трифазний циліндричний індуктор, який нагріває  
феромагнітну трубку до температури нижче магнітного переходу. Тобто при  
нагріванні, магнітні властивості металу залишаються незмінною.

Представимо, що (трифазний циліндричний індуктор) складається з  
трьох секцій, які стоять одна від одної за рівної відстані та кожен секцію  
підключено на окрему фазу, при цьому послідовне вмикання фаз, відповідає  
схемі біжучого магнітного поля (рис.3.1)

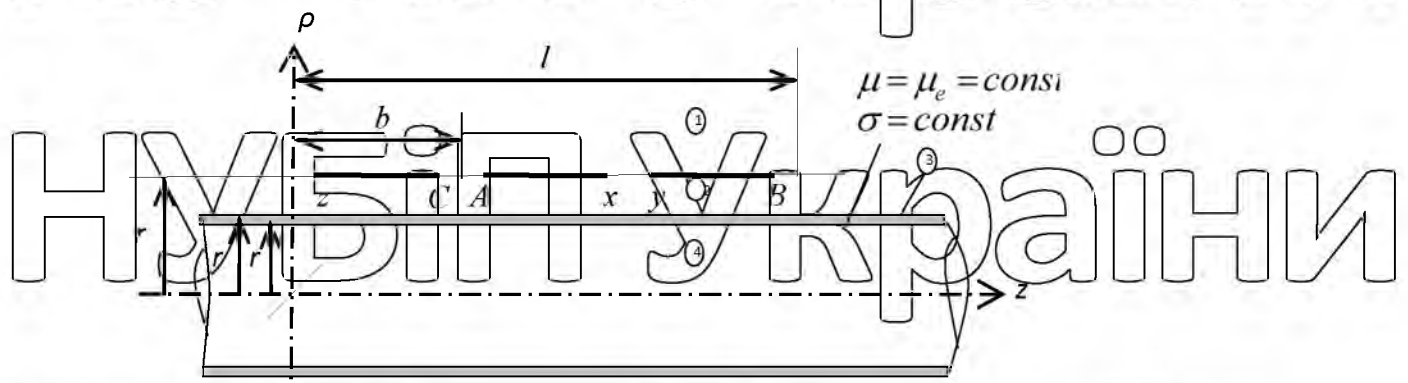


Рисунок 3.1 Трьох-фазний циліндричний індуктор

Корпус прес-екструдера розглядається нескінченно довга феромагнітна  
труба, зовнішній радіус-  $r_2$  та внутрішній-  $r_3$ .  
Спростуємо рівняння які описують електромагнітний процес, розподіл  
електромагнітного поля а також джерел теплоти отже прийемо магнітну

проникність феромагнітної труби сталюю, в перерізі та повздож. Величину магнітної проникності, ми визначимо по осередненій величині напруженості магнітного поля на поверхні труби згідно магнітної характеристики металу який гріється-  $\mu_e$ .

На підставі системи рівнянь Максвела розраховуємо електромагнітне поле циліндричного індуктора:

$$\text{rot}\mathbf{H} = \mathbf{j}; \quad \text{rot}\mathbf{E} = -\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}; \quad \text{div}\mathbf{B} = 0, \quad (3.1)$$

та матеріальних рівнянь:

$$\mathbf{j} = \sigma\mathbf{E}; \quad \mathbf{B} = \mu\mathbf{H}, \quad (3.2)$$

звідси  $B$ ,  $H$ ,  $E$ ,  $j$  - це вектори магнітної індукції, електричного поля та напруженості магнітного поля також густини струму;

$\sigma$ ,  $\mu$  - це питома електропровідність та магнітна проникність матеріалу труби, які є сталими для цієї задачі. Також за для того щоб спростити вихідні рівнянь, що описують електромагнітний процес в провідному середовищі, тож будемо приймати магнітну проникність, феромагнетику сталюю по всій довжині перерізу труби, та рівною значенню магнітної проникності на зовні-

$\mu_e$ .

У вигляді нескінченно тонкого струмового шару представлено обмотку індуктора, яку зосереджено у внутрішній поверхні ( $z = 2r_1$ ):



$$I_0 = \exp(i\omega t) \left\{ I_{mA} \frac{w_A}{a} \left[ \Theta \left( z - \frac{l}{2} + \frac{a}{2} \right) - \Theta \left( z - \frac{l}{2} - \frac{a}{2} \right) \right] + I_{mB} \frac{w_B}{a} \left[ \Theta \left( z - \frac{l}{2} - b + \frac{a}{2} \right) - \Theta \left( z - \frac{l}{2} - b - \frac{a}{2} \right) \right] - I_{mC} \frac{w_C}{a} \left[ \Theta \left( z - \frac{l}{2} + b + \frac{a}{2} \right) - \Theta \left( z - \frac{l}{2} + b - \frac{a}{2} \right) \right] \right\}, \quad (3.3)$$

Де бачимо:

$I_{mA}, I_{mB}, I_{mC}$  - це комплексні амплітуди струмів по фазах;

$\omega = 2\pi f$ ,  $f$  - це частота;

$a$  - це довжина намотки індукторів;

$b$  - це довжина фазної зони;

$w_A, w_B, w_C$  - це кількість витків у фазах;

$\Theta(\cdot)$  -це (одинична) узагальнена функція.

Для циліндричної системи координат (рис 3-1) виділяємо чотири зони: перша це зона над індуктором, друга це зона під індуктором, третя це зона яка займає тіло труби та четверта це зона в середині труби, немагнітний матеріал це сировина, маємо рівняння для азимутальної складової магнітного векторного потенціалу:

$$\frac{\partial^2 A_\varphi}{\partial \rho^2} + \frac{\partial^2 A_\varphi}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 A_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial A_\rho}{\partial \varphi} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial A_\varphi}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho^2} A_\varphi = \mu \sigma \frac{\partial A_\varphi}{\partial t}, \quad (3.4)$$

Прийнято, що труба та індуктор мають ідеальні форми кола отже, похідні по азимутальній складовій в рівнянні (3.4) мають дорівнювати нулю, а струм індуктора, зосереджено на межі нескінченно тонкого струмового шару та лінійна щільність якого відповідає справжньому струму який міняється за гармонічним законом. Враховуючи останні зміни рівняння (3.4) прийме наступний вигляд:

$$\frac{\partial^2 A_{\varphi m}}{\partial \rho^2} + \frac{\partial^2 A_{\varphi m}}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial A_{\varphi m}}{\partial \rho} - \left( \frac{1}{\rho^2} + i\mu\sigma\omega \right) A_{\varphi} = 0, \quad (3.5)$$

Далі індекси  $\varphi$  та  $m$  при векторному магнітному потенціалі не пишемо, маємо на увазі, що річ йде про амплітудне значення азимутальної складової векторного магнітного потенціалу.

Щоб розв'язати рівняння (3.5) ми скористалися інтегральними перетвореннями в скінченних межах по координаті  $z$  ( $0 < z < l$ ,  $l = 3b$ )

граничні умови  $A_{\varphi}|_{z=0} = A_{\varphi}|_{z=l} = 0$  яке відповідає реальним умовам.

Інтегральне перетворення зводимо до зміненого (рівняння Бесселя):

$$A = C_s I_1(\eta\rho) + C_q K_1(\eta\rho), \quad (3.6)$$

Врахуємо обмеженість магнітного векторного потенціалу в нескінченності ( $\rho \rightarrow \infty$ ) також рівність магнітного векторного потенціалу нулю на осі симетрії ( $\rho = 0$ ), маємо наступні розв'язки:

$$\begin{aligned} \bar{A}_1 &= C_1 K_1(p\rho), & \rho > r_1 \\ \bar{A}_2 &= C_2 I_1(p\rho) + C_3 K_1(p\rho), & r_1 > \rho > r_2 \\ \bar{A}_3 &= C_4 I_1(\eta\rho) + C_5 K_1(\eta\rho), & r_2 > \rho > r_3 \\ \bar{A}_4 &= C_6 I_1(p\rho), & \rho < r_3 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Далі розв'язання задачі полягає в тому щоб знайти постійні інтегрування  $C_1 - C_6$ , для чого записуємо шість рівнянь які випливають з граничних умов, на границях розмежування виділених областей, рівність нормальних складових магнітної індукції ( $B_{\rho}^- = B_{\rho}^+$ ) і рівність тангенціальних складових напруженості магнітного поля на границях, тут струмовий шар відсутній  $H_z^- = H_z^+$  і стрибок напруженості магнітного поля на границі де присутній струмовий шар  $H_z^+ - H_z^- = I_0$ .

### 3.2. Визначення складових електромагнітного поля.

Переходимо від векторного магнітного потенціалу, до складової електромагнітного поля та бачимо такі граничні умови:

$$\bar{A}_1 = \bar{A}_2, \quad r = r_1$$

$$\left( \frac{d\bar{A}_2}{dr} + \frac{1}{r_1} \bar{A}_2 \right) - \left( \frac{d\bar{A}_1}{dr} + \frac{1}{r_1} \bar{A}_1 \right) = \bar{I}_0, \quad r = r_1;$$

$$\bar{A}_2 = \bar{A}_3, \quad r = r_2;$$

$$\mu_e \left( \frac{d\bar{A}_2}{dr} + \frac{1}{r_2} \bar{A}_2 \right) = \mu_0 \left( \frac{d\bar{A}_3}{dr} + \frac{1}{r_3} \bar{A}_3 \right), \quad r = r_2; \quad (3.8)$$

$$\bar{A}_3 = \bar{A}_4, \quad r = r_3;$$

$$\mu_0 \left( \frac{d\bar{A}_3}{dr} + \frac{1}{r_3} \bar{A}_3 \right) = \mu_p \left( \frac{d\bar{A}_4}{dr} + \frac{1}{r_3} \bar{A}_4 \right), \quad r = r_3;$$

На зразку розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь ( 3.7) ми не можемо отримати кінцевий вираз для розподілення складової магнітного векторного потенціалу в області два (тіло труби) згідно (рис.3.1) :

$$A_{\varphi 2} = \sum_{k=1}^{\infty} \bar{A}_2 \sin(p_k z) = -\frac{4\mu_0}{al} \sum_{k=1}^{\infty} r_1 K_1(p_k r_1) L_k T_k \sin\left(p_k \frac{a}{2}\right) \sin(p_k z), \quad (3.9)$$

Де  $T_k, L_k, M_k, N, Q$ , - прийняті коефіцієнти.

Розподіл векторного магнітного потенціалу дає нам можливість визначити для осі симетричної постановки всі складові електромагнітного поля. Зобразимо формулу для того щоб визначити розподіл індукції

магнітного поля за довжиною в області два за (рис.3. 1):

$$B_{z2} = \sum_{k=1}^{\infty} (-I_0 \mu_0 r_1 K_1(p_k r_1) p_k (I_0(p_k \rho) - M_k K_0(p_k \rho))) \sin(p_k z), \quad (3.10)$$

На зразку розв'язання (3.9) знаходимо ЕРС з кожної фаз (трифазного індуктора) який вклучено у відповідності до схеми за (рис.3. 1), по формулі:

$$e = 2\pi r \frac{w}{a} \int_{z_2}^{z_1} E_{\varphi 2} dz, \quad (3.11)$$

Де:

$E_{\varphi 2} = -i\omega A_{\varphi 2}$  визначається на поверхні індуктору.

Для з'єднанні фаз по схемі "зірка" задля симетричної системи лінійних напруг за другим законом Кірхгофа, в загальному випадку несиметричного кола записуємо так:

$$U_{AB} = U = I_{mA} r_{обA} - I_{mB} r_{обB} + e_A - e_B, \quad (3.12)$$

$$U_{BC} = U \exp(-2i\pi/3) = I_{mB} r_{обB} - I_{mC} r_{обC} + e_B - e_C, \quad (3.13)$$

Де:

$r_{об}$  - це активний опір обмотки в кожній фазі.  $A, B, C$ .

За першим законом Кірхгофа ми ці рівняння додаємо:

$$I_{mA} + I_{mB} + I_{mC} = 0, \quad (3.14)$$

Та отримуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь (3.12), (3.14) відносно

струмів по фазах

# НУБІП України

## 3.3. Енергетичні характеристики індуктора.

Легко знаходимо значення опорів по фазах для наступної послідовної заступної схеми трифазного індуктора:

$$z_A = e_{mA} / I_{mA}, \quad z_B = e_{mB} / I_{mB}, \quad z_C = e_{mC} / I_{mC}, \quad (3.15)$$

потужність фаз А, В, С:

$$S_A = (z_A + r_{обA}) I_{mA} I_{mA} / 2,$$
$$S_B = (z_B + r_{обB}) I_{mB} I_{mB} / 2, \quad (3.16)$$

$$S_C = (z_C + r_{обC}) I_{mC} I_{mC} / 2.$$

Розподіл потужності яка виділяється вздовж завантаження, ми дізнаємося за величиною питомої поверхневої потужності  $z = r_2$ ,

$$P_H = \operatorname{Re}(E_z H_{z_2}^*), \quad (3.17)$$

де\* - цей знак означає спряження.

Вище було зазначено, в трифазному індукторі кожна фаза обмотка знаходиться в неоднорідному стані. Тому виникає різниця в загальному ступеня навантаження, її потрібно враховувати при розробці проекту.

За допомогою цієї математичної моделі можна розрахувати енергетичні характеристики трифазного індукційного теплогенератора з живленням від джерела живлення заданої частоти. У разі нагрівання осесиметричного феромагнітного навантаження розрахунок виконується за алгоритмом, суть якого полягає у визначенні спочатку складової електромагнітного поля

режиму спокою, тобто при заданому значенні проникності. У зв'язку з цим розраховується значення напруженості магнітного поля на навантажувальній поверхні циліндричного індуктора і встановлюється інше значення магнітної проникності. Потім, після отримання значення проникності, порівняйте його з попередньо визначеним значенням  $i$ , отримавши різницю між цими значеннями, використовуйте метод послідовної апроксимації (або інший метод), щоб встановити значення проникності, яке відповідає. Оберіть основну криву намагніченості для режим потужності.

Конструкція цього трифазного індукційного теплогенератора (коли обмотки трифазних індукторів намотані вздовж загального феромагнітного сердечника) передбачає, що обмотки окремих фаз трифазного індуктора знаходяться в неоднорідному стані. У зв'язку з цим виникає відхилення сумарного значення опору фаз навантаження, яке необхідно враховувати при проектуванні таких систем.

Нижче в (табл. 3.1) представлені такі енергетичні характеристики трифазного індуктора, при різному режимі живлення для нагрівання феромагнітної труби та (корпусу прес-екструдера) із діаметром 174мм і товщина стінки 20мм до встановленої температури нижче точки Кюрі.

Таблиця 3.1

**Енергетичні характеристики трифазного індуктора для різних режимів живлення**

$U$ , В	$I_A$ , А	$I_B$ , А	$I_C$ , А	$P_A$ , кВт	$P_B$ , кВт	$P_C$ , кВт	$P_{\text{заг}}$ , кВт	к.к.д. %
200	11,2	11,05	13,04	3,59	3,7	4,09	11,4	97
150	7,8	7,75	9,3	1,99	2,1	2,29	6,2	94
100	4,69	4,67	5,67	0,81	0,85	0,95	2,58	95

Враховуючи, що значення проникності окремої феромагнітної трубки нелінійно залежить від величини магнітного поля, компоненти електромагнітного поля виконуються в ітераційному процесі розрахунку.

Цей метод прогнозує обчислення значень послідовної схеми заміщення а саме її:

- обчислення комплексного опору яке вноситься для індуктора з феромагнітною загрузкою (жмут феромагнітних труб):

$$Z_{mn} = n Z_{m1} + Z_{xx} (n-1), \quad (2.27)$$

Де:

$Z_{m1}$  - це комплексний опір, що вноситься для індуктора з феромагнітною загрузкою та має вигляд одиничної феромагнітної труби:

$Z_{xx}$  - це комплексний опір індуктора який немає феромагнітної загрузки;

$n$  - це чисельність феромагнітних циліндричних труб призагрузці.

- Проведемо розрахунок активного опору обмотки індуктора

$$r_{об} = \frac{\rho l}{S}, \quad (2.28)$$

Де:

$\rho = 0,0205, \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$  - це питомий опір мідного проводу при нагріві його до температури  $50^\circ\text{C}$ ;

$l = 2\pi r_1 w$  - це довгість проводу обмотки (м);

$S = \frac{\pi d_{np}^2}{4}$  - це площа (поперечного перерізу) проводу обмотки індуктора ( $\text{мм}^2$ ).

Таким чином, після того коли врахували опори на схемі заміщення потрібно зробити розрахунок енергетичних характеристик теплогенератора індукційного типу. саме струм індуктора ми розрахуємо за цієї формулою:

НУБІП України

$$I_{ind} = \frac{U}{Z_m + r_{об}} \quad (2.29)$$

бачимо, що:

$Z_m$  - це комплексний опір;

$r_{об}$  - це активний опір.

НУБІП України

Розрахуємо потужність індуктора, вона складається з активної та реактивної складових, розраховуємо по формулі:

НУБІП України

$$S = UI^* \quad (2.30)$$

Активною складовою по формулі (2.30) індуктора являється дійсна частина повної потужності та знаходиться по формулі:

НУБІП України

$$P = \text{Re}(S) \quad (2.31)$$

Реактивною складовою індуктора по формулі (2.30) визначення якої проводимо для встановлення необхідної кількості компенсуючих предметами

а також їх потужності. Дана складова демонструє уявну частину повної потужності та знаходиться по формулі:

НУБІП України

$$Q = \text{Im}(S) \quad (2.32)$$

Для визначення коефіцієнту потужності індуктора необхідно враховувати її повну активну й реактивну потужності:

НУБІП України

$$\cos \varphi = \frac{P}{|S|} \quad (2.33)$$

НУБІП України

Визначення (ККД) виконуємо по такій формулі:



# НУБІП України

$$\eta = \frac{P - r_{\phi 6} \cdot I_{\text{ind}} \cdot I_{\text{ind}}^*}{P} \quad (2.34)$$

Після обчислення ми отримали такий результат:

# НУБІП України

1-зовнішній діаметр завантаження, маємо  $d_{\text{зав}} = 174 \text{ мм}$ ;

2-діаметр індуктора, маємо  $d_{\text{ind}} = 194 \text{ мм}$ ;

3-кількість витків в обмотці, маємо  $w = 60$ , що виготовлена трубкою  $14 \times 16 \times 2 \text{ мм}$ ;

# НУБІП України

4-навантаження індуктора, маємо  $I = 11 \text{ А}$ ;

5-індуктор бере живлення з мережі, частота якої  $f = 50 \text{ Гц}$  та напругою  $U = 380 \text{ В}$ ;

# НУБІП України

6-активна потужність індуктора,  $P = 11,5 \text{ кВт}$ ;

7-(ККД)  $\eta = 97\%$ .

Збільшення інтенсивності нагріву та покращення енергетичних характеристик індукційного теплогенератора важливим фактором буде вибір прийняттого режиму роботи теплогенератора. Режим роботи вибирається шляхом аналізу можливих температурно-часових характеристик теплового процесу.

# НУБІП України

Отже щоб отримати зазначені характеристики, потрібно зробити тепловий розрахунок. В зв'язку з цим, вимоги щодо точності проекту та розрахунків нагрівальних установок збільшуються [20]. Для теплового розрахунку потрібно врахувати таких чинників, що впливають на якість нагрівання феромагнітної загрузки, отже:

# НУБІП України

- заміну інтенсивності магнітного поля по всій відстані загрузки індуктора;
- присутність теплової втрати з поверхні індуктора;

взаємозв'язок теплофізичних властивостей матеріалу загрузки  
індуктора від значень температури;  
– заміну потужності під час нагріву;  
– змога регулювання потужності при керуванні швидкості нагрівання

[10, 19].

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НАЛИВНИХ БРИКЕТ.

## 4.1. Принцип дії індукційного нагріву.

Індукційний нагрів – процес нагрівання чи розплаву металу електричним струмом, який тече по тілу металу, створено цей струм змінним магнітним полем куди примостили металеву частину.

Коли метал перебуває під дію магнітного поля наводиться ЕРС яка створює власне магнітне поле, що створюватиме вихрові струми, кінцевим результатом буде, що метал нагріватиметься вихровими струмами (так званім джоулевим теплом).

Цей тип індукційного нагрівача являє собою трансформатор, в якому індуктор є первинною обмоткою, а металевий зразок – вторинною, а проміжок між ними заповнений повітрям або магнітопроникним корпусом.

Якщо розглядати процес більш детально, то індукційний нагрів - це нагрівання поверхневих шарів металевого зразка вихровими струмами, які виштовхуються на поверхню магнітним полем (скін-ефект), при цьому нагрівається основна частина металу і внутрішні шари. Оза рахунок теплопровідності, теплопередачі через матеріал.

Щоб обчислити товщину шару (скін-шару в мм) де відбувається нагрів використовуємо формулу:

$$\Delta = 10^3 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \mu_0 \pi f}}$$

## 4.2. Переваги та недоліки індукційного нагріву

Назвемо переваги:

- Швидке нагрівання і плавлення струмопровідних матеріалів.

- Можливість нагрівання в різному середовищі або в ізольованих камерах зі скла або пластику.

- Отримання чистих сплавів.

- Швидке зварювання.

- Термообробка металу.

- Простота встановлення та використання

Назвемо недоліки:

- Необхідний кваліфікований персонал для виготовлення та налагодження обладнання.

- Якщо розташування відрізняється від розрахункового (індуктора з запчастиною) то нагріти зразок потрібно використати велику потужність, навіть більшу ніж при використанні ТЕНа при прямому контакті.

- Довготривалий режим роботи індуктора потребує охолодження: повітряного або рідинного.

#### 4.3. Фізичні процеси в індукційних установках та їх моделювання.

Для обчислення фізичних явищ в системах індукційного нагріву із застосуванням струмів високої частоти можна використовувати математичні моделі комбінованого типу на основі методів чисельного моделювання.

Таким чином, модель здатна врахувати взаємозв'язок між тепловими та електромагнітними полями під час нагрівання зразків, а також аналізує вплив електромагнітних випромінювань на обладнання брикетувального заводу, а саме двигуни та системи автоматичного керування, які можуть включати мікропроцесорне обладнання.

За допомогою чисельних методів можна отримати дані про розподіл температури та впливу електромагнітного поля в осесиметричних установках або в 3D-проектах. Незалежно від постановки задачі, розрахункова модель

включає провідні елементи, в тому числі феромагнітні та металеві елементи конструкції екструдера тиску, а також непровідні елементи - сировину та теплоізоляцію, які потребують нагріву.

У той же час, нагріта сировина є матеріалом з певною вологістю та здатністю до диспергування, розрахунок, очевидно, складний, і потрібно зробити певні спрощення та припущення. Для середовищ з дисперсними компонентами використовуються методи енергетичного балансу та результати експериментів.

#### 4.4. Моделювання електромагнітних і температурних полів.

Моделювання температурного режиму брикетувального цеху передбачає поділ робочої зони на три зони нагріву, кожна з яких є важливою частиною процесу та має значний вплив на якість кінцевого продукту. Також, якщо один з котушок індуктивності може вийти з ладу, установка повинна мати можливість працювати з підвищеною потужністю двох інших. Однак такий режим роботи може мати негативний вплив на кінцеву продукцію та обладнання, а також на мережу електропостачання.

Зобразимо модель процесу індукційного нагріву екструдера, виокремивши основні зони нагріву їх три (рис. 4.1).

1- Це зона завантаження: місце звідки сировина із бункера потрапить під вплив першого нагрівного елементу, її температура залежить від навколишнього середовища та не нижче ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

2- Це зона нагрівання: тут температура робочої зони може бути від  $180$  до  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

3- Це також зона нагріву: тут температура робочої зони досягає вже від  $250$  до  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$

Режими температури який встановлюють перед пуском установки залежать від характеристик встановленого устаткування, такого, як діаметр філь'єри або шнеку (дуже впливає на продуктивність установки та щільність

готового продукту) та вибір сировини: чи то лушпиння, можливо тирса, або  
деревина, солома тощо).

На етапі запуску обладнання для брикетування подрібнену сировину  
при кімнатній температурі подають у бункер, нагрівають у першій зоні  
нагріву та переміщують до середини основного корпусу екструдера, де  
температура шнека найнижча, і сировина, завдяки основному теплу.

Частково використовується для нагрівання системи металевих елементів і  
сировини, після проходження через першу зону сировина рівномірно  
транспортується шнеком до другої зони нагріву, деревина нагрівається до

робоча температура, готовий до наступного етапу третя зона нагріву,  
ключовий етап тут відбувається - формування брикетів, тобто нагрівають під  
тиском і пропускають через тонку плівку йеру

Сировина що перебуває в третій зоні стискається за рахунок великого  
тиску (1-1,2 т/м<sup>3</sup>) результатом чого вогкість витісняється, за рахунок низької  
вологи та високої температури лігнін починає виділятися з сировини та  
склеює волокна між собою.

За допомогою програми Comsol Multiphysics будемо розрахункову  
модель трифазного циліндричного індуктора (рис. 4.2). Ця модель включає  
два модулі - *AC/DC Module* (в розділі *Quasi-Static, Magnetic* в підрозділі  
*Azimuthal Induction Currents, Vector Potential* із рахунком гармонічного,  
аналізу – *Time-harmonic analysis*) і *Heat Transfer Module* (в розділі *General  
Heat Transfer* із рахунком часу *Transient analysis (time dependent)*), що  
забезпечують спільний аналіз взаємозв'язаних електромагнітного та  
теплових полів.

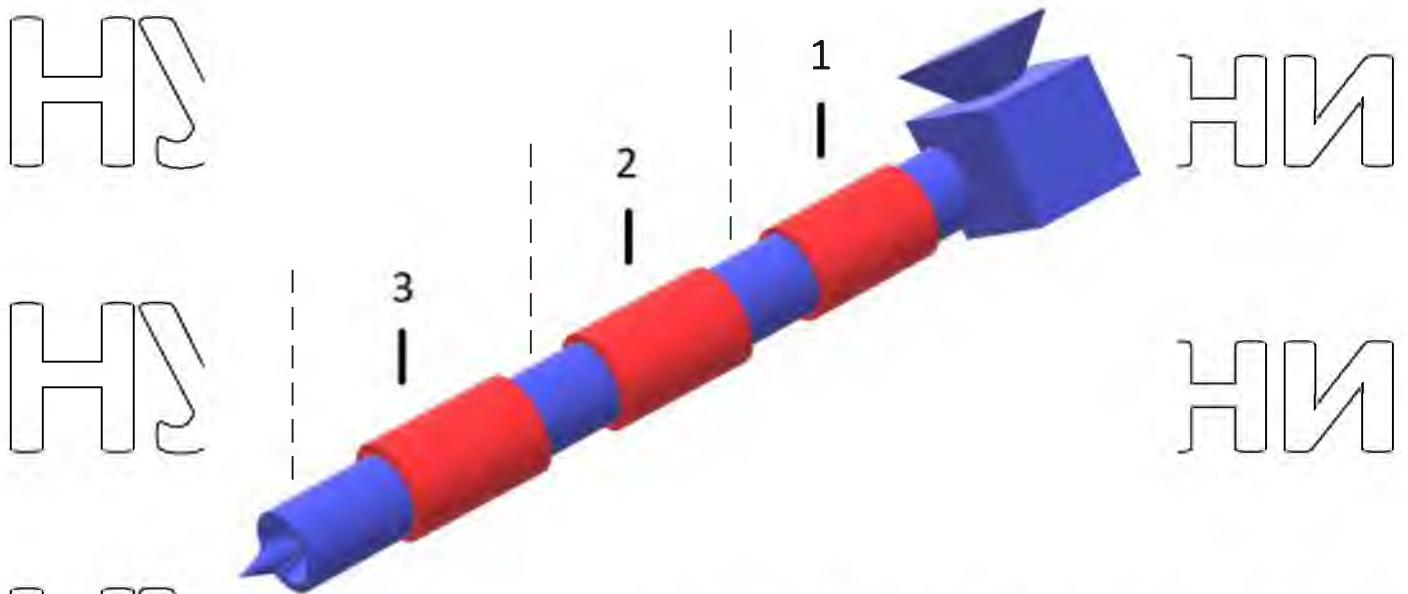


Рис. 4.1. Розрахунок моделі трифазного циліндричного індуктора

Цей етап будування розрахункової моделі, необхідно задати геометричні параметри і електро-фізичні властивості всіх областей.

Цей розрахунок моделі складається із трьох однакових індукторів (секцій) відстанню 150мм кожен із завантаженням, та з виглядом циліндричної феромагнітної заготовки (корпусу прес екструдера) діаметр якого 174мм.

При розв'язанні електромагнітної складової задачі на границях розподілу областей задавалися граничні умови:

- азимутальна симетрія відносно осі,  $r=0$ ;
  - магнітна ізоляція на зовнішніх границях,  $A_{\varphi} = 0$ ;
  - всі інші границі автоматично приєднують умову неперервності (на границях індуктора та труби),  $\mathbf{n}(\mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_2) = 0$ .
- де  $\mathbf{H}$  – це напруженість магнітного поля,  $A/m$ ;  $\mathbf{n}$  – це вектор зовнішньої нормалі.

Comsol Multiphysics – це програма в основі якої покладено метод скінчених елементів, отже кожна із виділених областей ділиться на досить велику кількість кінцевих елементів –кінцево-елементну сітку. При чому

кінцево-елементна сітка кожної області повинна забезпечити високу точність отриманих результатів. Це досягається шляхом поділу відповідних областей на таку кількість кінцевих елементів, які б забезпечували зображення реального розподілу складових електромагнітного і теплового полів.

Прикладом є те, що в феромагнітному корпусі прес-екструдера, на глибину проникнення електромагнітної хвилі / розмістили 10 кінцевих елементів (Рис.4. 2,а б). Робота індуктора на промисловій частоті  $f = 50 \text{ Гц}$  глибина проникнення електромагнітної хвилі у феромагнітному середовищі  $\delta = 1 \text{ мм}$ .

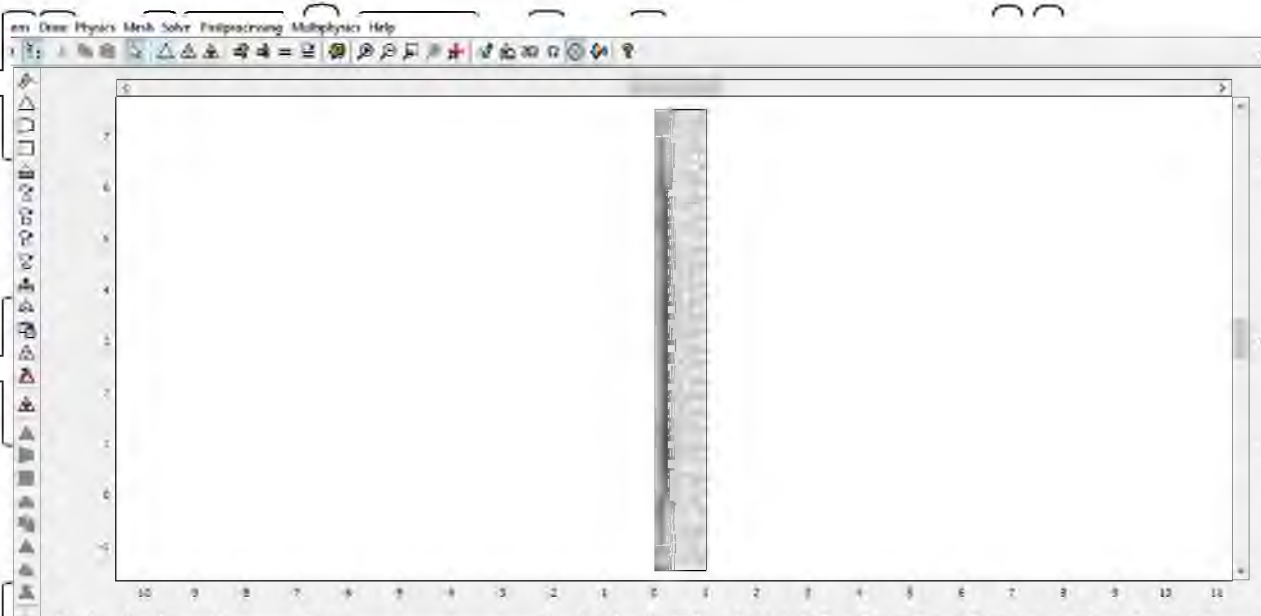


Рис.4.2, а. Кінцево-елементна сітка на розрахунковій області індуктора

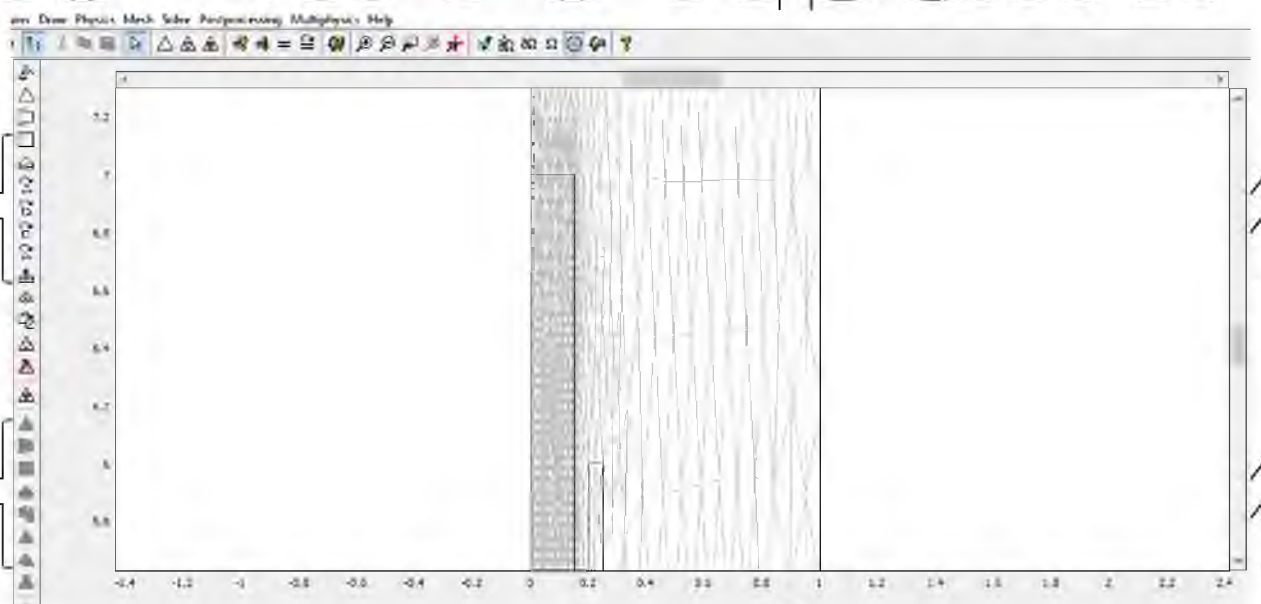




Рис. 4.2, б. Кінцево-елементна сітка на розрахунковій області індуктора

На цьому етапі ми досліджуємо розборку та рішення теплової частини задачі. Вважаємо, що поле всередині індуктора розподілено рівномірно.

Рішення такої задачі зводиться до вирішення рівняння нестационарної теплопровідності, яке має вигляд:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \lambda \nabla T = \begin{cases} Q & - \text{феромагнітний матеріал,} \\ -\rho c_p v \nabla T & - \text{сировина,} \end{cases} \quad (4.3)$$

де  $\rho$ ,  $c_p$ ,  $\lambda$  - щільність, питома теплоємність і теплопровідність матеріалу відповідного середовища;  $Q$  - питома потужність джерел теплоти,  $t$  - час.

Для теплової задачі були прийняті наступні граничні умови:

- на осі симетрії - умова симетрії  $\frac{\partial T}{\partial r} = 0$ ;

- на кордоні дотику двох середовищ (феромагнітний матеріал і сировина) - умова 4-го роду  $\frac{k \partial T}{\partial r}$ ,  
де  $k = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  - коефіцієнт теплопередачі на стінці металевої труби;

- на зовнішній границі області - умова рівності нулю теплового потоку

$\mathbf{n}(\lambda \nabla T) = 0$ ,  
де  $\mathbf{n}$  - вектор зовнішньої нормалі.

а також початкові умови:

- початкова температура середовищ -  $T_0 = 293,15 \text{ K}$ ;

- швидкість руху сировини, яка розглядається як суцільне середовище -  
 $v = 0,01 \text{ м/с}$ .

Таким чином, в результаті моделювання було отримати розподіл температури вздовж кожної з трьох робочих зон нагріву (рис. 4.3.а,б,в).

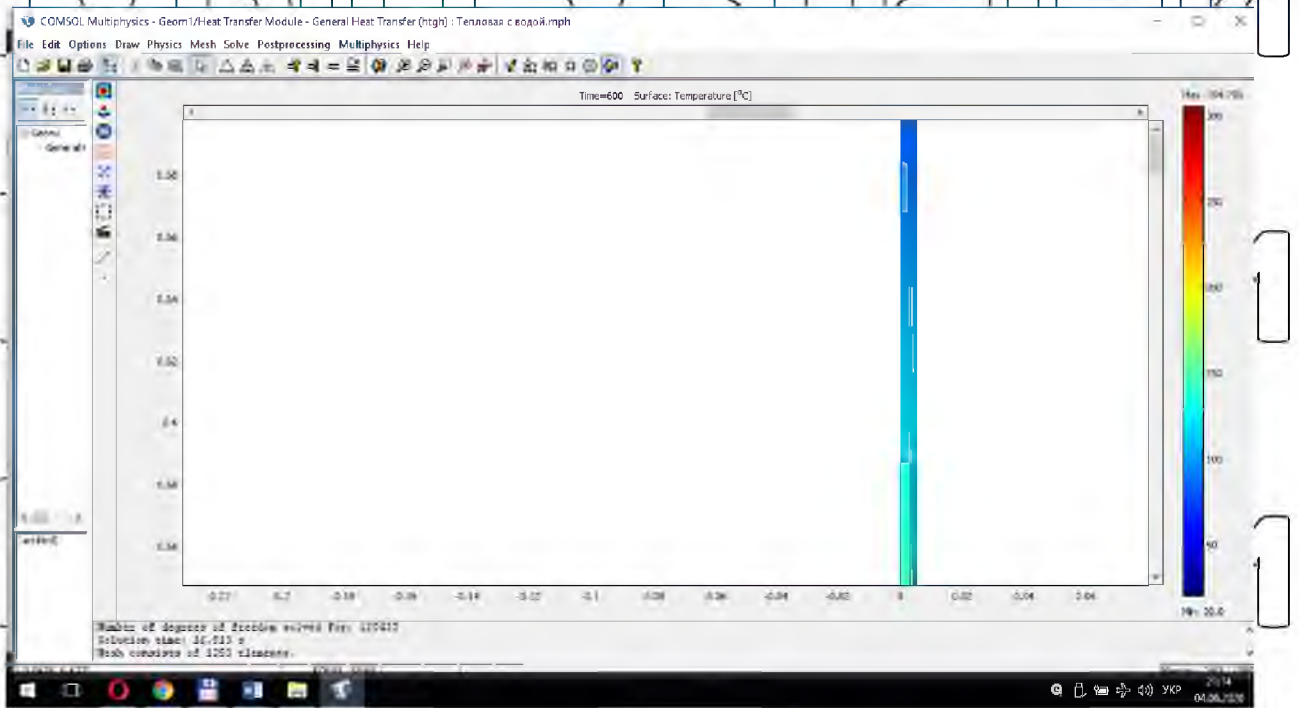


Рисунок 4.3.а. Розподілення температурного поля в робочій зоні 1

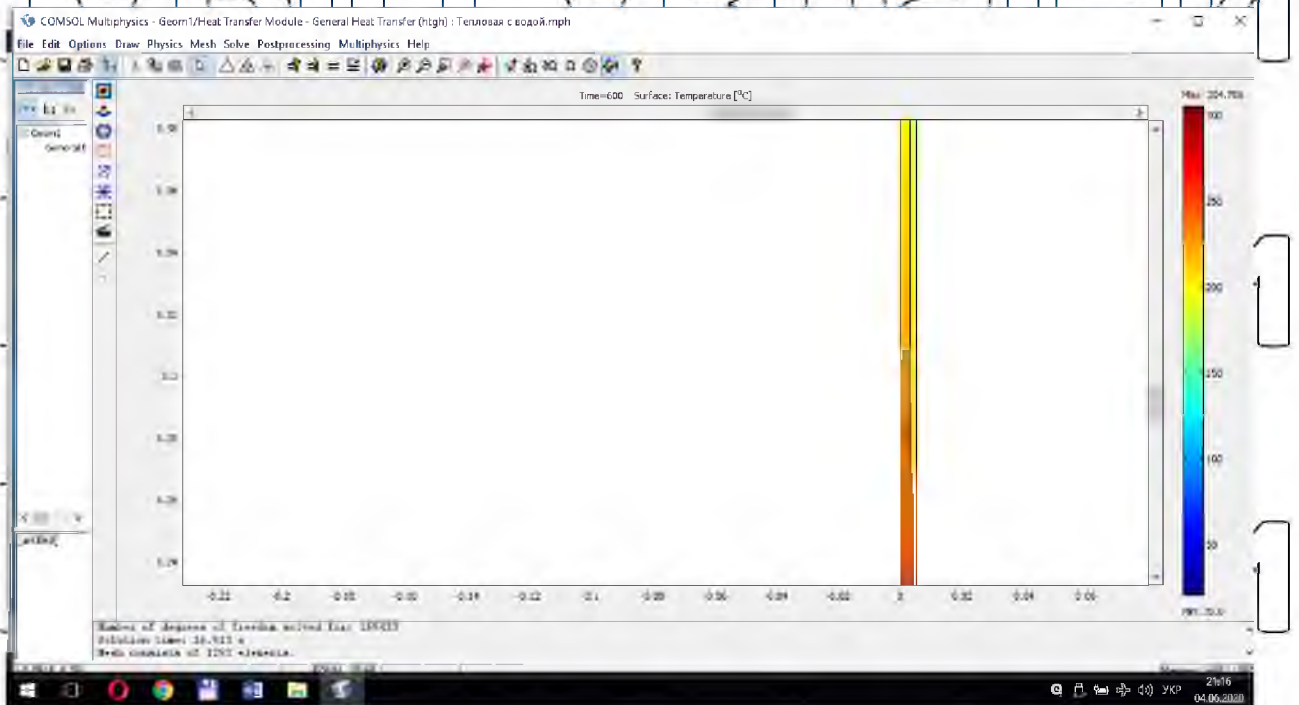


Рисунок 4.3.б. Розподілення температурного поля в робочій зоні 2

НУБІП України

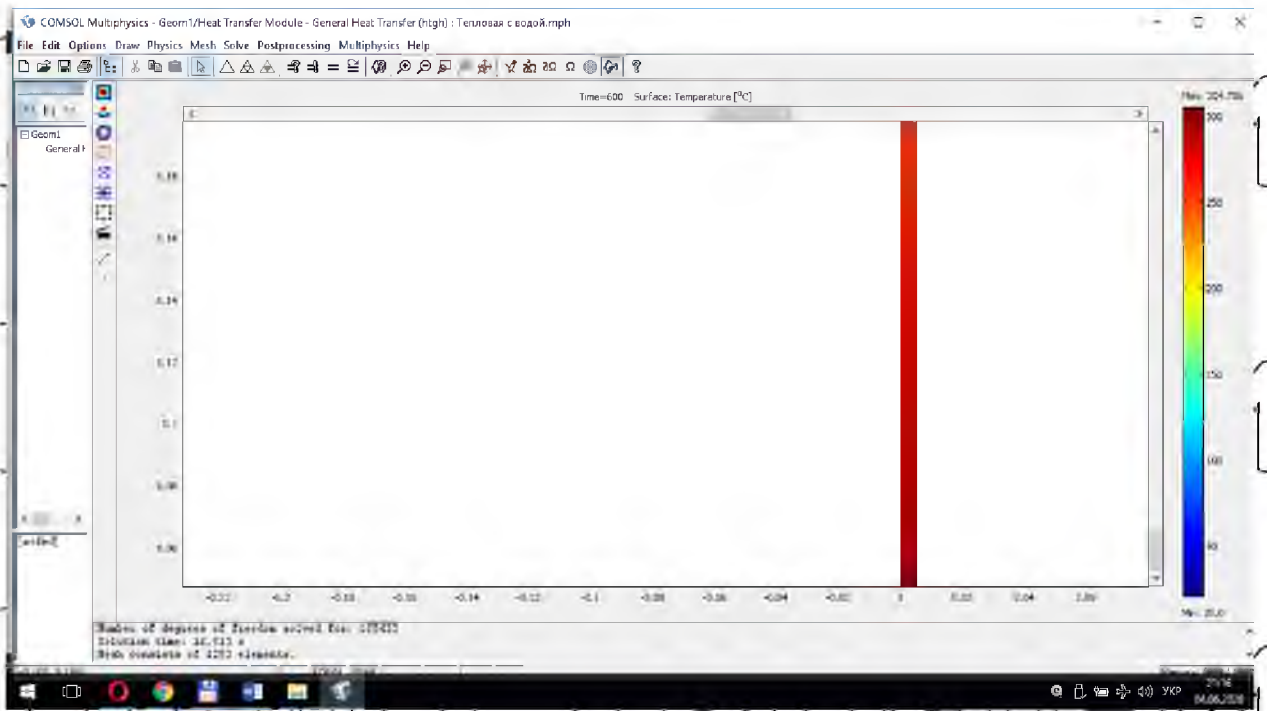


Рисунок 4.3,в. Розподілення температурного поля в робочій зоні 3

На основі отриманих результатів розподілу температури вздовж корпусу прес-екструдера можна отримати розподіл температури безпосередньо самого шнеку (рис. 4.4).

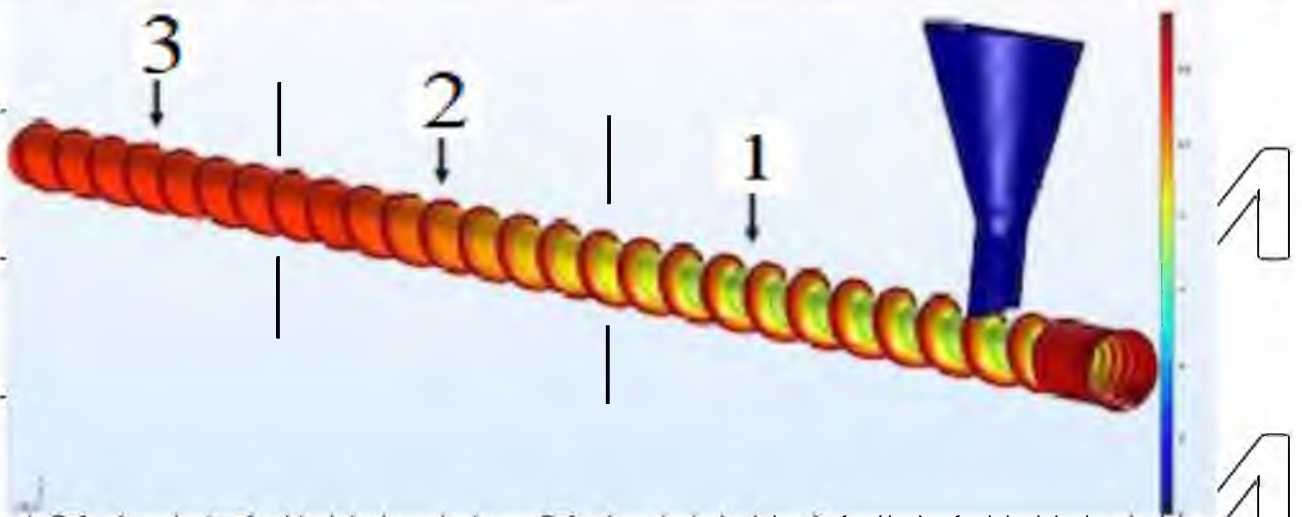


Рисунок 4.4. Зображення місцевого нагріву шнеку екструдера

Регулювання температури у всіх трьох зонах або в окремій виділеній можна здійснювати такими засобами.

1 – Регулювання частотою обертання шнеку, тим самим прискорюючи чи уповільнюючи рух сировини в екструдері.

2 – Регулюючи напругу на індукторі.

3 – Регулювання зміною кількості нагрівальних елементів.

Під час фактичного використання пристрою дані про температуру кожної зони отримуються від датчика температури (цифрового чи аналогового), ці дані отримує програмований контролер, а система автоматизації також може самостійно змінювати параметри системи на

змусити його працювати нормально та отримати якісні продукти.

Приклад такої системи наведено на (рис.4.4).

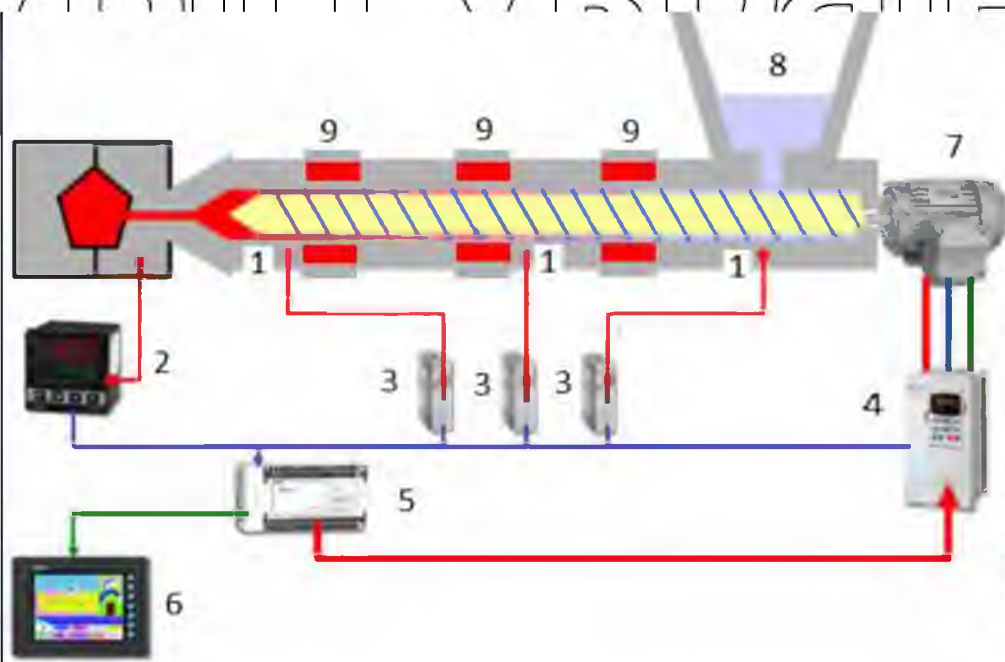


Рисунок 4.4 Схема керування параметрами екструдера для брикетування.

1- Термодатчик.

2- Термоконтроллер DTA.

3- Термоконтроллер DTC.

4- Контроллер частоти.

5- Автоматичний блок регулювання.

6- Панель оператора.

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Класифікація приміщення за пожежною безпекою.

Посилаючись на правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [6].

**Електричне приміщення** – відгороджена частина приміщення (сіткою), де розташоване різноманітне електрообладнання, доступ до якого має тільки виробничий (електротехнічний) персонал з відповідною групою електробезпеки.

**Сухе приміщення** – вологість повітря в якому не перевищує 60%.

**Вологе приміщення** – вологість повітря в якому за 60% але не перевищує 75%.

**Сире приміщення** – вологість повітря в якому перевищує 75%.

**Особливо сире приміщення** – підлога, стеля, робочі поверхні, стіни, все це покрите вологою, вологість в такому приміщенні близька до 100%.

**Жарке приміщення** – в такому приміщенні вплив різного теплового випромінювання, де значення температури перевищує завжди або інколи

+35 °С, приклад приміщень: з сушарками, з печами, місця де закаляють

метал, приміщення у видобувних шахтах та котельні.

**Запилене приміщення** – в результаті технологічних процесів спостерігається велика кількість пилу такі приміщення називають запиленими. Їх ще поділяють на: приміщення із струмопровідним пилом і приміщення зі неструмопровідним пилом.

**Приміщення з хімічно активним або органічним середовищем** – там де є багато агресивних речовин це: різні гази, рідини, пари і пил, такі умови є небезпечними для технологічного оснащення, ці речовини можуть з легкістю руйнувати шар ізоляції та струмопровідні частини електроустановок.

Ще можна розглянути ось такі види небезпек стосовно небезпеки ураження електричним струмом в приміщенні:

1) вогкість, більша норми можлива присутність великої скупчення струмопровідного пилю;

2) підлога може бути струмопровідною та виконуватись з таких матеріалів: металева, земляна, залізобетонна або цегляна;

3) температури вищі норми;

4) можливості дотику працівника (або іншої людини) до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, приладів або механізмів, які мають приєднання до землі, з одного сторони, та до металевих корпусів електроустановок з іншої сторони;

Окремо є приміщення особливо небезпечні: ті які визначаються умовою яка створює особливу загрозу, зразок таких приміщень:

1) там де вогкість 90-100%;

2) там де є агресивні, хімічні органічні чинники;

3) вибухонебезпечні рідини а також одночасне поєднання двох та більше умов підвищеної загрози;

г) ще є території, де розташовані зовнішні електроустановки (ВРУ), що прирівнюються до особливо небезпечних приміщень.

Переглянувши вище сказане можна стверджувати, що цех по виготовленню паливних брикетів – це сухе і відносно запылене приміщення.

## **5.2. Охорона праці на підприємстві з виготовлення паливних брикетів**

### **5.2.1. Загальні вимоги**

Технологічний процес деревообробних виробництв має бути організований відповідно до вимог Правил Пожежної Безпеки, ДНАОП 0.00-1.29- 97, та держ. стандартів ГОСТ 12.2.061- 81, ГОСТ 12.3.042- 88, ГОСТ

12.1.004- 91 [7].

На Україні є чинні стандарти: держ. стандарти ДСТУ 1626- 92 «Верстати універсальні побутові деревообробні. Технічні умови праці»;

ДСТУ 2578-94 «Автоматизація метало та деревообробного устаткування. Загальні технічні вимоги та вимоги безпеки»;

ДСТУ 2753-94 «Устаткування метало- та деревообробне. Верстати деревообробні побутові. Вимоги безпеки»;

ДСТУ 2807-94 «Устаткування метало- і деревообробне. Загальні вимоги безпеки і методи випробувань»;

міждержавні стандарти ГОСТ 12.3.042-88 «Деревообробляюче виробництво. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.026.0-93

«Оборудование деревообрабатывающее, Общие требования безопасности к конструкции», а також ГОСТ 5945-72, ГОСТ 6735-73, ГОСТ 69-75, ГОСТ

5645-76, ГОСТ 8197-79, ГОСТ 7097-78, ГОСТ 6854-88, ГОСТ 6855-88, ГОСТ 7353-90, ГОСТ 8425-90, ГОСТ 7615-92;

європейські стандарти ДСТУ EN 848-1:2006 «Безпека деревообробних верстатів. Верстати для одностороннього фрезерування обертовим інструментом»;

ДСТУ EN 1218-1:2006 «Безпечність деревообробних верстатів. Верстати шипорізні»;

ДСТУ EN 860:2006 «Безпечність деревообробних верстатів. Верстати рейсмусові односторонні»;

ДСТУ EN 940:2007 «Безпечність деревообробних верстатів. Верстати деревообробні комбіновані»;

а також ДСТУ EN 1870-1:2007 «Безпечність деревообробних верстатів. Верстати круглопильні» (які складаються з 8 частин). Базовим нормативно-

правовий акт по охороні праці, він визначає безпеку праці на деревообробних верстатах, та Правила Охорони Праці в деревообробній промисловості (НПАОП 20.0-1.02-05) [7].

Загалом технічні процеси і роботи, пов'язані з виробництвом брикетів, повинні проводитися на обладнанні, спеціально призначеному для цього, щоб уникнути травм і створення аварійних ситуацій, і відповідно до їх

паспортних даних, відповідно до затверджених правил, які передбачають запобігання впливу шкідливих і небезпечних факторів на працівників.

Навантаження та транспортування лісоматеріалів від підприємств, що займаються видобутком лісоматеріалів, повинне здійснюватися відповідно до затверджених роботодавцем правил та інструкцій, які діють під час експлуатації транспортних засобів, що використовуються підприємством.

Процеси з використанням отруйних і їдких речовин або з виділенням таких речовин повинні проводитися в окремих приміщеннях або в спеціальному ізольованому приміщенні промислового майданчика, обладнаному системами вентиляції, засобами захисту працівників і засобами пожежогашіння.

Процеси деревообробки повинні бути організовані та скоординовані таким чином, щоб уникнути або мінімізувати вплив на навколишнє середовище, а викиди в повітря шкідливих парогазових сумішей і пилу не перевищували гранично допустимих концентрацій.

У разі потрапляння речовин у навколишнє середовище (за межі технічних процесів) необхідно підготувати певні рішення для усунення наслідків цього впливу.

Знешкодити можна за рахунок вивезення в якості відходів або можливе знешкодження по місцю з дотриманням всіх необхідних норм та правил.

При виконанні таких операцій потрібно запобігти зіткненню персоналу із матеріалами та деталями, що рухаються зі швидкістю більшу ніж 0,3 м/с.

Усі зміни, внесені або внесені до технічних процесів після оформлення та затвердження, необхідно повторно задокументувати, щоб уникнути аварійних ситуацій тощо. Обладнання та інструмент для деревообробної промисловості повинні бути випробувані і використовуватися відповідно до встановлених норм і правил безпечного користування людьми.

При виникненні аварійної ситуації необхідно використовувати нестандартний сценарій, на підставі якого проводити усунення



несправностей, при цьому повинні бути активовані заздалегідь встановлені та підготовлені системи сигналізації та пристрої оповіщення персоналу: сигналізація, аварійне освітлення, система аварійного сповіщення.

Якщо персонал може піддаватися впливу небезпечних умов: шуму, тепла, електромагнітних та інших випромінюваних коливань, виділення парів, газів і пилу, потрібно увімкнути дистанційне керування обладнанням та необхідно евакуювати персонал.

### **5.2.2. Вимоги до організації охорони праці.**

Підприємства повинні створювати служби охорони праці, функції яких повинен виконувати відповідним чином підготовлений і кваліфікований персонал.

Для покращення умов роботи, щоб уникнути нещасних випадків, захворювань та аварій на виробництві, роботодавець повинен з урахуванням специфіки виробництва, та вимог Типового положення про службу охорони праці, ухваленого наказом Держнаглядохоронпраці України від 15.11.2004

№ 255, а також зареєстрованого у Мін'юсті України 01.12.2004 за №1526/10125, повинен зробити і затвердити Положення про службу охорони праці підприємства.

Положення для роботи уповноважених трудових колективів з питань охорони праці повинне розроблятися згідно до Типових положень про працю уповноважених трудових колективів з питань охорони праці, та ухваленого наказом Держнаглядохоронпраці України від 28.12.93 №135, зареєстрованим у Мін'юсті України 31.01.94 та №18/227 (ДНАОП 0.004.11-93).

За наказом Держнаглядохоронпраці України від 18.07. 97 №191, зареєстрованого у Мін'юсті України 08.10.97 за № 458 /2262 (ДНАОП 0.004.29- 97) на підприємстві має бути організоване приміщення разом із структурою охорони праці, яке повинне відповідати всім державним нормам, в цьому приміщенні, повинні проводитися інструктажі з питань безпеки праці.

Для посадових осіб відповідно до вимог типового положення про порядок проведення навчання та які пройшли перевірку знань з питань охорони праці, ухваленого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01. 2005 № 15, зареєстрованого у Мін'юсті України 15.02.2005 за № 231/10511, зобов'язані проходити періодичну і попередню перевірку знань з питань охорони праці.

Нормативні акти з охорони праці, які є дійсними на підприємстві, повинні опрацьовуватись і затверджуватись відповідно до Порядку опрацювання та затвердження власником нормативних актів про охорону праці, які діють на підприємстві, ухваленого наказом Держнаглядохоронпраці України від 21.12.93 № 132, зареєстрованого у Мін'юсті України 07.02.94 за № 20/229 (ДНА ОП 0.00-8.03-93), та інших актів з охорони праці.

Згідно до рішення Кабінету Міністрів України від 25.08.2004 № 1112 (НПА ОП/00.0-6.02-04) роботодавець повинен вести облік аварійних ситуацій, та в разі виникнення такої ситуації провести розслідування.

### 5.2.3. Освітлення.

До вимог висунутими відповідно до СНиП II-4-79 приміщення мають бути обладнані джерелами штучного та природного освітлення. Оскільки працівники найкраще сприймають природне світло, його кількість повинна бути найбільшою завдяки правильно розміщеним вікнам або системам, які заломлюють сонячне світло і направляють його всередину приміщення. Для захисту працюючих від прямих сонячних променів необхідно використовувати штори та жалюзі .

До вимог зазначених в СНиП II-479 в темну пору доби коли немає природного освітлення, треба забезпечити територію підприємства штучними джерелами світла, воно повинне бути виконаним відповідно до ПБЕ та ПБЕЕС, і ухвалено наказом Держнаглядохоронпраці України від

09.01.98 № 4, зареєстрованих у Мін'юсті України 10.02.98 за № 93/2533 (ДНАОП 0.00-1.2198).

Ступінь освітлення на території підприємства або в приміщеннях, обов'язково проводити відповідно до стандартів «Будівлі і споруди. Методи вимірювання освітленості» (ДСТУ Б.В.2.2-6-97).

Догляд за станом забруднення та міри по очищенню забруднень треба робити згідно до СНиП II-4-79.

Там, де обладнання може затінювати робочу поверхню, або де концентрованого освітлення недостатньо, або де процес вимагає високої

точності, наприклад, під час фарбування деталей або полірування поверхонь, використовуйте точкове освітлення або змінне освітлення. Параметри з можливістю вибору інтенсивності освітлення.

При використанні вибухонебезпечних матеріалів або процесів, які можуть вивільняти похідні (наприклад, похідні), використовуйте лампи з певним ступенем захисту, залежно від рівня вибухонебезпечності та пожежної небезпеки, а також класу та класу вибухонебезпечної суміші PVE, яку потрібно використовувати.

В минулому щоб забезпечити якісним освітленням зовнішні території підприємств використовували кварцові ДРЛ-лампи, а також ксенонові світильники, в теперішній час широкого вжитку набули LED-лампи.

#### **5.2.4. Небезпечні і шкідливі виробничі чинники.**

Технологічний процес в деревообробній галузі вимагає чимало уваги до небезпечних і шкідливих чинників. Відповідно до державного стандарту «Небезпечні та шкідливі виробничі чинники. Класифікація» та з поправкою (ГОСТ 12.0.003-74), які можуть бути в дії на працівників.

Ці фактори включають: Механізми, які можуть рухатися з контролем оператора або без нього, машини чи їх частини, а також конвеєрні лінії з матеріалами чи продуктами також знаходяться під загрозою. Крім видимих

джерел небезпеки, можуть існувати також невидимі небезпеки, такі як: заповнене повітря, витік газу або випаровування корозійних речовин, які можуть загрожувати здоров'ю працівників або роботі обладнання.

Небезпечна також температура навколо робочої зони (повітря в цеху).

Наступний фактор це шум та вібрація, занадто багато або занадто мало світла та якість повітря в приміщеннях для персоналу.

Стаціонарні технічні засоби повинні бути встановлені на фундаменті, що відповідає технічним розрахункам, віброопорам та іншим віброізоляційним пристроям, що запобігають вібрації обладнання.

Розміщення обладнання, не передбаченого проектом, на міжповерхових перекриттях, фермах, балках або галереях допускається лише за умови позитивних результатів перевірки міцності перекриттів за розрахунками статичних і динамічних навантажень.

Відстань між верстатами, частинами будівель чи споруд у цехах механічного оброблення деревини повинні дотримуватись вимогам державного стандарту «Деревообробне виробництво. Загальні вимоги безпеки» (ГОСТ 12.3.042- 88).

Залежно від виконуваної роботи робоче місце повинно бути обладнане стелажми, столами, шафами, тумбочками для зберігання інвентарю, інструментів, матеріалів, прибиральних машин та механізмів. Стелажі, станки, столи, тумби та шафи та інші обладнання мають бути міцними, надійно закріпленими на підлозі та на зручній для роботи висоті.

Полиці на стелажам повинні відповідати найбільшим габаритам предметів, які будуть на них класти, та мати нахил в середину стелажу а також граничнодопустимі написи для навантаження.

Забороняється захарашувати робочі місця, проходи, проходи деталями, виробами, матеріалами та відходами виробництва. Тимчасове їх зберігання допускається лише на спеціально відведених майданчиках з можливістю механічного транспортування та демонтажу за межами майданчика чи цеху.

Для роботи підйнятно-транспортних механізмів, які керуються з робочої поверхні, потрібно зробити вільні проходи для персоналу, яким доручено керування цим обладнанням.

Робоче місце поблизу гарячих пресів і іншого обладнання, що виділяє теплоту, повинні бути захищені екранами, інтенсивність теплової віддачі не має перевищувати 100 Вт/м<sup>2</sup>.

Відкриття, внутрішній огляд, очищення та ремонт посудин, обладнання та інших місткостей, а також окремі роботи, пов'язані з виділенням вибухонебезпечних отруйних газів, задушливих газів, легкозаймистих рідин, парів, повинні проводитися відповідно до вимог пожежної безпеки, правила техніки безпеки, видані під наглядом особи, відповідальної за охоронну роботу.

Роботодавець має забезпечити, проведення атестації робочих місць, за умовами роботи відповідно до вимог Порядку проведення атестації робочих місць за умовами роботи, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.92 № 442 (ДНАОП 0.05-8.04-92).

### 5.2.5. Пожежна безпека

Пожежна безпека повинна під час експлуатації, ремонту машин чи технічного обслуговування та механізми деревообробного виробництва відповідати вимогам Закону України "Про пожежну безпеку" (3745- 12),

Правилам Пожежної Безпеки а також іншим нормативним актам з пожежної безпеки. Придбані із-за кордону машини, устаткування, механізми, ТЗ (транспортні засоби) та технологічне устаткування дозволяється приймати в роботу тільки за умови відповідності їх вимогам пожежної безпеки, чинних в на території України.

### 5.2.6 Охорона навколишнього середовища

НУБІП України

Під час виробництва застосовуються споруди і транспортні засоби технології та робоча сила, все це необхідно виконувати згідно до вимог з охорони навколишнього природного середовища і виконувати заходи,

направлені для запобігання його забрудненню відповідно до Закону України "Про безпеку навколишнього природного середовища" (1264- 12), Закону України "Про забезпечення санітарного і епідемічного благополуччя

населення" ( 4004- 12 ) та інших нормативних актів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ВИСНОВКИ

1. В проєкті провів аналіз наявних засобів і технологій для виготовлення паливних брикет чи гранул, та визначив шляхи покращення енергоефективності процесу.

2. Доказано режимні, конструктивні також енергетичні характеристики електротехнологічного комплексу по виготовлянні паливних брикет, за основу взято трифазний теплогенератор індукційного типу з загрузкою феромагнітною трубою (корпус прес-екструдера).

3. Провів аналітичне обчислення енергетичних властивостей теплогенератора індукційного типу, під час якого мною враховано нелінійні властивості феромагнітної загрузки, та було встановлено найкращі із можливих енергетичних і геометричних параметрів індукційного обладнання:

1. поверхневий діаметр завантаження  $d_{\text{заг}} = 174 \text{ мм}$ ;

2. діаметр індуктора  $d_{\text{інд}} = 194 \text{ мм}$ ;

3. чисельність витків в обмотці  $w = 60$ , яка виготовлена трубкою  $14 \times 16 \times 2$  мм;

4. струм навантаження індуктора  $I = 11 \text{ А}$ ;

5. індуктор живиться частотою  $f = 50 \text{ Гц}$  та за напруги  $U = 380 \text{ В}$ ;

6. активна інтенсивність індуктора  $P = 11,5 \text{ кВт}$ ;

7. (ККД)  $\eta = 97 \%$ .

4. За допомогою програми Cosmol Multiphysics було відображено роботу індукційного нагрівання корпусу екструдера, та технологію приготування паливних брикет, на основі якого я отримав наступне, розподіли складових електромагнітного та температурного полів повздовж каналу екструдера.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лебедев П.Д. Расчёт и проектирование сушильных установок, М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 320 с.
2. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. - Л.: Энергоатомиздат, 1988. - 280 с.
3. Нейман Л. Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах / Л. Р. Нейман. – М. –Л.: Госэнергоиздат, 1949. – 190 с.
4. Слухоцкий А. Е. Установки индукционного нагрева: [учебное пособие для вузов; под ред. А. Е.Слухоцкого] / А. Е. Слухоцкий, В. С. Немков, Н. А. Павлов, А. Б. Бамунэр. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 328 с.
5. Національна енергетична компанія “Укренерго” Правила улаштування електроустановок: Міненерговугілля України, 2017. – 605 с.
6. Жмихов И.Н., Гальбрайх Л.С., Акуліч А.В., Щербина Л.А., Сорокін Ф.А. Процессы и оборудование производства волокнистых и пленочных материалов: Высшая школа 2013. – 587 с.
7. I. Kondratenko, A. Zhytsov, A. Bereziuk / Electromagnetic field of the three-phase cylindrical inductor if it runs off with frequency converter in non-stationary modes III IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF), 2017, 247 – 250 p.
8. Мацяшко В.А. Правила охорони праці в деревообробній промисловості: Міністерстві юстиції України 2005. – 88 с.
9. Andrii Bereziuk, Olexiy Karlov, Kryshchuk Roman, Anatoliy Mrachkovsky, Vitaliy Nalyvaiko Improved method of calculation the electromagnetic generator for environmentally friendly method of forming coolant / 6th International Conference – Renewable Energy Sources (ICoRES 2019), E3S Web Conf., 2020. – Vol. 154.
10. Rudnev V. Handbook of induction heating / V. Rudnev, D. Loveless, R. Cook, M. Black. – Marcel Dekker. Inc., 2003.



11. Humphries S., Finite-element Methods for Electromagnetics. Electronic edition (2010), 329 p.

12. Безпека праці в сільських електроустановках. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / М.Г.Лут, І.П.Радько, В.Г.Тракай, А.І.Чміль. – К.: Вид – во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. – 430 с.

13/ P. Guerrier, K.K. Nielsen, S. Menotti, J. H. Hattel, "An axisymmetrical non-linear finite element model for induction heating in injection molding tools", Finite Elements Anal. Des., vol. 110, pp. 1-10, 2016.

14. Laura AM. D'Angelo, Herbert De Gersem "Quasi-3-D Finite-Element Method for Simulating Cylindrical Induction-Heating Devices", IEEE Journal on Multiscale and Multiphysics Computational Techniques, vol. 2, pp. 134-141, 2017.

15. T.A. Jankowski, NH. Pawley, L.M. Gonzales, C.A. Ross, JD. Journey, "Approximate analytical solution for induction heating of solid cylinders", Appl. Math. Model., vol. 40, pp. 2770-2782, 2016.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# НУБІП України

Розрахункова програма складових електромагнітного поля і енергетичні характеристики індуктора в середовищі MathCAD.

# НУБІП України

Зразок розрахунків в ручному режимі.

Вихідні дані:

$$a := 1$$

$$r1 := 0.05$$

$$r3 := 0.05$$

$$r2 := 0.03$$

$$l1 := a + 2 \cdot r1$$

$$p_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{l1}$$

$$I_{0m} := 5C$$

$$w := 200$$

$$rr1 := 0.0073$$

$$n := 5$$

$$k := 1..17$$

$$\sigma := 5 \cdot 10^6$$

$$\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

$$\omega := 314$$

$$\mu_e := 1.056 \times 10^{-4}$$

$$f := 5C$$

$$U := 220$$

$$U_m := \sqrt{2} \cdot U$$

$$\eta_k := \sqrt{(p_k)^2 + i \cdot \mu_e \cdot \sigma \cdot \omega}$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

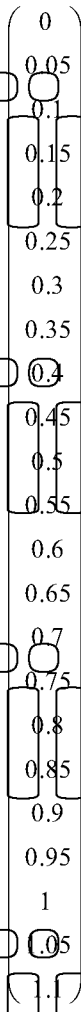
$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$

$$z :=$$



$$I_k := \frac{I_{0m} w}{a} \frac{4}{p_k \cdot l1} \sin\left(\frac{p_k \cdot l1}{2}\right) \cdot \sin\left(p_k \cdot \frac{a}{2}\right)$$

$$Q_k := \frac{\mu_e \cdot p_k \cdot l1(\eta_k \cdot r3) \cdot I_0(p_k \cdot r3) - \mu_0 \cdot \eta_k \cdot I_0(\eta_k \cdot r3) \cdot l1(p_k \cdot r3)}{\mu_e \cdot p_k \cdot K1(\eta_k \cdot r3) \cdot I_0(p_k \cdot r3) + \mu_0 \cdot \eta_k \cdot K0(\eta_k \cdot r3) \cdot l1(p_k \cdot r3)}$$

$$N1_k = \frac{I_0(\eta_k \cdot r2) + K0(\eta_k \cdot r2) \cdot Q_k}{l1(\eta_k \cdot r2) - K1(\eta_k \cdot r2) \cdot Q_k}$$

# НУБІП України

НУБІП України

$$M_k := \frac{\mu \epsilon \cdot p_k \cdot I_0(p_k \cdot r_2) - \mu_0 \cdot n_k \cdot N_k \cdot I_1(p_k \cdot r_2)}{\mu \epsilon \cdot p_k \cdot K_0(p_k \cdot r_2) - \mu_0 \cdot n_k \cdot N_k \cdot K_1(p_k \cdot r_2)}$$

НУБІП України

$$Z_{n1} := i \cdot 32 \cdot \pi^2 \cdot f \cdot r_1^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{w^2}{a^2 \cdot 11} \cdot \sum_{k=1}^{17} \left[ \frac{1}{(p_k)^2} \cdot K_1(p_k \cdot r_1) \cdot (I_1(p_k \cdot r_1) + M_k \cdot K_1(p_k \cdot r_1)) \cdot \operatorname{sn}\left(p_k \cdot \frac{a}{2}\right) \right]$$

НУБІП України

$$Z_{xx} = -i \cdot 32 \cdot \pi^2 \cdot f \cdot r_1^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{w^2}{a^2 \cdot 11} \cdot \sum_{k=1}^{17} \left[ \frac{1}{(p_k)^2} \cdot K_1(p_k \cdot r_1) \cdot I_1(p_k \cdot r_1) \cdot \operatorname{sn}\left(p_k \cdot \frac{a}{2}\right) \right]$$

$$Z_{m1} := n \cdot Z_{n1} - Z_{xx} \cdot (n - 1)$$

$$I_{1m} := \frac{U_m}{Z_{m1} + r_{r1}}$$

НУБІП України

$$I_{1e} = I_{1m} \cdot \frac{w}{a}$$

$$\mu_{1e} = 0.625 \cdot |I_{1e}|^{0.8894}$$

$$\frac{\mu_{1e} - \mu_e}{\mu_e} = 2.85 \times 10^{-3}$$

НУБІП України

$$I_{2m} := \operatorname{Re}(I_{1m}) - i \operatorname{Im}(I_{1m})$$

$$S_m := U_m \cdot I_{2m}$$

$$P := \operatorname{Re}(S)$$

$$Q := \operatorname{Im}(S)$$

$$\cos \phi := \frac{P}{|S|}$$

НУБІП України

$$\eta := \frac{P - r_{r1} \cdot \operatorname{Im}(I_{2m})}{P}$$

НУБІП України