

Титульний аркуш магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування**

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Сокольський О.Л.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## **Магістерська дисертація**

на здобуття ступеня магістра за освітньо-професійною програмою «магістр»

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: «Піч обертова 5х100 для виробництва цементу «сухим» способом з

модернізацією опорної частини»

Виконав (-ла):

Студент, групи ЛП-з11мп

Євдокименко Ю.Ф.

Науковий керівник:

Борщик С.О.

ст. викладач

Рецензент:

Доц. каф. МАХНВ канд. тех. наук,

Степанюк А.Р.

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студент Євдокименко Ю.Ф

Київ – 2022 року



---



---



---



---

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу \_\_\_\_\_

---



---

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

---



---

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Монтаж і експлуатація обладнання	Борщик С.О.		
....			
...			
Загальний	<i>Прізвище, ініціали та посада</i>	модернізація	<i>плагіат</i>
Перевірка	Щербина В.Ю., д.т.н., проф.		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1			
2			
3			
...			

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_Євдокименко Ю.Ф.\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_Борщик С.О.\_\_\_ (ініціали, прізвище)

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	6
ABSTRACT .....	7
ВСТУП .....	8
1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНОЇ ПЕЧІ 5x100.....	10
2.ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЗОВОЇ МАШИНИ.....	11
3. ОПИС КОНСТРУКЦІ, ОСНОВНІ ЇЇ КОМПОНЕНТИ, СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ.....	12
4. АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТА ПАТЕНТНОЇ ЛІТЕРАТУРИ, А ТАКОЖ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ .....	16
5. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	21
5.1 Цементний клінкерний процес .....	21
5.2 Автоматизація спалювання зріючого матеріалу в газонаповнені роторні печі .....	22
5.3 Опис схеми автоматизації .....	24
6. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ .....	25
6.1 Опис ідеї проекту .....	25
6.2 Аналіз ринкових можливостей для запуску підприємницьких проектів.....	29
6.3 Висновок .....	36
7. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	38
7.1 Повітря в робочій зоні .....	40
7.2 Промислове освітлення .....	41
7.3 Небезпека можливого ураження струмом .....	41
7.4 Виробничі шуми.....	43
7.5 Небезпека впливу рухомих частин та частин, що обертаються .....	44
7.6 Пожежна безпека.....	44

					<i>ЛП-з11мп.001 ПЗ</i>							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.	Евдокименко				<i>Піч обертова5X100 для виробництва цементу «сухим» способом з модернізацією опірної частини</i>			Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.	Борщик								4			
Реценз.								НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського»				
Н. Контр.												
Затверд.	Панов											

8 . ПАРАМЕТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ .....	47
8.1 Продуктивність печі.....	47
8.3 Розрахунок опорно-ходової частини.....	50
8.4 Розрахунок вісі опорного ролика.....	51
8.5 Розрахунок бандажів.....	52
8.6 Тепловий розрахунок.....	55
8.7 Втрата повітря на горіння і вихід продуктів горіння.....	57
8.8 Вихід газоподібних продуктів із первинної сировини .....	58
8.9 Кількість пилу, що проходить через циклонні теплообмінники .....	58
8.11 Теоретична температура горіння.....	63
8.12 Розрахунок обертової печі 5x100м за допомогою програми «APROKS» для знаходження оптимального кута роликкоопори .....	64
ВИСНОВКИ.....	70
ЛІТЕРАТУРА .....	71
Патентний формуляр .....	72

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту на тему „Обертова піч 5x100 для виробництва цементу „сухим” способом з модернізацією опірної частини”.

Об’єкт дослідження: обертова піч.

Мета дослідження: модернізація опірної частини обертової печі.

Обертові печі цементної промисловості являють собою важкий по конструкції тепловий і в той же час механічний агрегат, оснащений сучасними методами автоматизації. В наш час найбільше уваги при проектуванні заводів та виготовлення цементу приділяється вивченню обертових печей, тому що саме в цих пристроях відбуваються найважливіші фізико – хімічні перетворення, які впливають на якість отримання готового продукту. В дипломному проекті приведено вибір та обґрунтування модернізації опірної частини, та запропонована нова оригінальна ідея, що значно збільшує річну продуктивність машини, термін служби бандажів за рахунок зменшення навантаження, що в них виникають. Теоретичні ідеї модернізації підтверджені результатами розрахунку, які виконані з допомогою сучасних САПР систем «ANSYS» та «APROKS». Аналіз розрахунків показав можливість впровадження розробленої конструкції в промисловість. Доцільність проведення модернізації підтверджуються економічним розрахунком, який представлений в пояснювальній записці.

Випуск цементу передбачається вести з високим рівнем механізації та автоматизації. Пояснювальна записка містить спеціальний розділ, присвячений автоматизації виробничого процесу. Розділ техніки безпеки та охорони праці представляє необхідні безпечні умови на виробництві.

**ОБЕРТОВА ПІЧ, ЦЕМЕНТ, СУХИЙ СПОСІБ, КЛІНКЕР, МЕХАНІЧНЕ  
ОБЛАДНАННЯ.**

## ABSTRACT

Explanatory message to the diploma project on a theme the „Circulating stove 5x100 for the production of cement dry-process with modernization of bearing part”: page.

Research object: circulating stove.

Research purpose: modernization of bearing part of circulating stove.

The circulating stoves of cement industry show by itself heavy for constructions thermal and at the same time mechanical aggregate, equipped the modern methods of automation. In our time most attention at planning of factories and making of cement spared the study of circulating stoves, because exactly in these devices there are major physici are chemical transformations which influence on quality of receipt of the prepared product. A choice and ground of modernization of bearing part is resulted in a diploma project, and a new original idea which increases the annual productivity of machine considerably is offered, term of service of bandages due to diminishing of loading, that in them arise up. The theoretical ideas of modernization are confirmed the results of calculation, which are executed with the help of modern SAPR of the systems «APROKS» that «ANSYS». The analysis of calculations rotined possibility of introduction of the developed construction in industry. Expedience of leadthrough of modernization confirmed an economic calculation which is presented in an explanatory message.

It is foreseen to conduct the issue of cement with a high level mechanization and automation. An explanatory message contains the special section, devoted automation of production process. The section of accident and labour protection prevention presents necessary safe terms on a production.

CIRCULATING STOVE, CEMENT, DRY METHOD, CLINKER, MECHANICAL EQUIPMENT.

## ВСТУП

Будівельна галузь являється однією з найважливіших галузей народного господарства. Від неї залежить ефективність всієї економічної системи країни. Важливість цієї галузі для будь-якої національної економіки можна пояснити наступним чином: інфраструктура може відрізнитися від інших галузей економіки, створюючи велику кількість робочих місць і споживаючи продукцію з багатьох галузей національної економіки. Економічний ефект розвитку цієї галузі — мультиплікаційні ефекти вкладеного в будівництво капіталу. Адже з розвитком будівельної галузі розвиватимуться: виробництво будматеріалів і пов'язаного з ними обладнання, інжинірингова промисловість, металургійна і металообробна, нафтохімічна, скляна, столярна, порцелянова і гончарна галузі, транспорт, енергетика тощо. І, очевидно, на відміну від інших галузей економіки, будівельна галузь сприяла розвитку малих підприємств, зокрема тих, що спеціалізуються на оздобленні та обслуговуванні, виробництві та монтажі вбудованих меблів тощо

Таким чином, розвиток будівельної галузі зобов'язаний генерувати економічне зростання в країні і створювати необхідні умови для вирішення багатьох соціальних проблем. Однак, на сучасному етапі розвитку, галузь поки що не є конкурентоспроможною. На глобальному рівні будівельній галузі України не вистачає необхідних фінансових та організаційних змін, якщо тенденція побудови організацій у центральних областях та великих містах-мільйонерах чітко простежується на регіональному рівні як першорядна через їх сильну потужність та інвестиційну привабливість.

Цементна промисловість в даний час знаходиться на такому етапі розвитку, що необхідно модернізувати технології виробництва і поліпшити виробництво цементу шляхом оновлення і технологічного оновлення існуючих цементних заводів. Оновлення економічних і технологічних показників галузі потребує модернізації і трансформації.

Збільшити виробничу лінію автоматизації сухого цементу високої врожайності і прискорити розробку і впровадження енергозберігаючих технологій виробництва цементу. Ведеться довготривала робота по підвищенню якості та розширенню асортименту цементу, а також по використанню відходів і природних матеріалів з інших галузей промисловості як виробничих інгредієнтів і домішок для виробництва спеціальних цементів.

Успішне вирішення цих завдань значною мірою залежить від підготовки та кваліфікації фахівців, яким приділяється особлива увага в нашій країні, оскільки, підвищення продуктивності праці в цілому по галузі залежить від навичок і високого технічного рівня працівників на критичних етапах.

Тому одним з основних напрямків економічного і соціального розвитку промисловості будівельних матеріалів є підвищення виробництва цементу і поліпшення якості цементу, тому що конкуренція на ринку будівельних матеріалів зростає. Також необхідно інтенсивніше вводити вторинну сировину, шлак та інші відходи для виробництва будівельних матеріалів.

## 1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНОЇ ПЕЧІ 5x100

Роторні (обертові) печі є одним з найважливіших компонентів технології виробництва цементу. Саме в цих машинах відбуваються найважливіші фізико-хімічні процеси, даючи напівфабрикатам характеристики готового продукту. Виробництво цементу передбачає використання великої кількості теплової енергії.

Ротаційна піч — циліндрична промислова піч, що обертається навколо поздовжньої осі і використовується для нагрівання сипких матеріалів задля подальшої їх фізико-хімічної обробки.[1]

Роторні печі також застосовують для випалювання матеріалів у галузях промисловості: алюмінієвій, хімічній, вогнетривкій, цементній тощо. Однак, вони найбільш широко використовуються саме у виробництві цементу. Блок печі є основним технологічним обладнанням/устаткуванням цементних заводів. Блок обладнаний циркулюючим рідким змащуванням для вузлів печі. Комплекс приладів управління, вимірювальних і налагоджувальних пристроїв і обладнання дозволяє контролювати всі процеси через пульт дистанційного керування оператора.

В даний час переважні різновиди цементу — силікатний цемент, шлакосилікатний цемент і вулканічний зольний цемент. Всі ці види цементу базуються на клінкері, отриманий шляхом спалювання біомаси в печі. Його можна спалювати у вертикальній або роторній печі. Найчастіше, роторні печі використовуються для виробництва цементу сухим способом. Загальна маршрутизація для цього методу включає таку послідовність дій:

- 1) збирання та постачання сировини на сировинну майстерню фабрики;
- 2) дробіння і подрібнення сировини;
- 3) регулювання якості, маси сировини до необхідного стандарту хімічного змісту;
- 4) заготівля палива, призначене для запуску;
- 5) спалювання, виробництво і охолодження цементного клінкеру;
- 6) подрібнення клінкеру і виробництво цементу.

## 2.ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЗОВОЇ МАШИНИ

Продуктивність, т/год. 75

Площа внутрішньої поверхні камери печі вздовж підкладки, м<sup>2</sup> 670

Питома витрата тепла, кдж/кг 3560

1 м<sup>2</sup> клінкерного виймання, кг/(м<sup>2</sup>·год) 60

Відношення довжини до діаметра — 20

Схил % 3.5

Кількість дужок опору — 4

Частота обертання роторної пічки:

-від головного приводу, об/хв 1.53

-від допоміжного приводу, об/хв. 3.24

Потужність двигуна, кВт

- головний привід 400

- допоміжний привід 15

Маса, т:

-обертові частини та футерка 856

-опорний ролик 10.8

-бандаж 35

Діаметр, м:

-опорний ролик 1,2

-бандаж 35

-шплінт для вала на роликах 0,175

### 3. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ, ОСНОВНІ ЇЇ КОМПОНЕНТИ, СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ

Обертіві (роторні) печі призначені для сухого процесу виробництва цементу та застосовуються в інших галузях, де відбувається випалювання, дріблення, сортування і тд (будь-якого матеріалу), (рис.3.1).

Для зменшення енергоспоживання модернізовано конструкцію роторної печі.

Використання п'ятиступінчатих циклонічних теплообмінників зменшує теплову і електричну енергію, що дозволить економити в масштабах виробництва.

Двокамерні декарбонатори використовуються у складі перепічного теплообмінника для ефективнішого спалювання палива та підвищення декарбонізації суміші сировини.

Циліндрична форма камери змішування сприяє зменшенню металоємності і збільшенню стійкості футеровки.

Роторна піч з циклональним теплообмінником, обладнана антикарбонізаційними пристроями і воздуходувом третинного повітря.

Грубний спосіб використовує природний газ як паливо для отримання необхідного якісного клінкеру.

Спеціальна конструкція блоку антикарбоксистації допомагає зменшити деякі оксиди азоту в газах печі і зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Опори печі з роликів підшипників підвищують надійність, знижують витрату електроенергії на 15-20% та зменшують металоємність і розміри приводного агрегату.[2]

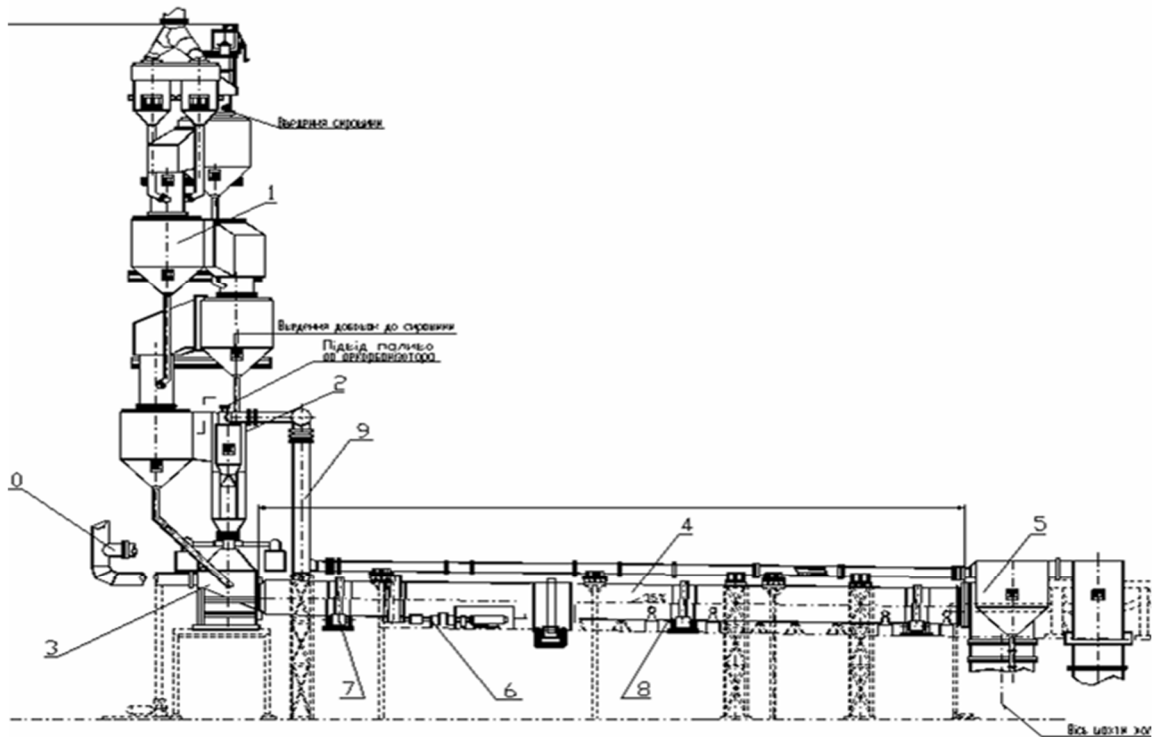


Рис 3.1 Загальний вигляд обертової печі 5×100м з циклонними теплообмінниками.

- 1-блок циклонних теплообмінників,
- 2-узел декарбонізатора,
- 3-загрузочна головка,
- 4-корпус обертової печі,
- 5-холодильник,
- 6-привид печі,
- 7-опора печі,
- 8-гідроупор,
- 9-повітровод.

Вварювальні бандажі покращують надійність опорного агрегату печі, а також твердість корпусу печі і термін служби футеровки печі.

Гідравлічна система опорів забезпечує зворотно-поступальні рухи корпусу печі для зменшення і рівномірного зношування ободу і поверхонь опор.

В приводі реверсивної печі є три режими роботи: Робоче обертання ( $3,2 \text{ хв}^{-1}$ ); повільне (ремонтне) обертання ( $0,2 \text{ хв}^{-1}$ ) і мікроприводне обертання для

автоматичного зварювання швів хомути ( $0.023 \text{ хв}^{-1}$ ). Кожен режим роботи виконується з окремого приводу. Режим "робочого обертання" - від двигуна постійного струму через гнучку пальцеву муфту і циліндричну двоступінчасту коробку передач.

Роторна піч з'єднана з теплообмінником через завантажувальну головку. Перехідна установка складається з завантажувального кінця печі, конусів і пластин з жаростійкими матеріалами і ущільнювачами. Голівка розвантаження з'єднується з обертовою піччу та шахтою холодильника і, при з'єднанні з корпусом печі, розрядник має збільшену секцію з отвором для входу в кінець печі. На протилежному торці головки є двері для вставки пальника в піч.

Охолоджувальний пристрій печі в зоні спікання блокується з налаштуванням температури печі та налаштуванням вентилятора для запобігання перегріву корпусу.

Теплообмінник створений для первинної термообробки і часткової антикарбонізації сировини, шляхом теплообміну з гарячими потоками газу, що виходить з печі і антикарбонізатора. Теплообмінник має понижений аеродинамічний опір повітря і високу ступінь пиловідведення.

Патрубки циклонів надзвичайно довговічні і мають можливість легко замінюватись.

Пропускні сточні канали обладнані гравітаційними затворами з блимаючими вогнями. Ефективні дивертори встановлюються в аеропроході, в який тече матеріал, щоб матеріал рівномірно розподілявся по ділянці повітряного шляху, а теплообмін між газом і сировиною був кращим.

Вузол антикарбонізації складається з антикарбонізатора і змішувальної камери, яка пов'язана з теплообмінником.

Технічне призначення агрегату полягає в тому, щоб перед надходженням у ротовий кильн основний складник сировинної суміші, вапняк, був сильно знекарбонізований.

Декарбонізатор являє собою вертикальну циліндричну камеру з двома камерами попереднього згоряння. Тут проводиться процес концентрованого нагрівання сировинних порошоків у підвішеному стані.

У змішувальній камері гарячий газ декарбонізатора змішується з пічним повітрям і відбувається сильний теплообмін, який допомагає декарбуризувати смолу глибоко. Неспалені частинки палива повторно спалюють у камері змішування.

Повітря зі змішаним пилом надходить через повітряний канал у первинний циклонний сепаратор. При важкому згорянні палива передбачений варіант стрункого кільцевого газового трубопроводу. На вході в піч температура сировинної суміші становить 840—860 °С, а декарбонізація — 85—90 %.

У роторній печі сировинна суміш остаточно нагрівається і утворюється цементний клінкер, який потім подається в морозильну камеру і охолоджується повітрям.

Гаряче повітря з холодильника поступає в піч і декарбонізатор і використовується для спалювання палива. Відпрацьовані гази проходять через розпекаючу димохід у подрібнюючий агрегат для сушіння сировини або для випаровування охолоджувальної установки.

#### **4. АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТА ПАТЕНТНОЇ ЛІТЕРАТУРИ, А ТАКОЖ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ**

Велика кількість існуючих досліджень щодо напрямку технологічного вдосконалення мокрого і сухого виробництва цементу свідчить про те, що майже всі техніко-економічні показники мають значні запаси для поліпшення. У журнальній літературі, посилення на численні промислові експерименти призвели до 10-15% або більше зниження споживання тепла звільненим портландцементним клінкером. Однак, за дуже небагатьма винятками, ці розробки не отримали широкого застосування у вітчизняній промисловості. Основним поясненням цього факту, на думку автора, є те, що поточне виробництво, з його обмеженим ступенем свободи технологічного рішення, не завжди приймає додаткові технічні операції. Крім того, будь-яке технологічне рішення, реалізоване на заводі, повинно забезпечити ряд позитивних впливів, в першу чергу вздовж осі енергопродуктивності-якості. На жаль, не завжди вдається досягти чіткого позитивного ефекту вздовж вищевказаної осі. Складність моделювання технічних процесів за найрізноманітніших лабораторних умов створює труднощі на етапі дослідження. Тільки якщо теоретичні дослідження є високонадійними, можна буде перенести їх фокус безпосередньо на виробництво цементу, пов'язаного з певною часткою ризику. В результаті значення останніх в сучасних умовах і увага, яку їм приділяли продуктивні робітники, значно зростає.

Конструкція роторної печі враховувалася в літературі і патентному пошуку, а її основні компоненти приділяли особливу увагу опорному вузлу печі, оскільки завдання полягало в спрощенні і модернізації вузла. Під час огляду було проведено детальну патентну експертизу цих конструкцій печі та враховано деякі патенти.

У формі патенту наведено перелік патентів, які детально розглянуті.

Зокрема, в патенті № 77826 рекомендується використовувати відому роторну піч, яка складається з циліндра з опорно-резистним вузлом.

Та інші основні компоненти для кріплення неконсольного кільця посилення, як це зазвичай робиться в цьому випадку, але прямокутної форми. Така форма кільця підвищує жорсткість і надійність печі.

У патенті № 27585 справу модернізують. Завдання вирішене

Оскільки роторна піч складається з циліндричного корпусу з вузлами опору і опору і контейнера, що містить рідини, в залежності від корисної моделі, вона монтується на різних висотах по довжині печі, в залежності від величини нахилу корпусу. Корпус повністю розміщується в контейнері, який зроблений з секції, що розташована вздовж корпусу і відокремлена ущільнюючим пристроєм.

Ознаки, перераховані вище, утворюють сутність корисної моделі.

Існує причинно-наслідковий зв'язок між основним набором ознак корисної моделі і отриманими таким чином технічними результатами.

Частини судна безперервно розташовуються уздовж корпусу і відсальюються вертикально один від одного відповідно до нахилу печі відносно горизонтальної лінії. Це зменшує розмір тари, вміст металу і

А навантаження на корпус за рахунок зменшення перепаду тиску в кінці секції, що створює більш оптимізовані умови для механічного навантаження конструкції опори корпусу і допомагає зменшити кривизну.

Патент № 57792 покращує підкладку печі. Недоліком цієї конструкції є те, що підкладка печі не є теплоефективною і достатньо міцною, оскільки її товщина змінюється з часом, через зношування через агресивне середовище. Більше того, це зношування відбувається нерівномірно. Футеровка, виготовлена з вогнетривкої цегли, при використанні в цій конфігурації, змінює свої механічні властивості і гарячу поверхню вогнетривкої цегли під впливом механічних навантажень, викликаних обертанням печі, стислими напруженнями і тепловими навантаженнями, викликаними відмінностями холодної температури. Корисні моделі є задачними. Завдання вирішується тим, що в роторній печі, що містить металевий корпус, футерованій вогнетривкою цеглою, торцеву облицювання корпусу роблять з кліті, заповненої ізоляційним матеріалом і комірка має трапецієподібну форму. При цьому значення нижнього краю трапеції зростає в бік зниження температури печі.

У патенті № 80926 рекомендується відновити опорний блок печі.

Недоліком топки є те, що питомо навантаження на обод і опорні ролики високі за рахунок лінійного стиснення обода і роликів, що може спричинити поверхневий знос. Корисні моделі базуються на завданні зменшення зносу поверхні шин.

Кругова пов'язка була накладена на ряд з 30 сталевих підтримуючих кульок в паз, що призвело до специфічного скорочення і вирішило завдання

Навантаження на обручі і опорні кулі відбувається за рахунок збільшення кількості стиснених поверхонь.

У патенті № 43613 пропонується модернізація печі.

Недоліком заданої конструкції є те, що зношування зворотної підкладки печі може викликати зміну товщини зворотної підкладки печі з часом за рахунок агресивних середовищ. Більше того, це зношування відбувається нерівномірно. Футеровка, виготовлена з вогнетривкої цегли, при використанні в цій конфігурації, змінює свої механічні властивості і гарячу поверхню вогнетривкої цегли під впливом механічних навантажень, викликаних обертанням печі, стислими напруженнями і тепловими навантаженнями, викликаними відмінностями холодної температури. Корисні моделі базуються на підвищеному життєвому житті корпусу, термічній стійкості вогнетривкої цегляної кладки,

Зменшить втрати тепла до зовнішнього середовища печі, ваги підкладки і спрощують її виробництво. Це завдання вирішується за допомогою наступних фактів

Реверсивна піч футерувалася вогнетривкою цеглою, виїмка торця печі трикутна, а бокові — Н1 довгі.

Н2 і заповнений ізоляцією. Ознаки, перераховані вище, утворюють сутність корисної моделі.

У СРСР SU 1768900 пропонується модернізувати опорну секцію.

Для роликового опору роторної печі характерний пружний елемент у вигляді плоского кільця з метою спрощення конструкції та підвищення надійності її роботи. Виготовлені з пружинної сталі, затиснені в циліндричній упаковці, упорні підшипники з'єднані між собою диском, який охоплює нижню пачку плоских кілець. При розгляді зазначених вище патентів було обрано той, що на мій погляд, найбільш підходить для подальшого детального вивчення і впровадження і модернізації в моїй роботі.

### **Опис патенту 84573.**

Винахід відноситься до конструктивних рішень опор обертових печей цементної промисловості.

Відома опора обертової печі, яка включає раму, встановлену на двох опорних роликах, через яку навантаження від корпусу печі через пневмоподушки передається на фундамент, (див. фотографію опори на пневмоподушках печі розміром 5x185метрів). Під час реалізації такої конструкції опори використані авторські

свідоцтва СРСР №153437 та №425031 [стаття в журналі «ЦЕМЕНТ», №7 за 1976 рік „Опыт эксплуатации печи размером 5x185м с опорами на пневмоподушках.] На одній опорі була реалізована конструкція опори з двох полурам за авторським свідоцтвом СРСР №309625. Створена конструкція опори дозволяє підтримувати практично незмінним навантаження на

бандаж корпусу, печі, роликоопору і кожний підшипник ролика при обертанні корпусу печі з скривленою повздовжньою віссю.

З точки зору розрахунку корпусу печі та її опор на пневмоподушках ми маємо двоопорну балку з проміжними силами. Через те що передача навантаження здійснюється через пневмоподушки, забезпечуючи однакове навантаження на кожний підшипник ролика, то в контакті бандаж-ролик це можливо лише в двох випадках: перший - ролик і бандаж контактують по всій довжині контакту і вісь бандажа і вісь ролика паралельні, другий - ролик і бандаж контактують в середній частині ролика, а вісь ролика і вісь бандажа перехрещуються. В другому випадку завжди виникає осьова сила, яка прагне зсунути ролик відносно бандажа, аж поки вісь ролика і вісь бандажа не будуть паралельними (конструкція пневмоподушки це дозволяє) і осьова сила в контакті стане рівною нулю. Така поведінка ролика дуже схожа з поведінкою рояльного ролика або автомобільного причепа.

Недоліком опори на пневмоподушках з цілою рамою, на якій встановлені два ролика, є те, що другий по ходу обертання ролик здатний зайняти положення з забезпеченням контакту по всій довжині бандажа (спрацьовує ефект рояльного ролика), а перший по ходу обертання - ні. Така особливість дворолікової опори на пневмоподушках описана у згадуваній статті в журналі ЦЕМЕНТ. Використання конструкції опори на пневмоподушках з розділенням рами на дві полурами за авторським свідоцтвом СРСР №309625 покращило ситуацію, але радикально проблему не вирішило, особливо в тому випадку, коли бандаж був зварений з двох полукілець і після зварювання на карусельному станку не оброблявся. Запронований винахід повністю вирішує проблему автоматичного забезпечення паралельності площин контакту бандажа і ролика опори на пнев-3 84573 4 моподушках при будь-якому початковому положенні ролика. Пропонується конструкція роликоопори проміжних опор на пневмоподушках багатоопорних обертових печей (див. креслення), яка на своїй рамі 1 має лише один ролик 2, зміщений відносно вертикальної площини, яка проходить через повздовжню вісь корпусу печі 3, в сторону обертання печі з фіксацією рами відносно фундаменту

4 шарнірним упором 5 , який розміщують так, що зони контакту бандаж-ролик та рама-упор знаходяться по різні сторони від вертикальної площини, яка проходить через повздовжню вісь корпусу печі. Виконання цієї умови забезпечує автоматичне установлювання ролика разом з рамою на пневмоподушці (повертанням в площині нахилу печі) відносно поверхні бандажа з рівномірним контактом по всій ширині бандажа, що забезпечує однакове навантаження на подшипники ролика і рівномірний знос бандажа та ролика по всій ширині бандажа та ролика.

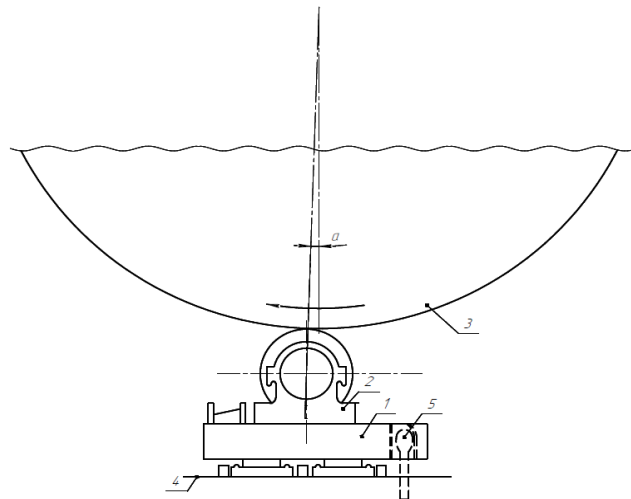


Рис 4.1 Опірний механізм печі

## 5. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Автоматизація виробничих процес є одним з важливих напрямків технологічного прогресу в різних галузях нашої національної економіки. У цей момент засоби автоматизації широко використовуються у всіх областях людської діяльності.

Автоматизація — галузь науки і техніки, що включає в себе теорію і принципи побудови систем управління і набір технічних засобів для їх досягнення. Автоматизація — це складний організаційно-технічний захід, що призводить до зменшення або тотального виключення участі людини в реалізації виробничого процесу.

### 5.1 Цементний клінкерний процес

Цементний клінкер спалюють у роторній печі. Зворотна піч — технічна одиниця для теплообміну у вигляді обертового циліндра на стійці з частотою 0.5-1 хв-1. Матеріал безперервно переміщається в печі за рахунок нахилу (3-5% відносно горизонту) і обертання циліндра на опорі. Циліндр обертається за допомогою водія, вмонтованого приблизно посередині циліндра.

Залежно від характеру процесу, в якому затвердільний матеріал має місце в його різних частинах, роторні печі зазвичай поділяють на сушильні, опалювальні, відкалювальні, Екзотермічна реакція, зони спікання та охолодження. Суміш смоли, яка потрапляє в духовку, нагрівається до температури мокрої колби в сухій зоні. Ця область характеризується конвективним теплообміном між димходом газу і осаду. Більша частина тепла використовується для випаровування фізично зв'язної вологи. Матеріал потрапляє в пластичний стан і пелетизується в кінці області. Зона теплоти характеризується швидким підвищенням температури до 700 °С і зневодненням корисних копалин у суміші з живильнею. Проминаючий теплообмін між підкладкою і матеріалом, між газом і матеріалом, і збережений теплообмін через підкладку всі здійснюються в цій області.

У наступній області, кальцинації, реакція поглинання тепла відбувається при температурах 850—950 °С, коли відбувається дескарбуризація  $\text{CO}_2$  і відбувається

вивільнення CO<sub>2</sub>. Цю область можна вважати теплообмінником з постійною температурою потоку. У екзотермічній реакції та області спікання відбувається пухлинна реакція, внаслідок чого різко зростає температура матеріалу до 1300 °С. Потім утворюється клінкер, отримана рідка фаза діє як каталізатор при температурі 1400 °С, утворюючи трикальцій силікатів. Тут поглинається багато тепла, а температура матеріалу постійна по довжині площі. У зоні охолодження температура клінкеру падає до 1000 °С. Нарешті клінкер охолоджується в холодильнику.

З короткого опису процесу, що відбувається в роторній печі, зрозуміло, що підтримання необхідної температури в певних областях є необхідною умовою для процесу клінкерного випалювання.

## **5.2 Автоматизація спалювання зріючого матеріалу в газонаповнені роторні печі**

Призначення системи автоматичного керування — стабілізація якості горіння і зниження витрати палива при заданому виконанні. Іншими словами, система призначена для підтримки специфічних температур в різних районах печі, а також температури, при якій виділяється газ. Необхідною умовою належної роботи системи є стабільність вхідних параметрів – в піч подається осад і тиск газу. Для регулювання цих величин використовують термостати, вихлопні гази, регулятори тиску шлаку і газу для відвальних і спінюючих ділянок. При цьому в піч подається осад і синхронізується швидкість печі.

Налаштуйте автоматичну систему регулювання так, щоб кожен регулятор діяв менше у разі порушення в попередній області, і компенсував відхилення в процесі в часі, щоб піч не була суттєво порушена на рівні протікання процесу тільки в наступній області.

У газопроводі тиск газу перед діафрагмою флотометра стабілізується регулятором тиску прямої дії. Для забезпечення мінімально можливої витрати палива система має блокуючий контур, що обмежує потік газу відповідно до вмісту кисню вихідного газу.

Оскільки безпосередньо вологість матеріалу за ланцюговою завісою під час роботи печі практично неможливо визначити, це можна визначити непрямым показником, температурою вихлопного газу. Стабілізуючи температуру вихлопних газів, вони підтримують стійкість вологовмісту тієї частини матеріалу в печі. Температура регулюється електронним потенціометром. У камері осаду пилу температура вихлопного газу вимірюється термоелектричним термометром і зчитування термопари записується потенціометром. Якщо температура перевищує допустиму межу, регулятор впливає на механізм заповнення, що змінює відкриття затвора перед детектором диму. Регулятор діє періодично: Він трохи відламує тягу і чекає результату кожного з її рухів, потім (при необхідності) трохи змінює тягу знову, люк не встановлює бажаної температури. Варіація тяги обмежена: Нижня межа регулюється виходячи з мінімальної тяги, дозволеної в області спікання, а верхня межа визначається допустимою кількістю видалення пилу (%). У зоні кальцинації температура регулюється порозним. Температура матеріалу в районі зберігається в певному діапазоні і матеріал готовий до входу в зону і потрібна незначна зміна подачі палива для отримання гарної якості клінкерного пострілу. Для цього, Позиціонер починає працювати лише тоді, коли температура матеріалу опускається нижче встановленого ліміту. У зоні кальцинації температура вимірюється термопар, вмонтованим у спеціальну кишеню. Внутрішня поверхня кишені очищається автоматично. Скребок, з двома напівкривими, надійно кріпиться до важеля, розташованого поза кишеню. Кожна революція печі, нова частина матеріалу потрапляє в мішечок. Термопар монтується в кишеню, тому при зануренні в матеріал його зчитування відповідає тільки температурі матеріалу, тому що під час роботи печі, На термопари можуть впливати фактори, що спотворюють показання: Плавники вздовж щитка, знижують показники, а також випромінювання в підкладці і пилові частинки в газі, збільшують зчитування термопари регулятором температури в області спікання забезпечує заданий температурний діапазон і необхідний потік газу. Зона спікання є основною областю печі – саме тут завершується процес формування клінкеру. Для того, щоб отримати хороший клінкер, в районі необхідно підтримувати температурні умови. Оскільки в області спікання гранично важко виміряти істинну температуру матеріалу, температура матеріалу опосередковано визначається з використанням радіометричного пірометра. Пірометр відчуває повне випромінювання матеріалу, підкладки і факела. Однак радіометрична величина

енергії, що сприймається радіометром, може бути спотворена пилом дрібних клінкерних частинок. Чим менше пилова завіса, тим чіткіше пірометр визначає стан матеріалу в області спікання. Температура області спікання регулюється регулятором з надійним зворотним зв'язком, забезпечуючи постійне задане співвідношення між читанням радіометра і витратою палива. Регулятор керує поворотним регулюючим клапаном, встановленим на газовій трубі перед соплом, що логічно з'єднує роботу термостатів кальцинації і засмічування площі в системі автоматичного регулювання роботи печі. Якщо температура матеріалу в області кальцинації нижче встановленого рівня, регулятор температури в області спікання не зменшує подачу палива в піч до тих пір, поки температура в області кальцинації не повернеться в нормальну. Для того, щоб система автоматичного регулювання була стабільною і ефективною, вимоги процесу повинні суворо дотримуватися.

### **5.3 Опис схеми автоматизації**

У перший момент отримуємо сигнал відхилення температури від датчика температури (термопари) ТКК-2088, контур 22, від термопари, у вигляді термоЕМФ, і від сигналу термопари до вторинного перетворювача ТП-пт-68 (контур 22, Елемент 2), необхідно перетворити тепловий ЕМП на стандартне значення 0.5 вольт, сигнал від вторинного перетворювача надходить в прилад в стандартному вигляді для запису температури і контролю міліампового метра пишуть сам КСУ-2, (контур 22 прилад 3), Сигнал з реєстраційного пристрою надходить на прилад регулювання і керування електронним регулятором Р-12 (контур 22, пристрій 4), з якого він подає в панель боєприпасів VY-12 (контур 22, пристрій 5). Тут сигнал дробиться, досягає підсилювача U-252 (контур 22 пристрій 6), звідти надходить електромагнітний стартер МКР-058 (контур 22 пристрій 7), індикатор HL12 системи стартерного сигналу залишає ініціатора, На стартер також встановлена кнопка ручного управління КУ-123 з сигналізацією HL13 (контур 1, пристрій 8), через електромагнітний стартер. Живлення подається на клапан, що закривається або відкриває протоки по лінії зв'язку. Саме так регулюється система подачі повітря.

## 6. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

### 6.1 Опис ідеї проекту

Початок двадцятого століття славиться значними досягненнями в будівельній галузі. Швидкі темпи будівництва вимагають розробки нового більш ефективного бетону. Основою бетону є цемент, який починає свій шлях з кар'єру, але основний етап проходить в обертівій печі.

Таблиця 6. 1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Оновлена конструкція корпусу для випалу клінкеру	Виготовлення цементу	Підвищення продуктивності проведення процесу
		Перемішування та формування неоднорідних сумішей з новим складом компонентів
		Вища якість продукції
	Застосування простішого обладнання	Підвищення енергоефективності проведення процесу
		Зменшення витрат на придбання обладнання

На даний час розроблена модернізація існуючого обладнання (модернізація печі). Ми гарантуємо ефективність нововведених модернізацій та їх швидку окупність за рахунок підвищення енергоефективності, покращення основних показників готової продукції тощо.

Проект передбачав створення технічної документації та креслень за допомогою комп'ютеризованої системи проектування. Проект також сприяє впровадженню інновацій, вирішенню проблем, що виникають на виробництві, організації процесів і наданню необхідних довідок, встановленню нового

обладнання та його автоматизації, навчанню персоналу, а також допомагає впроваджувати інновації в обладнанні при виникненні проблем.

Проаналізовано потенційні техніко-економічні переваги ідеї порівняно з пропозиціями конкурентів:

- Перелік техніко-економічних ознак і характеристик, що визначають ідею;
- Визначили попередній обсяг конкурентів (проектів-конкурентів) або замінників або подібних товарів, які вже присутні на ринку, і зібрали інформацію про значення техніко-економічних показників для власних проектів та ідей для проектів-конкурентів, як визначено вище перелік;
- Проведено порівняльний аналіз показників: показники з а) поганим значенням (W, слабкий) були визначені відповідно до власних уявлень; б) подібні (N, нейтральні); в) найкраще значення (S, сильний), як показано у таблиці 6.2. .

Таблиця 6.2 – Визначення сильних, слабких і нейтральних характеристик проектних ідей

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Кон- курент 1	Кон- курент 2	Конку- рент 3			
Вартість кільця жорсткості, грн	50000	75000	69000	100000	-	-	+
Витрата електроенергії, кВт/год	100	95	100	10	-	+	-
Продуктивність, т/год	78	60	50	70	-	+	-
Вихід бракованої продукції, т/год	1,2	3,4	5,2	2,2	-	-	+

Головна перевага перед конкурентами: гарантовано вищі результати в короткострокових зусиллях з модернізації. Проект працює за трьома основними робочими критеріями - надійність, ефективність і безпека виробленої продукції.

Завдяки співпраці оновлений бізнес стане більш енергоефективним, а якість продукції, що виробляється, підвищиться. Тобто компанія стане більш конкурентоспроможною на українському та світовому ринках. Крім того, одним із основних напрямків діяльності проекту є: створення кращих умов праці для працівників та збереження їх робочих місць, а також зменшення забруднення навколишнього середовища підприємств.

Цемент використовується в збірних і монолітних конструкціях, що піддаються знакозмінним навантаженням.

Розробляємо стартовий проект за цією методикою.

Конструкція змішувального елемента показана на малюнку. 6.1.

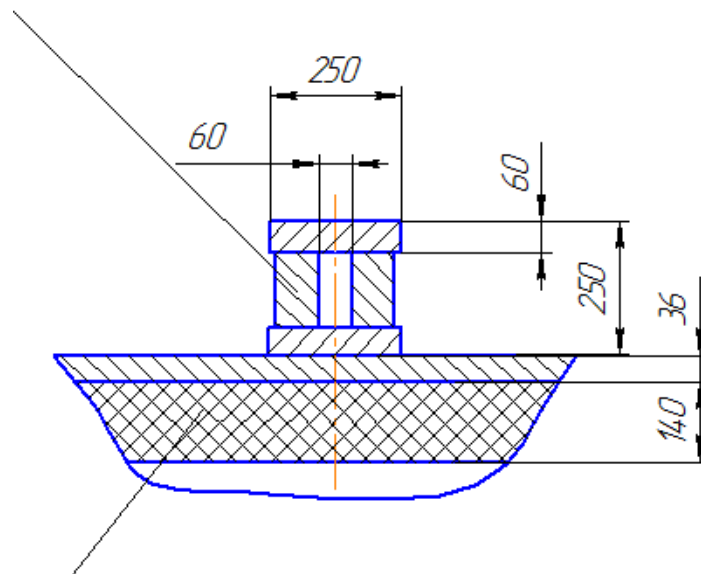


Рисунок 6.1 – Конструкція кільця жорсткості

Визначення технічної здійсненності концепції проекту передбачає аналіз наступних компонентів:

1. Згідно з ідеєю проекту, яка технологія буде використана для виготовлення продукту? Через складність поверхонь, які потребують обробки, елементи кільця жорсткості виготовляються на спеціальному металорізальному обладнанні та верстатах з ЧПК. Чи існують такі технології, чи їх потрібно створювати? Ці технології існують. Не потрібно їх розвивати/завершувати.

2. Чи можуть автори проекту використовувати ці технології?

Так, такі технології вже доступні.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
	Інтенсифікація процесу цементних виробів	Модернізована конструкція печі для виробництва цементних виробів	На даний момент відомо багато конструкцій печей, однак процес варіння можна зробити ефективнішим.	Література для вивчення процесу варіння представлений декількома авторами, для підвищення конкурентоспроможності потребує подальшого вивчення
2	Підвищення енергоефективності	Додаткова модернізована печі, нова технологічна лінія виробництва цементу	Наявні, відомі конструкції модернізуються	На ринку представлено декількома основними виробниками цементного обладнання
3	Оптимізація та автоматизація процесу виробництва	Модернізована система автоматизації	Наявні, проводиться модернізація	Є доступними для купівлі, впровадження в виробничий процес

Згідно результатів аналізу, можливості технологічної реалізації проекту, а також технологічного шляху, яким це доцільно зробити – є можливим.

## **6.2 Аналіз ринкових можливостей для запуску підприємницьких проектів**

Визначте ринкові можливості, які проект може застосувати в процесі реалізації на ринку, і ринкові загрози, які можуть перешкоджати реалізації проекту, щоб ви могли спланувати напрямок розвитку проекту відповідно до ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів і пропозицій для конкурсних проектів.

Спочатку було проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 6.4). Виробництво зросло до 2008 року. Така ситуація на ринку нерудних будматеріалів зумовлена зростанням обсягів будівництва в країні.

Спад і відновлення виробництва бетону в 2009-2011 рр. Спостерігається негативна динаміка через фінансову кризу та зупинку будівництва.

В Україні працюють наступні виробники бетону: Державний виробник будівельних матеріалів ТМ «Бетон від Ковальської», компанія, що спеціалізується на виробництві та постачанні готового бетону «HAUS-BETON», продаж будівельних матеріалів «Стройкомфорт», виробник бетонних сумішей. та ЗБВ "АСТОР", ТОВ "БЕТОН ЕНЕРГО", ТОВ "Промбуд Центр", ТОВ "Бетонбуд". Крім того, є невеликі виробничі підприємства та фабрики, які мають виробничі потужності, але не можуть функціонувати через брак сировини. У таблиці 6.4 наведені попередні характеристики потенційного ринку стартап-проектів.

Таблиця 6.4 – Попередні характеристики потенційних ринків для ініціюючих проектів

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість основних гравців, од	4
Загальний обсяг продаж, грн/ум. од	500
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масштабність
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ, ISO для продукції, а саме вимоги до токсичності тощо.
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	67

За результатами аналізу таблиці робимо висновок, що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 6.5).

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в бетонних виробках, потреба в підвищені якості виробництва	Компанії по виготовленні будівельних матеріалів.	ДСТУ, ГОСТ, ISO	- до продукції: якісна структура бетону та відповідність всім нормативам, щодо міцності, токсичності; - до компанії-постачальника: якість постачання, швидкість, доступність.

Провевши аналіз ринкового середовища: склали таблиці факторів, що сприяли реалізації проекту на ринку, і тих, що перешкоджали (табл. 5.6, 5.7). Фактори в таблиці повинні бути перераховані в порядку зменшення їх значення.

Фактори поділяються на внутрішнє маркетингове середовище та зовнішнє маркетингове середовище. Фактори внутрішнього маркетингу включають власні кошти, інтелектуальні ресурси, технічні ресурси, матеріальні ресурси та вибір місця для підприємницьких проектів. Зовнішнє маркетингове середовище підприємницьких проектів включає природне середовище, політико-правове середовище, соціальне та культурне середовище, економічне середовище, технологічне середовище та середовище населення.

Ми включили фактори загрози в таблицю 6.6.

Таблиця 6.6 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Політико-правові «Закон України про підприємницьку діяльність». «Закони України про ліцензування певних видів господарської діяльності».	Може вплинути на працездатність проекту, купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару Недостатня підтримка державою нових підприємців. Дорого вартісні ліцензії, заборона на діяльність без ліцензії.	Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця. Зміна напрямків імпорту/експорту
Природні: Вплив температури повітря, вологості на структуру цементу.	Руйнування інфраструктури. Проведення досліджень на вплив температури і вологості на структуру цементу	Протидія стихійним явищам, Розробка більш морозостійких цементних виробів

Економічні: інфляція, підвищення цін на сировину	Впливає на купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару	Підвищення/пониження ціни на продукт
Науково-технічні: Зміниться технологія виготовлення товару	Невідповідність технологій споживчих та послуг науково- технічному розвитку. «Консервативність споживачів до запровадження інновацій».	Постійний пошук та моніторинг актуальних тенденцій в обраній та в суміжних сферах діяльності. Інноваційна діяльність.
Демографічні: Зниження народжуваності та кількості населення.	Впливає на купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару	Пошук нових клієнтів для виробництва бетону.
Соціально- культурні: «Консервативність споживачів до запровадження інновацій».	Небажання споживачів купувати нове обладнання	Пропонувати споживачам замість купівлі нового обладнання модернізацію їх виробництва за допомогою наших послуг

Таблиця 6.7 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Науково-технічні застарілі конструкції цементного обладнання	Поява нової технології виробництва бетонних виробів.	Розробка нового обладнання та конструкцій змішувальних елементів. Впровадження даної технології та декларування

Невідповідність продукції наших споживачів та наших послуг науково-технічному розвитку галузі, створення нових рецептур бетонних виробів		власної ціни на дану пропозицію.
Демографічні: Розвиток будівельної галузі	Збільшення населення, покращується попит на продукцію	Збільшення числа потенційних клієнтів в майбутньому.
Економічні: низьке забезпечення сировиною в Україні для переробки іншими компонентами композиції	Впливає на купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару	Підвищення/пониження ціни на продукт
Природні: вплив температури повітря, вологості на структуру бетону.	Розробка більш морозостійких бетонних виробів	Протидія стихійним явищам

Проводимо аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку, отримані дані заносимо до таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: олігополія	Невелика кількість конкуруючих фірм, при цьому хоча б одна або дві з них, виробляють значну долю продукції даної галузі	Пропозиція унікального продукту на ринку, який дозволить знизити високий бар'єр входу на ринок
2. За рівнем конкурентної боротьби: національний	Забезпечення конкурентоспроможності на світовому ринку	Пропозиція продукту з урахуванням вимог до наслідків його реалізації місцевих громад
3. За галузевою ознакою: галузева	Конкуренція за більш вигідні умови виробництва, за розширення ринків збуту своїх товарів, за одержання найбільшого прибутку між конкурентами в одній галузі	Підвищення ефективності всієї галузі, її технічний рівень та конкурентоспроможність, удосконалення структури виробництва відповідно до нових потреб.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова	Зосередження конкурентоспроможності на якості товару	Постійний моніторинг ринку щодо появи продуктів( технологій) заміників

5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Технічні переваги, впровадження нововведень, найефективніші методи збуту товару	Зосередження конкурентоспроможності на якості товару, наданні додаткових послуг та збільшення асортименту
6. За інтенсивністю: марочна	Репутація проекту, створення власного ім'я	Створення високого рівня ділової репутації, що сприятиме впізнаваності стартапу

Після аналізу конкуренції робимо більш поглиблений аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера. Згідно цієї моделі розглядаємо 5 основних сил, які необхідно врахувати перед виходом на ринок, опис наведено в таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	ТМ «Бетон від Ковальсько ї», ХАУС-БЕТОН, Стройкомфорт, ASTOR, тощо.	Конкурентом може стати підприємство, яке почне співпрацювати з технічними вузами.	Напрям по дробутті сировини, (бажано купувати сировину в Українських виробників наприклад компанія «БЕТОН ЕНЕРГО» та ін.)	- не конкурентоспроможне обладнання; - високі ціни на товари ; - не якісні послуги; - без інноваційність.	Інші матеріали (метал, деревина, кераміка та інші композиційні матеріали)

Висновки:	На даний момент більшість конкурентів не створює новий цемент та модернізації обладнання для їх переробки.	- Вхід на ринок можливий, внаслідок того, що промисловість потребує велику кількість конструктивних матеріалів, якими є бетон. - нових конкурентів не знайдено.	Час, ціна та якість сировини для переробки і поставки комплексуючих та його мінімальна вартість.	Клієнту завжди необхідно: Конкурент-носпроможне обладнання за низькою ціною якісне та інноваційне	На даний момент бетон є найпоширенішими матеріалами тому замітники бетону в більшості галузей промисловості відсутні.
-----------	--	--	--	---	---

На основі отриманого конкурентного аналізу було визначено ринкову конкуренцію, і важливим конкурентним рішенням є розробка технології гібридної полімерної композиції шляхом модернізації та створення нового технологічного обладнання.

На основі проведеного в таблиці 5.9 аналізу конкуренції з урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 5.2), вимог споживачів до продукту (табл. 5) та факторів маркетингового середовища (табл. 5.6, 5.7) складено конкурентний список силові фактори

### 6.3 Висновок

Під час розробки стартап проекту було зроблено висновок про можливу ринкову комерціалізацію проекту. На користь цього свідчить наявність попиту.

У проведеному аналізі були визначені стратегії продажу послуг та вплив основних факторів на попит на послуги, що надаються нашим проектом. Але згідно з отриманими даними наші проекти мають:

- Можливість ринкової комерціалізації проекту, оскільки пропоновані послуги мають наявний попит, динаміку ринку, прибутковість роботи ринку;
- Перспективи впровадження для потенційних груп споживачів, таких як малі та середні підприємства, що займаються переробкою полімерних матеріалів та суміжні підприємства;
- Для ринкової реалізації проекту в якості альтернативи реалізації рекомендовано створення наукових семінарів та участь у виставках у цій галузі.

## 7. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

Для безпечної роботи роторної печі:

- 1.1 обслуговування персоналу, який розуміє правила проектування та безпеки.
  - 1.2 металеві труби повинні використовуватися для електричних і освітлювальних мереж.
  - 1.3 забезпечують адекватне освітлення робочого місця.
  - 1.4 не допускайте, щоб іноземні об'єкти заклепували робоче місце і забезпечували доступ до печі з усіх напрямків.
  - 1.5 під час роботи на висоті вище одного метра користуйтеся драбиною.
  - 1.6 піч не повинна бути зданий в експлуатацію, якщо вона виявляється несправною.
  - 1.7 під час роботи від'єднайте пристрій від мережі і встановіть знак "не вмикай" на панель керування.
  - 1.8 ремонт виконується на +35С
  - 1.9 щонайменше дві особи, одягнені в спецодяг, з адекватною вентиляцією ящика, оглядають і ремонтують в середині печі. При цьому знак «людина в барабані» повинен бути вивішено.
  - 1.10 для обслуговування використовують ручне освітлення з напругою не вище 12 вольт.
  - 1.11 під час запуску та зупинки механізму необхідно випромінити звуковий сигнал.
  - 1.12 дозволено ремонтувати лише електрообладнання та електропроводку.
  - 1.13 стартова техніка та зворотні печі повинні бути надійно заземлені.
  - 1.14 робоча платформа і драбина повинні бути надійно закріплені для безпеки і легкого обслуговування; ширина платформи повинна бути не менше 55 см, а висота огорожі повинна бути не менше 1 м. На підлозі, що оточує майданчик, було встановлено безперервну оболонку довжиною 150 см. Між піхвою і поручнею 500 см від підлоги встановлюється додаткова рейка. Підлоги в робочих місцях і переходах повинні бути зроблені з твердих гофрованих металевих листів або спеціальних решіток. Драбини повинні мати зручні поручні.
- Готують і виконують роботу.
- 2.1 Перевірте стан та послідовність роботи електрообладнання та правильне змащення обладнання.
  - 2.2 барабанів бега без зарядки холодного 3...6 годин.

2.3 Обкатування барабану, під навантаженням за участі гарячого газу. Гаряче обкатування продовжується 24 години.

2.4 Барабани не можна запускати, якщо:

- Послаблене кріплення, опору і цілісність деталей приводу;
- Вібрація і жолоб в приводному елементі і опорному блоці

При проектуванні нового обладнання та модернізації існуючого обладнання, повний розгляд повинен бути наданий вимогам існуючого законодавства про працю та охорону навколишнього середовища.

До складу виробничого та природоохоронного об'єднує питання безпеки праці, усунення причин травмування та профілактики профзахворювань, нещасних випадків на роботі тощо; питання правового захисту праці.

Забезпечення нормальних умов праці різними способами є одним з найважливіших завдань у покращенні національного добробуту. Його рішення базуються на комплексній механізації та автоматизації складних і шкідливих виробничих процесів та всебічному впровадженні сучасних заходів безпеки для створення на виробничому майданчику нормальних санітарно-гігієнічних та побутових умов.

Модернізація роторної печі за цим дипломним проектом використовується в промисловості будівельних матеріалів, з метою виробництва бетону мокрого.

При розробці цієї частини слід розглянути та розробити наступні питання охорони праці та безпеки:

- Повітря в робочій зоні;
- Промислове освітлення;
- Електрична ударна небезпека;
- Шум виробництва;
- Експозиції до рухомих і обертових частин пристрою;
- Пожежна безпека.

## 7.1 Повітря в робочій зоні

Згідно з ГОСТ 12.1.005-88, робота слюсаря, що обслуговує роторну піч, потрапляє в категорію легкої роботи з витратою енергії 630 кДж/год Приміщення — це приміщення без видимого перегріву, до 84 кдж/м3\*год Для цього виду роботи в таблиці узагальнюються прийнятні і фактичні параметри температури робочої зони, відносної вологості і швидкості потоку повітря відповідно до прийнятних значень специфікації для мікрокліматичних умов. 7.1

Таблиця 7.1.

Сезон	Категорія робіт 1б					
	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Допуст.	Фактич.	Допуст	Фактич.	Допуст.	Фактич.
холодний	1 9-25	19- 20	1 9-20	40- 65	Не більш 0,2	0.2
теплий	1 9-25	19- 20	2 0-20	40- 70	Не більш 0,2	0.2

Фактичні параметри погодних умов відповідають ГОСТ 12.1.005-88 і забезпечуються:

У холодну пору року приміщення нагрівається до  $t = 60 \cdot \text{куб.} \cdot 5 \cdot \text{куб.}$

Під час теплої пори року вентиляція зазвичай проходить через отвори над вікнами, через двері.

Робочий кабінет керування розташований у приміщенні. Розмір кімнати:

$S = 6'12'' \cdot 4 = 288 \text{ м}$  там може бути досягнуто цементного пилу.

$2004 = 1152 \text{ м}$  - збільшення на 10-30%

$1152 \text{ м} = 1500 \text{ м}$ .

Вентилятор МС-4, число обертів  $n = 1410$ , ККД = 0.35

За даними SNIP 2.04.05-84 - для любителів, темп виробництва дорівнює 1500 м.

## 7.2 Промислове освітлення

Протягом дня виробничий майданчик освітлюється природним світлом. Для цього бокове освітлення відбирається через світлові канали на зовнішніх стінах. Розміри вікон — 15х20м, а кількість вікон — 10. КРО = 1.6%.

За даними СНиП II-4-79, обслуговування обладнання підпадає під категорію VI підгрупи " а ", тобто загальний моніторинг процесу. При цьому оператор роторної печі повинен мати освітленість робочої зони  $E_{нор}=150$  лк.

Обладнання в три зміни, безперервного виробництва. У темний час, використовують внутрішнє загальне освітлення люмінесцентними лампами ЛДЦ-40, потужністю 55 Вт, світловий потік  $F=2100$ лм, Освітлення  $E_{\phi}=100$ лк.

Розрахуємо світловий потік:

$$F = \frac{150 \cdot 1.4 \cdot 600 \cdot 1.15}{55 \cdot (32/100)} = 8232.9 (\text{лм}) \quad (7.1)$$

$$E_{\phi} = \frac{FN\eta}{Sk_3\alpha} = 151.2 \quad (\text{л.к}) \quad (7.2)$$

Після визначення світлового потоку лампи, вибирають газорозрядну лампу 250 Вт типу ДРЛ-250, світловий потік  $F = 1900$ лм (8% відхилення від розрахункового світлового потоку, тобто допускається) при 220 напрузі

Тоді фактичне освітлення буде  $E_{\phi}=160$ , що відповідає СНиП II-4-79

## 7.3 Небезпека можливого ураження струмом

Згідно з чинним регламентом виробничі майданчики, на яких встановлено пункт контролю віддачі печі, класифікуються як небезпечні зони для ураження електричним струмом.

Блок живиться трифазною напругою 220/380 в з частотою 50 Гц і ізольованим нейтральним дротом.

Причини ураження персоналу можуть бути наступні:

- Невірний вмикання;
- Пробій корпусу;

- Контакт між особами і відкритими електропровідними частинами електрообладнання;
- Старіння ізоляції та втрата ізоляційних властивостей;
- Парки пристрою, які можуть бути заряджені під час впливу короткого замикання.

Трифазний ланцюг з напругою до 1000 В вважається трипроводним контуром з ізольованою нейтраллю відповідно до Положення електроустановки (ПУЕ).

Для трипроводної мережі з нейтральною точковою ізоляцією в режимі роботи струм, що протікає через людину при контакті з однією фазою, дорівнює:

$$I_4 = \frac{U_{\phi}}{R + \frac{r}{3}} = \frac{220}{1200 + \frac{80000}{3}} = 0.0078(A), \quad (7.1.)$$

де  $U_{\phi} = 220\text{В}$  - фазну напругу;

$$R_{\text{ч}} = R_{\text{мч}} + R_{\text{о}} + R_{\text{н}} + R_{\text{кп}} = 800 + 250 + 100 + 50 = 1200 \text{ Ом} - \text{опір людини};$$

$r$ -опір мережі

Тому ризик сприйняття людини залежить від опору контуру людини. У міру зменшення цих опорів небезпека зростає.

Довготривале амортизаційне значення за звичайних умов, приймаючи силу струму  $I = 0.01\text{А}$ , і дозволяючи силі струму, рівній силі струму у випадку тривалого шоку при напрузі, не нехтування розладами ритму.

Допустимі значення для контактної напруги визначаються як:

$$U_g = I_4 \cdot R_4 = 0,01 \cdot 1200 = 12(B). \quad (7.2.)$$

Для короткочасного перебування під напругою

$$U = I_4 \cdot R_4 = 0,065 \cdot 1200 = 78(B), \quad (7.3.)$$

де  $I_{\text{чм}} = 0,065 \text{ А}$  - сила струму, що допускається, при дії в плінні 1 сек.

Забезпечує безпечну роботу обладнання через ряд організаційно-технічних гарантій: Ізоляцію з використанням низької напруги, захист мережі, контроль і запобігання пошкодження ізоляції, подвійну ізоляцію, Забезпечення недоступних живих частин, захисного заземлення, встановлення на нуль, захисного відключення, Використання персонального захисного спорядження тощо

Для запобігання травмуванню рекомендується дотримуватися наступних заходів безпеки:

- Монтажні вимикачі повинні розташовуватися в виділеній шафі;

- Розміщувати кабелі живлення у спеціальному металевому захисному рукаві;
- Забезпечують спеціальне захисне відключення пристрою у випадку попадання людини під напругу;
- На панелі керування передбачений спеціальний ліхтар для увімкнення пристрою;
- Вузли установки, що можуть виявитися під напругою, постачити затисками для підключення заземлення.

Заземлення установки згідно ГОСТ 12.1. 030-81.

Біля датчиків заземлення нанести незмивний фарбою знаки «Земля» за ГОСТ 12.1.030-81.

Перевірте електричну міцність ізоляції при пробній напрузі 200В при 50 Гц за 1 хвилину.

Опір ізоляції повинен бути не менше 0.5 мОм.

Електрообладнання, встановлене на робочому місці, повинно мати клас захисту Ір-51 ГОСТ 14254-80.

Ізоляція провідників виміряється мегаамперметром П044Т У25-0.4-1970-80.

При заземленому обладнанні отримуємо такий розрахунок :

$$I_4 = \frac{U_{\phi}}{R + \frac{r}{3}} = \frac{220}{1200 + \frac{80000}{3}} = 0.0078(A), \quad (7.4.)$$

тоді це будуть обґрунтовані подальші розрахунки.

## 7.4 Виробничі шуми

Оскільки роторна піч працює по відношенню до механічного руху, він неминуче виробляє шум, який шкідливо впливає на органи чуття людини.

Основними джерелами шуму є:

- Електродвигун;
- Шестерні;
- Ланцюговий привід;
- Редуктор;

Рівень звукового тиску в октавній смузі для постійного робочого місця і еквівалентних звукових умов не повинен перевищувати допустимих значень, зазначених в ДСН 3.3.6.037-99, при роботі печі.

Оскільки під час роботи роторної печі шум не є постійним, максимальний встановлений рівень звуку на робочому місці відповідає значенню 80 дБ. При такому рівні звуку робітничий слух може зберігатися протягом 20 років.

Рівень звуку обертової печі досягає 75 дБА.

Тому фактичний рівень звуку знаходиться нижче прийнятного рівня.

## **7.5 Небезпека впливу рухомих частин та частин, що обертаються**

Небезпечними рухомими і обертовими компонентами роторної печі є:

- Корпус печі;
- Бандажі;
- Привід зубчастої передачі;
- Муфта головного редуктора;
- Муфта допоміжного редуктора;
- Гідромуфтою;
- Опорні ролики;

Ці механізми небезпечні тим, що можуть завдати механічної травми. Для запобігання травматизму встановлюються огорожі та щитки.

Для огороження використовують екран, зварений з полюса у вигляді решітки.

Поворотний механізм двигуна і зчеплення встановлюється в нерухомому корпусі.

## **7.6 Пожежна безпека**

Особливою небезпекою для печей є можливість утворення і вибуху газу внаслідок пошкодження труб. Суміш газу і повітря вибуховою при досягненні певної частки газу в суміші. Мінімальні і максимальні значення вмісту горючих газів у газоповітряній суміші називають нижньою і верхньою вибуховими межами, відповідно. Межі вибуху різні для різних вуглеводневих газів. Чим більше важких вуглеводнів у газі, тим вужча межа вибуху

Правила безпеки для підтримки окремих вузлів або обладнання повинні бути визначені в інструкціях з експлуатації для кожного блоку. Нижче наведені загальні вимоги.[9]

Всі лотки і канали обрамлені кутовим залізом і покриті залізними або залізобетонними плитами.

Всі ямки, прорізи і отвори в підлогах і міжрівневі стелі, переходи і мости повинні бути оточені поручнями не менше 1 метра заввишки

Пожежна безпека за ГОСТ 12.1.004-91 забезпечується системами протипожежної охорони, протипожежним захистом, організаційно-технічними заходами.

Системи протипожежного захисту для електрообладнання включають в себе управління і запобігання електричної ізоляції, наявність запобіжників і запобіжників в електрообладнанні, а також використання заземлення для запобігання електростатичній напрузі.

Системи протипожежного захисту забезпечують аварійне відключення та переключення обладнання; наявність первинних засобів гасіння пожеж, у тому числі вогнегасників типу ОУ або вогнегасників сухого порошку; систем сповіщення, освітлювальних та акустичних сигналів; захист легкозаймистих частин обладнання матеріалами; звукоізоляцію стін та стель негорючими матеріалами; Установка автоматичної протипожежної системи в приміщеннях, де немає робітників; габарити студичних дверей (евакуація в разі пожежі) такі: Ширина дверей становить не менше 1.5 м; висота дверей — не менше 2.0 м; — ширина коридору — 1.8 м; робоче місце повинно мати два виходи; Відстань від найдалшого робочого місця не повинна перевищувати 100 м (СНиП 2.09.02-85)

Організаційні заходи протипожежного захисту

1. Підготовка персоналу в процедурах пожежної безпеки;
2. Наявність необхідних інструкцій і постерів, плану евакуації у разі пожежі.

Приміщення роторної печі класифікується як пожежонебезпечне. Завдяки використанню високотемпературного обладнання в приміщенні, він повинен бути класифікований як кімната пожежонебезпеки "В". Пожежонебезпека класу П1 через електричну установку в приміщенні. Розташування перетворювача можна класифікувати як вибухонебезпечне місце розташування.

Виробничі приміщення згідно СНиП 2.01.02-85 “Протипожежні норми”, є I або II ступенів вогнестійкості.

Будинки повинні бути обладнані основними засобами гасіння пожеж: Внутрішніми пожежами, ручними і переносними вогнегасниками, сухим піском, азбесточними одежами. Пожежні пробки повинні бути встановлені в коридорах,

сходових клітках і виходах. Вогневі заслінки повинні бути обладнані ручним гасником CO<sub>2</sub>, оскільки в таких місцях рекомендуються хімічні засоби пожежогасіння. Вуглекислий газ використовується для гасіння пожеж в обмежених просторах, таких як в технічних відділеннях, щоб зупинити постачання кисню повітря до джерела вогню.

Ручні вогнегасники типів: ОУ-5 і ОУ-8 можуть використовуватися як основний засіб гасіння пожеж. Пінний вогнегасник ОНР типу 10 рекомендований як основний вогнегасник, оскільки вогнегасник з сухого порошку ОПС-6 наявний у приміщенні, але його використання може завдати значної шкоди дорогому електронному обладнанню.

## 8 . ПАРАМЕТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

Вихідні дані: піч, діаметр  $D=5$  м, довжина  $L=100$  м, частота обертання  $n=1.53$  об/хв, нахил печі  $i=4$  град, кількість опор - 4.

### 8.1 Продуктивність печі

Розраховуємо продуктивність печі по формулі

$$\Pi = \frac{3,6 \times N_T}{q_n} = \frac{3,6 \times 76285}{3600} = 78 \text{ т/год};$$

де  $N_T$  — теплова потужність печі,

$$N_T = k_N \times D_{cv}^2 \times L \times k_{II} = 45 \times 4,4^2 \times 100 \times 0,97 = 76285 \text{ кВт};$$

$k=45$ ;  $D_{cv}$  — діаметр печі у світлі,

$$D_{cv} = D - 2 \times \delta = 5 - 2 \times 0,3 = 4,42 \text{ м};$$

$\delta$  — товщина футеровки в зоні спікання,  $\delta=100$  мм;  $k_{II}$ —поправочний коефіцієнт,  $k_{II}=0,97$ ;  $q_n$  — питома витрата тепла на випал перліту,  $q_n=3600$  кдж/кг.

Теплові напруження в зоні спікання перевіряємо, використовуючи вираження

$$\sigma_T = \frac{4 \times N_T}{\pi \times D_{cv}^2} = \frac{4 \times 76285}{3,1415 \times 4,4^2} = 5655 \text{ кВт/м}^2.$$

Отриманий результат не перевищує припустимих значень (до 6000 кВт/м<sup>2</sup> для сухого способу виробництва).

Продуктивність печі як транспортуючого агрегату розраховуємо по формулі:

$$\Pi = \frac{\pi \times D_{cv}^2}{4} \times \phi \times \rho_{cp} \times v_{cp} = \frac{3,1415 \times 4,4^2}{4} \times 0,08 \times 0,6 \times 10^3 \times 37,7 = 76,4$$

т/год;

Тут середня швидкість руху матеріалу в печі

$$v_{cp} = \pi \times D_{cv} \times i \times n = 3,1415 \times 4,4^2 \times 0,04 \times 1,53 = 37,7 \text{ м/год};$$

середня щільність матеріалу  $\rho_{cp}=0,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;

середній коефіцієнт заповнення перетину печі  $\phi =0,08$ .

## 8.2 Потужність приводу обертової печі

Для визначення потужності розраховуємо моменти сил опору обертанню печі. Момент, викликаний нецентрово розташованим у печі матеріалом

$$M_1 = G_m \times a = 4,4 \times 10^5 \times 1.1 = 4.85 \times 10^5 \text{ Н}\times\text{м};$$

де  $G_m$  — вага матеріалу в печі,

$$G_m = F_m \times \rho_{cp} \times g \times L = 1,1 \times 0,6 \times 10^3 \times 9,81 \times 100 = 4.4 \times 10^5 \text{ Н};$$

Площа матеріалу в печі

$$F_m = \frac{\pi \times D_{cp}^2}{4} \times \phi = \frac{3,1415 \times 4,3^2}{4} \times 0,08 = 1,1 \text{ м}^2;$$

де  $a$  - відстань від вертикальної осі перетину печі до центра ваги перетину матеріалу, по формулі

$$a = R_0 \times \sin(\psi) = 2.09 \times \sin(27^\circ) = 0,27 \text{ м};$$

$\psi$ -кут укосу матеріалу в печі,  $\psi=27^\circ$ .

Відстань від центра ваги перетину матеріалу до осі обертання  $R_0$  можна знайти за допомогою рис. 8.1

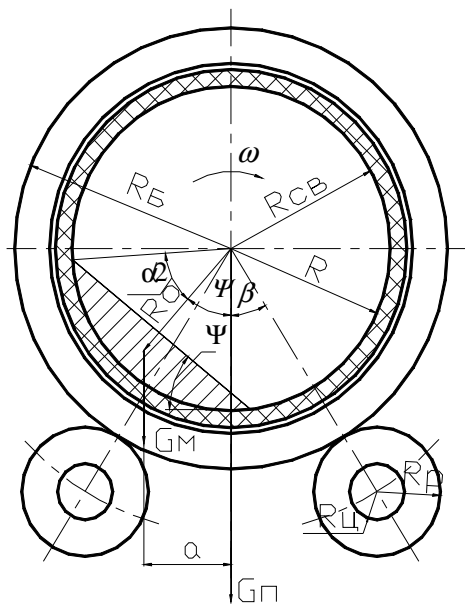


Рис. 8.1 Схема до визначення витрат потужності.

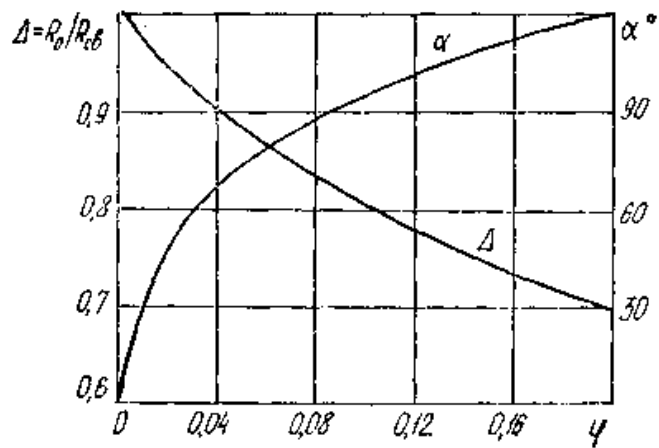


Рис. 8.2 Графік залежності  $\Delta$  від  $\phi$ .

Відповідно до графіка рис. 2. при  $\phi = 0,08$ ,

$$\Delta = \frac{R_0}{R_{св}} = 0,84 ;$$

Оскільки

$$R_{св} = \frac{D_{св}}{2} = 2,3 \text{ м};$$

де

$$R_0 = R_{св} \times \Delta = 2,3 \times 0,84 = 2,09 \text{ м};$$

Момент сил тертя катання бандажа по роликах

$$M_2 = \frac{G_{об} \times \mu}{\cos(\beta) \times R_p} \times (R_p + R_{\bar{o}}) = \frac{4,8 \times 10^5 \times 0,0005}{\cos(32,5^\circ) \times 0,4} \times (0,4 + 1,34) = 4,4 \times 10^4$$

Н×м;

де  $G_{об}$  — загальна вага печі,

$\beta$  — кут установки роликів щодо вертикальної осі  $\beta = 32,5^\circ$ ;

$\mu$  - коефіцієнт тертя катання бандажів по роликах,  $\mu = 0,0005$  м;

Момент сил тертя в підшипниках роликосопор, наведений до осі обертання печі, визначаємо по формулі:

$$M_3 = \frac{G_{об} + z \times G}{\cos(\beta)} \times f \times \frac{R_{ш}}{R_p} \times R_{\bar{o}} = \frac{4,8 \times 10^5 + 2 \times 1,4 \times 10^5}{\cos(32,5^\circ)} \times 0,008 \times \frac{0,13}{0,4} \times 1,34 =$$

$9,4 \times 10^4$  Н×м;

Тут  $z_p$  — число опорних роликів,  $z_p = 2$ ;  $G_p$  — вага одного ролика разом з віссю,  $G_p = 1,4 \times 10^5$  Н;  $f$  — коефіцієнт тертя в конічних роликосопорах,  $f = 0,008$ .

Необхідну потужність електродвигуна знаходимо по формулі:

$$N = \frac{(M_1 + M_2 + M_3) \times \omega}{1000 \times \eta_{\text{гл}}} = \frac{(4.85 \times 10^5 + 4.4 \times 10^4 + 9.4 \times 10^4) \times 0.165}{1000 \times 0.95} = 385 \text{ кВт};$$

де  $\eta_{\text{гл}}$  — к. п. буд. привода,  $\eta_{\text{гл}}=0,95$ ;  $\omega$  - кутова швидкість печі, при максимальній частоті обертання  $n=1,58$  об/хв,

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30} = \frac{3,1415 \times 1.58}{30} = 0.165 \text{ рад};$$

Приймаємо електродвигун АТ2-61-8 потужністю  $N=400$  кВт і частотою обертання  $n_{\text{дв}}=750$  об/хв.

### 8.3 Розрахунок опорно-ходової частини

Контактні напруження в парі бандаж-ролик визначаються залежністю:

$$\sigma_k = 0,418 \times \sqrt{\frac{P \times E}{b} \times \frac{(R_\sigma + R_p)}{R_\sigma \times R_p}} = 0,418 \times \sqrt{\frac{2194 \times 10^3 \times 2 \times 10^{11}}{1.5} \times \frac{(2.5 + 0.85)}{2.5 \times 0.85}} = 284$$

МПа;

де  $P$  - максимальне навантаження на опорний ролик при максимальному навантаженні на опору,

$$P = \frac{Q_{\text{max}}}{2 \times \cos(\beta) \frac{3700}{2 \times \cos(32,5^\circ)}} \text{ кН};$$

$Q_{\text{max}}$  — максимальне навантаження на опору,  $Q_{\text{max}}=3700$  кН;

$E$  — модуль пружності матеріалу бандажа й ролика,  $E=2 \cdot 10^{11}$  Па;

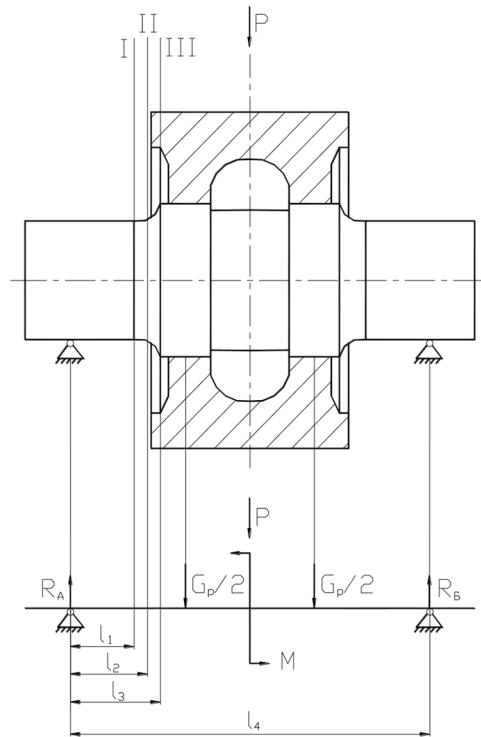
$b$  - ширина бандажа,  $b=1.5$  м.

Контактні напруження, що допускають

$$[\sigma_k]' = 4,9 \times \text{НВ} \times (1 - 0,001 \times \text{НВ}) = 4,9 \times 160 \times (1 - 0,001 \times 160) = 510 \text{ МПа} > \sigma_k = 284 \text{ МПа}.$$

Тут НВ-твердість робочих поверхонь бандажа й ролика по Бринелю, НВ=160

## 8.4 Розрахунок вісі опорного ролика



Визначимо напруження в перетинах I, II по формулі й запаси міцності в цих перетинах (схему навантаження див. рис. 8.3).

Рис. 8.3 Схема навантаження осі опорного ролика.

$$A = P \times f_c = 1500 \times 10^3 \times 0,2 = 300 \times 10^3 \text{ Н};$$

де  $f_c$  — коефіцієнт тертя сталі по сталі,  $f_c = 0,2$ .

Згинальний момент від осьової сили

$$M = A \times R_p = 492 \times 10^3 \times 0,6 = 295,2 \times 10^3 \text{ Н} \times \text{м};$$

Максимальну реакцію опор знаходимо по формулі:

$$R_A = \frac{P}{2} + \frac{G_p}{2} + \frac{M}{l} = \frac{2194 \times 10^3}{2} + \frac{1,4 \times 10^5}{2} + \frac{120 \times 10^3}{2,2} = 1600 \times 10^3 \text{ Н};$$

Тут  $l$  - відстань між опорами, приймаємо  $l = 4,6$  м.

Моменти опору перетинів I, II:

$$W_I = 0,1 d_I^3 = 0,1 \times 320^3 = 3,3 \times 10^7 \text{ мм}^3;$$

$$W_{II} = 0,1 d_{II}^3 = 0,1 \times 345^3 = 4,1 \times 10^7 \text{ мм}^3;$$

Тут  $d$   $d_{II}$  - діаметри осі в перетинах I, II,  $d = 320$  мм,  $d_{II} = 345$  мм.

Нормальні напруги в перетині I визначимо по вираженню

$$\sigma = \frac{R_A \times l_I}{W_I} = \frac{1600 \times 10^3 \times 190}{3,3 \times 10^7} = 9,2 \text{ МПа};$$

Запас міцності отримуємо по формулі з урахуванням ослаблення перетину жолобником:

$$n = \frac{\sigma_{-1} \times k_d \times k_V}{\sigma \times k_\sigma} = \frac{250 \times 0,5 \times 1}{9,2 \times 2,5} = 5,4;$$

де  $\sigma_{-1}=250$  МПа (сталь 40Х);  $k_\sigma$   $k_d$   $k_V$  - ефективні коефіцієнти концентрації напруги для жолобника, впливу абсолютних розмірів поперечного переріза (масштабний фактор), впливу стану поверхневого зміцненого шару. Для визначення коефіцієнтів приймемо радіус жолобника  $r=20$  мм, тоді

$$r/d_{11}=20/320=0,0625;$$

$$d_1/d_{11}=1000/345=2,8985;$$

Знаходимо коефіцієнт концентрації напруги: при виготовленні осі зі сталі 40Х  $\sigma_B=600$  МПа,  $k_\sigma=2,5$ . Одержуємо коефіцієнт впливу абсолютних розмірів,  $k_d=0,5$ . Коефіцієнт впливу поверхневого зміцнення  $k_V=1$ .

У перетині I запас міцності більше припустимого  $[n]=1,5$ . В інших перетинах запаси міцності ще більше.

## 8.5 Розрахунок бандажів

Максимальний згинальний момент у перетині бандажа над опорним роликом визначимо по формулі:

$$M_{из}=a_6 \times Q_{max} \times R=0,08 \times 3700 \times 10^3 \times 2,6=0,42 \times 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

де  $R$  - внутрішній радіус бандажа,  $R=2,6$  м.

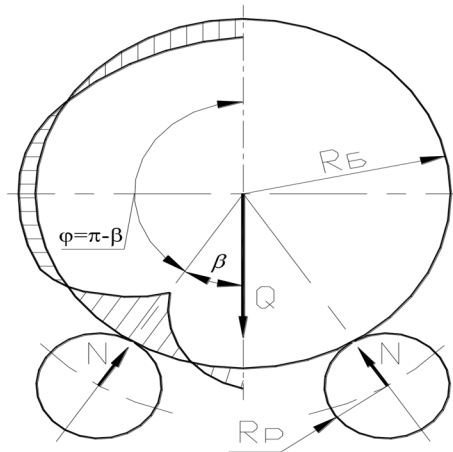


Рис.8.4 Епюра згинальних моментів для кільця, навантаженого ваговим центральним навантаженням й опорними реакціями.

Момент опору перетину бандажа

$$W_{\sigma} = \frac{b_{\sigma} \times h^2}{6} = \frac{1,2 \times 0,15^2}{6} = 0,0436 \text{ м}^3;$$

Тут  $b_{\sigma}$ - ширина бандажа,  $b_{\sigma}=1,2$  м;  $h$  - товщина бандажа,

$$h=R_{\sigma}-R=2,75-2,6=0,15 \text{ м};$$

Максимальні напруги вигину

$$\sigma_u = \frac{M_{из}}{W} = \frac{0,36 \times 10^6}{0,0436} = 8256 \text{ МПа};$$

Необхідні для без соромної сполуки нагрітих бандажа й підбандажної обичайки теплові кільцеві зазори визначаємо на опорі 1 (у холодній зоні) і на опорі 2 (у гарячій) по рівнянню:

$$\Delta_x = 2 \times \alpha \times (R_k \times t_k^x - R_{\sigma.c} \times t_{\sigma}^x) = 2 \times 12 \times 10^{-6} \times (2,2 \times 100 - 2,283 \times 50) = 1,4 \times 10^{-3} \text{ м};$$

$$\Delta_F = 2 \times \alpha \times (R_k \times t_k^F - R_{\sigma.c} \times t_{\sigma}^F) = 2 \times 12 \times 10^{-6} \times (2,2 \times 350 - 2,283 \times 200) = 3,9 \times 10^{-3} \text{ м};$$

Тут  $\alpha$  - коефіцієнт лінійного розширення для сталі,  $\alpha=12 \cdot 10^{-6}$ ;

$R_k$  - зовнішній радіус під бандажної обичайки з урахуванням товщини прокладок,  $R_k=R=2,2$  м;  $R_{\sigma.c}$  - середній радіус бандажа,

$$R_{\sigma.c} = \frac{R_{\sigma}+R}{2} = \frac{2,283+2,2}{2} = 2,24 \text{ м};$$

$t_k^x, t_{\sigma}^x, t_k^F, t_{\sigma}^F$ -температури корпуса й бандажа в холодній і гарячій зонах, відповідно до рекомендацій приймаємо  $t_k^x=100$  °С,  $t_{\sigma}^x=50$  °С,  $t_k^F=350$  °С,  $t_{\sigma}^F=200$  °С.

Знайдені значення теплового зазору забезпечують спроможність бандажа й під бандажної обичайки в нагрітому стані з нульовим натягом. Якщо прийняти зазори на  $\Delta = 4$  мм менше, те забезпечиться посадка бандажа на підбандажну обичайку з тепловим натягом. При цьому відповідно до формули максимально можливий питомий тиск

$$q_T = \frac{\delta}{\frac{\alpha_1 - \mu_1}{E_1} \frac{\alpha_2 - \mu_2}{E_2}} = \frac{0,88 \times 10^{-3}}{\frac{16,5 - 0,3}{1,8 \times 10^{11}} \frac{5,8 - 0,3}{1,8 \times 10^{11}}} = 2,35 \text{ МПа};$$

де  $\delta$ - відносний натяг,

$$\delta = \frac{\Delta}{2 \times R} = \frac{1,4 \times 10^{-3}}{2 \times 2,2} = 0,0015 \text{ м};$$

$$\alpha_1 = \frac{1 + c_1^2}{1 - c_1^2} = \frac{1 + 0,94^2}{1 - 0,94^2} = 16,6;$$

$$\alpha_2 = \frac{1 + c_2^2}{1 - c_2^2} = \frac{1 + 0,84^2}{1 - 0,84^2} = 5,9;$$

$$c_1 = \frac{D_g}{D} = \frac{4,8}{5} = 0,95;$$

$$c_2 = \frac{D}{D_n} = \frac{5}{5,2} = 0,85;$$

$D$  - внутрішній діаметр бандажа,  $D = 2 \times R = 2 \times 2,8 = 5,6$  м;  $D_n$  - зовнішній діаметр бандажа,  $D_n = 2R_6 = 2 \times 2,9 = 5,8$  м;  $D_b$  - внутрішній діаметр під бандажної обичайки,  $D_b = 1,5$  м;  $E$  - модуль пружності для сталі при температурі близько  $200^\circ\text{C}$ ,  $E_1 = E_3 = 1,8 \times 10^{11}$  Па;  $\mu$ - коефіцієнт Пуассона для матеріалу бандажа й під бандажної обичайки,  $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$ .

Далі визначаємо напруги в бандажі, викликувані тепловим натягом. Напруги на внутрішній поверхні бандажа одержуємо, використовуючи рівняння:

нормальне

$$\sigma_0^e = \frac{1 + c_2^2}{1 - c_2^2} \times q_T = \frac{1 + 0,85^2}{1 - 0,85^2} \times 2,25 = 13,4 \text{ МПа};$$

радіальне

$$\sigma_r^e = -\sigma_T = -2,35 \text{ МПа};$$

Напруги на зовнішній поверхні бандажа знаходимо по формулі

нормальне

$$\sigma_0^H = \frac{2 \times c_2^2}{1 - c_2^2} \times q_T = \frac{2 \times 0,85^2}{1 - 0,85^2} \times 2,25 = 10,75 \text{ МПа};$$

радіальне

$$\sigma_r^H = 0.$$

Еквівалентні напруги на внутрішній поверхні бандажа

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{экв}} &= \sqrt{(\sigma_0^B + \sigma_{\text{и}})^2 - (\sigma_{\text{ч}}^B)^2 - (\sigma_r^B + \sigma_{\text{и}}) \times (\sigma_r^B)} = \\ &= \sqrt{(13,04 + 180)^2 + (-2,25)^2 - (10,78 + 180) \times 2,25} = 142,2 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

Напруги, що допускаються, при виконанні бандажа зі сталі 20 ГСЛ  $[\sigma] = 250 \text{ Мпа}$  (забезпечується запас міцності більше 1,5).

## 8.6 Тепловий розрахунок

У результаті розрахунку необхідно визначити: питому витрату тепла, розміри циклонних теплообмінників і обертової печі. Метод теплового розрахунку, а також аеродинамічного розрахунку циклонних теплообмінників, з якого визначають їхні розміри. Тут показане ув'язування теплових розрахунків циклонних теплообмінників і обертової печі.

Розрахунок робимо в наступній послідовності. Визначаємо витрату повітря і вихід продуктів згоряння на  $1 \text{ нм}^3/\text{кг}$  палива, вихід газоподібних продуктів випалу на  $1 \text{ кг}$  клінкера, кількість пилу, що проходить через циклонні теплообмінники на  $1 \text{ кг}$  клінкера. Далі розраховуємо тепловий баланс установки, з якого знаходимо питому витрату тепла, і потім кількість газів, що проходять через елементи установки. Температури і тепломісткість газів на виході з циклонних теплообмінників і обертової печі визначаємо з рівнянь теплового балансу циклонних теплообмінників, а температуру вторинного повітря, що надходить у піч, — з теплового балансу холодильника. Після цього з рівняння теплообміну в обертовій печі знаходимо її розміри.

Вихідні дані:

- число ступіней циклонних теплообмінників — 4;
- тип холодильника — колосниковий;
- продуктивність грубої установки  $B_{кл} = 75$  т/ч;
- паливо — природний газ ;
- склад газу:  
 $CO_2 = 0,12\%$ ;  $CH_4 = 91,5\%$ ;  $C_2H_6 = 4,0\%$ ;  $C_3H_8 = 1,6\%$ ;  $C_4H_{10} = 0,28\%$ ;  $C_6H_{12} = 0,13\%$ ;  $N_2 = 2,39\%$ ;
- теплота згоряння газу  $Q_{низ}^P$  —  $8929$  ккал/нм<sup>3</sup> =  $37385,7$  кДж/нм<sup>3</sup>;
- витрата сухої сировини на 1 кг клінкера  $G_m^{сух}$  —  $1,65$  кг/кг кл;
- втрати при прожарюванні сухої сировини (умовно приймаємо, що в (п.п.п)<sub>м</sub> входить тільки  $CO_2^M$  з  $CaCO_3^M$ .) (п. п. п)<sub>м</sub> —  $35,5\%$ ;
- вологість сировинної шихти  $W_m$  —  $1,0\%$ ;
- ступінь дисоціації  $CaCO_3$  у циклонних теплообмінниках  $y$  —  $15\%$ ;
- температура пального газу, що надходить у пічну установку,  $t_z$  —  $10^\circ C = 283$  K;
- кількість повітря, що надходить під ґрати холодильника,  $V_{вх}$  —  $2,8$  нм<sup>3</sup>/кг кл;
- температура пилу, що повертається в процес  $t_{пл}$  —  $40^\circ C = 313$  K;
- присос повітря через не щільності в голівці печі -  $5\%$  від загальної кількості повітря, потрібного для горіння палива;
- температура навколишнього повітря  $t_в$  —  $15^\circ C = 288$  K;
- середня температура сировинної шихти, що надходить у 1 циклон,  $t_m$  —  $40^\circ C = 313$  K;
- температура газів на виході з 1 циклона  $t_z^{омх}$  —  $330^\circ C = 603$  K;
- температура клінкера на виході з холодильника  $t_{кл}^x$  —  $100^\circ C = 373$  K;
- температура надлишкового повітря, що викидається з холодильника в атмосферу,  $t_в^{узб}$  -  $1700^\circ C = 1973$  K;
- тепловий ефект клінкeroутворення  $q_p$  —  $439,3$  ккал/кг кл =  $1839,3$  кДж/кг кл;
- кількість первинного повітря —  $25\%$  від загальної витрати повітря на горіння;

- температура клінкера на виході з печі  $t_{кл}^n$  —  $1200^\circ C = 1473 K$ ;
- коефіцієнт надлишку повітря — за піччю — 1,1, перед IV циклоном — 1,2, за IV циклоном — 1,3, за III циклоном — 1,4, за II циклоном — 1,5, за I циклоном — 1,6;
- коефіцієнт корисної дії електрофільтра  $\eta_{елф} = 0,95$ , циклонів: I - 0,9; II — 0,7; III — 0,7; IV — 0,7;
- втрати тепла в навколишнє середовище,  $ккал/кг кл$  ( $кДж/кг кл$ ): піччю — 120 (502,4); пильною камерою — 5 (21); I циклоном — 4 (16,75); II циклоном — 6 (25,1); III циклоном — 8 (33,5); IV циклоном — 10 (41,8); холодильником — 10 (41,8);
- віднесення пилу з печі в % від сухого матеріалу  $z$  — 15.

### 8.7 Втрата повітря на горіння і вихід продуктів горіння

Теоретична витрата повітря:

$$\begin{aligned}
 [V_B^*] &= 0,0238(4CH_4 + 7C_2H_6^P + 10C_3H_8^P + 13C_4H_{10}^P + 16C_5H_{12}^P) = \\
 &= 0,0238(4 \cdot 91,5 + 7 \cdot 4,0 + 10 \cdot 1,6 + 13 \cdot 0,28 + 16 \cdot 0,13) \\
 &= 9,92 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа.}
 \end{aligned}$$

Практична витрата повітря:

$$V_B^* = \alpha[V_B^*] = 9,92 \cdot 1,1 = 10,91 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа.}$$

Вихід продуктів горіння:

$$\begin{aligned}
 V_{CO_2}^{T*} &= 0,01(CH_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + 4C_4H_{10} + 5C_5H_{12} + CO_2) = \\
 &= 0,01(91,5 + 2 \cdot 4,0 + 3 \cdot 1,6 + 4 \cdot 0,28 + 5 \cdot 0,13 + 0,12) = 1,06 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа;}
 \end{aligned}$$

$$V_{N_2}^{T*} = 0,79V_B^* + 0,01N_2 = 0,79 \cdot 10,91 + 0,01 \cdot 2,39 = 8,64 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа;}$$

$$V_{O_2}^{T*} = 0,21(\alpha - 1)[V_B^*] = 0,21(1,1 - 1)9,92 = 0,208 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа;}$$

$$\begin{aligned}
 V_{H_2O}^{T*} &= 0,01(2CH_4 + 3C_2H_6 + 4C_3H_8 + 5C_4H_{10} + 6C_5H_{12}) = \\
 &= 0,01(2 \cdot 91,5 + 3 \cdot 4,0 + 4 \cdot 1,6 + 5 \cdot 0,28 + 6 \cdot 0,13) = 2,04 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа.}
 \end{aligned}$$

## 8.8 Вихід газоподібних продуктів із первинної сировини

Загальна кількість  $\text{CO}_2$ , що виділилася із сировинної шихти:

$$G_{\text{CO}_2}^M = \frac{G_M^{\text{сyx}}(n.n.n.)_M}{100} = \frac{1,565 \cdot 35,5}{100} = 0,556 \text{ кг/кгкл},$$

чи

$$V_{\text{CO}_2}^M = \frac{G_{\text{CO}_2}^M}{\gamma_{\text{CO}_2}} = \frac{0,556}{1,977} = 0,281 \text{ нм}^3/\text{кгкл}.$$

Кількість  $\text{CO}_2$ , що виділилася в циклонному теплообміннику IV ступіні:

$$G_{\text{CO}_2}^{IV} = \frac{G_{\text{CO}_2}^M y}{100} = \frac{0,556 \cdot 15}{100} = 0,083 \text{ кг/кгкл},$$

чи

$$V_{\text{CO}_2}^{IV} = \frac{G_{\text{CO}_2}^{IV}}{\gamma_{\text{CO}_2}} = \frac{0,083}{1,977} = 0,042 \text{ нм}^3/\text{кгкл}.$$

Кількість  $\text{CO}_2$ , що виділилася в обертовій печі:

$$G_{\text{CO}_2}^{II} = G_{\text{CO}_2}^M - G_{\text{CO}_2}^{IV} = 0,556 - 0,083 = 0,473 \text{ кг/кгкл},$$

чи

$$V_{\text{CO}_2}^{II} = V_{\text{CO}_2}^M - V_{\text{CO}_2}^{IV} = 0,281 - 0,042 = 0,239 \text{ нм}^3/\text{кгкл}.$$

Кількість водяної пари:

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^M = \frac{G_M^{\text{сyx}} W_M}{100 - W_M} = \frac{1,565 \cdot 1,0}{100 - 1,0} = 0,0158 \text{ кг/кгкл},$$

чи

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^M = \frac{G_{\text{H}_2\text{O}}^M}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{0,0158}{0,805} = 0,019 \text{ нм}^3/\text{кгкл}.$$

## 8.9 Кількість пилу, що проходить через циклонні теплообмінники

Кількість пилу, що унесуть гази з обертової печі:

$$G_{\text{пл}}^{II} = \frac{(1+G_{\text{CO}_2}^{II})z}{1-z} = \frac{(1,0+0,473)15}{100-15} = 0,26 \text{ кг/кгкл}.$$

Кількість пилу, що осіла в циклоні IV ступіні:

$$G_{oc}^{IV} = 1,0 + G_{CO_2}^{II} + G_{nl}^{II} = 1,0 + 0,473 + 0,26 = 1,733 \text{ кг/кгкл.}$$

Загальна кількість пилу, що надходить у циклон IV ступіні:

$$G_{об}^{IV} = \frac{G_{oc}^{IV} + G_{CO_2}^{IV}}{\eta_{цик}} = \frac{1,733 + 0,083}{0,7} = 2,594 \text{ кг/кгкл.}$$

Кількість пилу, що виходить з IV циклона з газами:

$$G_{вых}^{IV} = G_{об}^{IV} - G_{oc}^{IV} - G_{CO_2}^{IV} = 2,594 - 1,733 - 0,083 = 0,778 \text{ кг/кгкл.}$$

Результати розрахунку потоків матеріалу в циклонах зведені в табл 3.1

Практична витрата повітря на горіння:

$$V_B = V_B^* V_T \approx 10,91 V_{Tнм}^3 / \text{кгкл.}$$

Кількість повітря, що присмоктується через голівку печі:

$$V_B^{\Gamma.П} = 0,05 V_B = 0,05 \cdot 10,91 V_T = 0,545 V_{Tнм}^3 / \text{кгкл.}$$

Кількість повітря, що присмоктується за піччю по тракті циклонів:

$$V_B^{X.K} = [V_B^*] (\alpha_{цик}^I - \alpha_n) V_T = 9,92 (1,6 - 1,1) V_T = 4,96 V_{Tнм}^3 / \text{кгкл.}$$

Загальна кількість повітря, що надходить у пічну установку:

$$V_B^{об} = V_{B.X} + V_B^{\Gamma.K} + V_B^{X.K} = 2,8 + 0,545 V_T + 4,96 V_T = 2,8 + 5,5 V_{Tнм}^3 / \text{кгкл.}$$

Кількість надлишкового повітря, що викидається в атмосферу:

$$V_B^{изб} = V_{B.X} + V_B^{\Gamma.K} - V_B = 2,8 + 0,545 V_T - 10,91 V_T = 2,8 - 10,365 V_{Tнм}^3 / \text{кгкл.}$$

## 8.10 Тепловий баланс пічної установки

Тепло згорання палива:

$$q_{П} = V_T Q_{низ}^P = V_T \cdot 8929 \text{ ккал/кгкл} = V_T \cdot 37386 \text{ кДж/кгкл.}$$

Фізична теплоємність палива:

$$q^{\phi} = V_T c_T t_T = V_T \cdot 0,385 \cdot 10 = 3,85 V_T.$$

Теплоємність сировини:

$$\begin{aligned} q_M &= (G_M^{сух} c_M + G_M^M) t_M = (1,565 \cdot 0,22 + 0,0158) \cdot 40 = 14,5 \text{ ккал/кгкл} \\ &= 60,7 \text{ кДж/кгкл.} \end{aligned}$$

Теплоємність повітря:

$$q_B = V_a^{об} c_B t_B = (2,8 + 5,5 V_T) \cdot 0,31 \cdot 15 = 13,0 + 25,6 V_T \text{ ккал/кгкл} =$$

$$= 54,4 + 107,2V_T \text{кДж/кгкл.}$$

Тепловий ефект клінкероутворення:

$$q_P = 439,3 \text{ккал/кгкл} = 1839,3 \text{кДж/кгкл.}$$

Втрата тепла на випар води із сировини:

$$q_W^M = G_W^M \cdot 595 = 0,0158 \cdot 595 = 9,4 \text{ккал/кгкл} = 39,4 \text{кДж/кгкл.}$$

Втрата тепла з газами, що відходять:

$$\begin{aligned} q_G^{OTX} &= [(V_{CO_2}^T + V_{CO_2}^M)c_{CO_2} + V_{N_2}^T c_{N_2} + V_{O_2}^T c_{O_2} + (V_{H_2O}^T + V_{H_2O}^M)c_{H_2O} \\ &\quad + V_B^{X.K} c_B] t_G^{OTX} = \\ &= \left[ (1,06V_T + 0,281)0,4535 + 8,68V_T \cdot 0,3136 + 0,208V_T \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot 0,3255 + (2,04V_T + 0,019)0,3685 + 4,96V_T \cdot 0,316 \right] 330 \\ &= 1843V_T + 44,3 \text{ккал/кгкл} = \\ &= 7716,6V_T + 185,5 \text{кДж/кгкл.} \end{aligned}$$

Втрата тепла з віднесенням:

$$\begin{aligned} q_{ПЛ} &= \eta_{ЭФ} 0,29 c_{ПЛ} (t_G^{OTX} - t_{ПЛ}) + (1 - \eta_{ЭФ}) 0,29 c_{ПЛ} t_G^{OTX} = \\ &= 0,95 \cdot 0,29 \cdot 0,25(330 - 40) + (1 - 0,95) \cdot 0,29 \cdot 0,25 \cdot 330 = 21,1 \text{ккал/кгкл} \\ &= 88,3 \text{кДж/кгкл.} \end{aligned}$$

0,29 кг/кг кл — кількість пилу, що уносять гази з І циклона (табл. 8.1)

Втрата тепла з клінкером:

$$q_{КЛ} = c_{КЛ} t_{КЛ} = 0,188 \cdot 100 = 18,8 \text{ккал/кгкл} = 78,7 \text{кДж/кгкл.}$$

Втрата тепла з повітрям, що викидається з холодильника:

$$q_B^{ИЗБ} = V_B^{ИЗБ} c_B t_B^{ИЗБ} = (2,8 - 10,365V_T) \cdot 0,31 \cdot 170 = 147 - 546V_T.$$

Втрата тепла в навколишнє середовище  $q_{Пот} = 163 \text{ккал/кг кл} = 682,5 \text{кДж/кг}$

кл. З рівняння теплового балансу визначаємо значення  $V_T$ :

$$\begin{aligned} 8929V_T + 3,85V_T + 14,5 + 13,0 + 25,6V_T \\ = 439,3 + 9,4 + 1843V_T + 44,3 + 21,1 + 18,8 + \\ + 147 - 546V_T + 163; \end{aligned}$$

$$V_T = 0,1064 \text{нм}^3/\text{кг кл.}$$

Питома витрата тепла на випал:

$$q_{П} = Q_{НИЗ}^P V_T = 8929 \cdot 0,1064 = 950 \text{ккал/кгкл} = 3977,7 \text{кДж/кгкл.}$$

Потоки матеріалу в циклонах

Таблиця 8.1

Найменування	Одиниця виміру	I циклон	II циклон	III циклон	IV циклон	Курна камера	Обертова піч
Кількість пилу, що поступає газами	кг/кг кл	1,1	1,0	0,778	0,26	-	-
Кількість пилу, що поступає наступного циклона чи бункера сировинної шихти	кг/кг кл	1,84	2,65	2,556	2,334	-	-
Загальна кількість пилу, що надходить у циклон	кг/кг кл	2,94	3,65	3,334	2,594	-	-
Кількість відкладеного у циклоні пилу	кг/кг кл	2,65	2,556	2,334	1,733	-	-
Кількість пилу, що виходить	кг/кг кл	0,29	1,1	1,0	0,778	-	-

циклона	3						
газами							

Статті теплового балансу зведені в табл. 8.2

Тепловий баланс

Таблиця 8.2

Прихід тепла			Витрата тепла		
Найменування	кДж/кг кл	%	Найменування	кДж/кг кл	%
Тепло від згоряння палива	3977,7	96,9	Теоретичне тепло клінкероутворення	1839,3	44,8
			Втрата тепла на випар води	39,6	0,99
Фізична тепломіст-кість палива	1,7	0,04	Втрата тепла з газами, що відходять	1006,1	24,52
			Втрата тепла з віднесенням	88,3	2,15
Тепломісткість сировини	60,7	1,46	Втрата тепла з клінкером	78,7	1,9
			Втрата тепла з повітрям, що викидається з холодильника	371,8	9,04
Тепломісткість повітря	66,2	1,6	Втрата тепла в навколишнє середовище	682,5	16,6
			Разом	4106,3	100
Разом	4106,3	100	Разом	4106,3	100

Тепломісткість повітря і палива, що надходять у піч:

$$q'_Г = q_{B_2} + V_B^{ГK} c_B t_B + q_{B_1} + q_T^\Phi = 175,3 + 0,058 \cdot 0,31 \cdot 15 + 15,3 + 0,4 = \\ = 191,3 \text{ ккал/кгкл} = 801 \text{ кДж/кгкл};$$

- на 1  $\text{нм}^3$  газового палива:

$$q_{Г}^* = \frac{q'_Г}{V_T} = \frac{191,3}{0,1064} = 1794 \text{ ккал/нм}^3 \text{ топл} = 7511,5 \text{ кДж/нм}^3 \text{ топл};$$

- тепломісткість газів, що відходять з печі, і пилу:

$$q_{Г}^{\text{II}} = t_{Г}^{\text{II}} (V_{CO_2}^{\text{II}} c_{CO_2} + V_{N_2}^{\text{II}} c_{N_2} + V_B^{\text{II}} c_B + V_{H_2O}^{\text{II}} c_{H_2O} + G_{\text{ПЛ}}^{\text{II}} c_{\text{ПЛ}}) = \\ = 1030(0,352 \cdot 0,5324 + 0,835 \cdot 0,334 + 0,104 \cdot 0,335 + 0,216 \cdot 0,412 + 0,26 \\ \cdot 0,25) = \\ = 676 \text{ ккал/кгкл} = 2830,4 \text{ кДж/кгкл}.$$

Ступінь тепловикористання по формулі:

$$\eta_{\text{ТЕП}} = \frac{q_{\text{П}} + q'_Г + q_{Г}^{\text{II}}}{q_{\text{П}} + q'_Г} = \frac{950 + 191,3 - 676}{950 + 191,3} = 0,41.$$

## 8.11 Теоретична температура горіння.

Тепломісткість продуктів горіння:

$$Q_{\text{НИЗ}}^P + q_{Г}^* = 8929 + 1794 = 10723 \text{ ккал/нм}^3 \text{ топл} = 44897,2 \text{ кДж/нм}^3 \text{ топл}.$$

Теоретична температура визначається по методу підбора.

Тепломісткість продуктів горіння при температурі 2300° С:

$$V_{CO_2}^T J_{CO_2} + V_{N_2}^T J_{N_2} + V_{O_2}^T J_{O_2} + V_{H_2O}^T J_{H_2O} \\ = 1,06 \cdot 1354,7 + 8,64 \cdot 825,7 + 0,208 \cdot 874 + \\ + 2,04 \cdot 1099,4 = 11002 \text{ ккал/нм}^3 \text{ топл} = 46065,4 \text{ кДж/нм}^3 \text{ топл}.$$

Тепломісткість продуктів горіння при температурі 2200° С = 2473К - 10463 ккал/нм<sup>3</sup> топл = 43808,6 кДж/нм<sup>3</sup> топл.

Шукана теоретична температура горіння складає:

$$t_{\text{ТЕОР}} = 2200 + \frac{10723 - 10463}{11002 - 10463} \cdot 100 = 2248^\circ \text{C} = 2521\text{K};$$

$$T_{\text{ТЕОР}} \approx 2520^\circ \text{K}.$$

Теплова потужність печі:

$$\theta_{II} = q_{II} B_{KL} \cdot 1000 = 950 \cdot 38 \cdot 10^3 = 36,1 \cdot 10^6 \text{ ккал/ч} = 42 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Поверхню теплообміну визначаємо по формулі:

$$\eta_{TEII} = 0,124 \left( \frac{\sigma T_{TEOP}^4 F_{II}}{\theta_{II}} \right)^{\frac{1}{3}};$$
$$0,41 = 0,124 \left( \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 2520^4 F_{II}}{36,1 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1}{3}},$$

звідки внутрішня поверхня печі  $F_{II} = 670 \text{ м}^2$ .

Питома продуктивність печі:

$$\frac{1000 B_{KL}}{F_{II}} = \frac{38 \cdot 10^3}{670} = 56,7 \text{ кг/м}^2 \text{ ч.}$$

Внутрішній діаметр печі по формулі:

$$\theta_{II} = 1,5 D_{II}^2 \sqrt{D_{II}} \cdot 36,1 \cdot 10^6 = 1,5 D_{II}^2 \sqrt{D_{II}},$$

звідки  $D_n = 4,6 \text{ м}$ .

Зовнішній діаметр печі з урахуванням товщини футеровки складе  $d_{II} = 5,0 \text{ м}$ .

Величина

$$1000 \frac{B_{KL}}{D_{II}^3} = \frac{38 \cdot 10^3}{3,6^3} = 815 \text{ кг/м}^3 \text{ ч,}$$

що не перевищує значення, припустиме за умовами клинкеутворення.

Довжина печі:

$$L_{II} = \frac{F_{II}}{\pi D_{II}} = \frac{1217}{3,14 \cdot 4,6} = 94,3 \text{ м.}$$

## **8.12 Розрахунок обертової печі 5x100м за допомогою програми «APROKS» для знаходження оптимального кута роликкоопори**

Вихідні дані

1. Внутрішній радіус футеровки  $R_f = 2320 \text{ мм}$
2. Внутрішній радіус корпусу  $R_k = 2440 \text{ мм}$
3. Зовнішній радіус корпусу  $R_p = 2500 \text{ мм}$
4. Зовнішній радіус бандажу  $R_b = 2530 \text{ мм}$

5. Довжина усиленої ділянки печі  $L_k=2000\text{мм}$
6. Довжина бандажу  $L_b=1200\text{мм}$
7. Довжина першої ділянки печі  $L_1=11400\text{мм}$
8. Довжина другої ділянки печі  $L_2=30800\text{мм}$
9. Довжина третьої ділянки печі  $L_2=20800\text{мм}$
10. Довжина четвертої ділянки печі  $L_2=23800\text{мм}$
11. Довжина п'ятої ділянки печі  $L_2=8400\text{мм}$

Фізико-механічні властивості.

1. Густина корпусу  $\rho = 7.8 \text{ т/м}^3$ .
2. Густина футеровки  $\rho = 1.8 \text{ т/м}^3$ .
3. Модуль пружності корпусу  $E = 2 \cdot 10^9 \text{ Па}$ .
4. Модуль пружності футеровки  $E = 2 \cdot 10^7 \text{ Па}$ .
5. Коефіцієнт Пуансона корпусу  $N = 0.3$ .
6. Коефіцієнт Пуансона футеровки  $N = 0.3$ .
7. Товщина корпусу  $0,06 \text{ м}$ .
8. Товщина футеровки  $0,12 \text{ м}$ .

Variable			
	Variable name	Type	Value
1	Rv	Real	2800
2	Rp	Real	2500
3	Rk	Real	2440
4	Rf	Real	2320
5	Ug0	Real	360
6	Ug180	Real	180
7	Ug1	Real	210
8	MRv	Integer	2
9	MRb	Integer	2
10	MRk	Integer	2
11	MRf	Integer	2
12	MUg1	Integer	7
13	MUg0	Integer	25

14	Lb	Real	1200
15	Lk	Real	2000
16	Lp	Real	$Lk*2+Lb$
17	L1	Real	$11400-Lk$
18	L2	Real	$30800-2*Lk$
19	L3	Real	$20800-2*Lk$
20	L4	Real	$23800-2*Lk$
21	L5	Real	$8400-lk$
22	ML1	Integer	21
23	ML2	Integer	51
24	ML3	Integer	41
25	ML4	Integer	41
26	ML5	Integer	15
27	MLb	Integer	3
28	q	Real	4.4
29	Rb	Real	$Rp+30$
30	MLK	Integer	5

Рис 8.5. Параметри проекту

Розрахунок печі будемо проводити для 65 градусів так як показано на початковому кресленні, потім додамо і віднімемо по 5 градусів, тобто для 60 та 70 градусів.

Спочатку розраховуємо піч при куті в 60 градусів. Для цього задаємо в програмі потрібний кут для розрахунку.

6	Ug180	Real	180
7	Ug1	Real	210

Рис. 8.6 введення потрібного градусу

Навантажуюмо обертову піч масою матеріалу

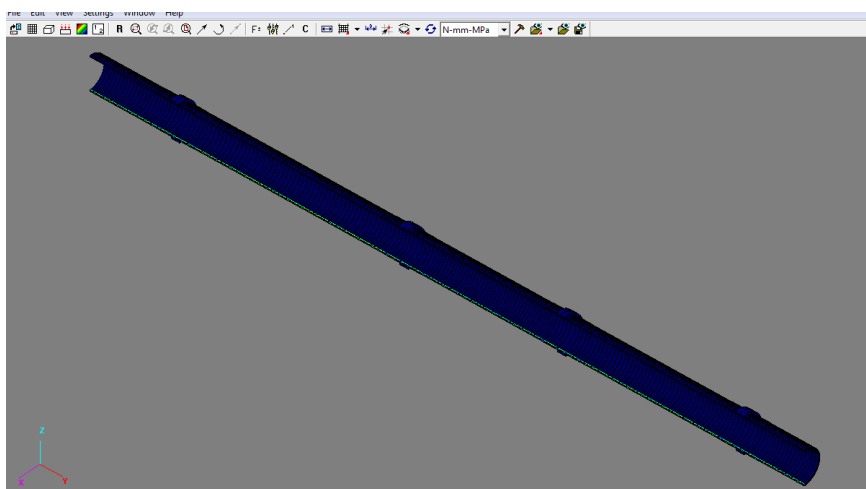


Рис. 8.7 Схема навантаження печі від матеріалу

Закріплюємо піч в точках дотику бандажів о опорних роликів

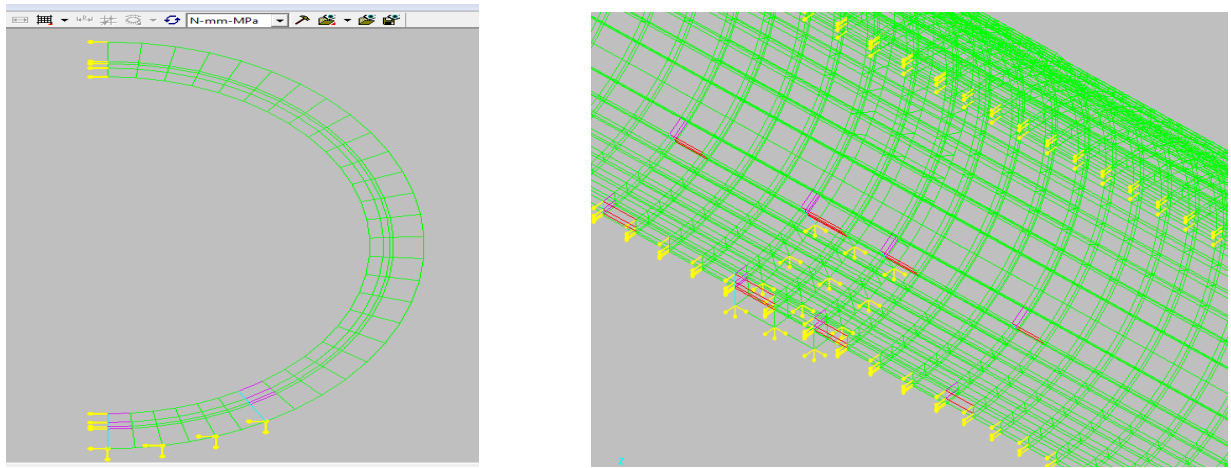


Рис. 8.8 Закріплення печі

Після цих операцій приступаємо до розрахунку напружень печі

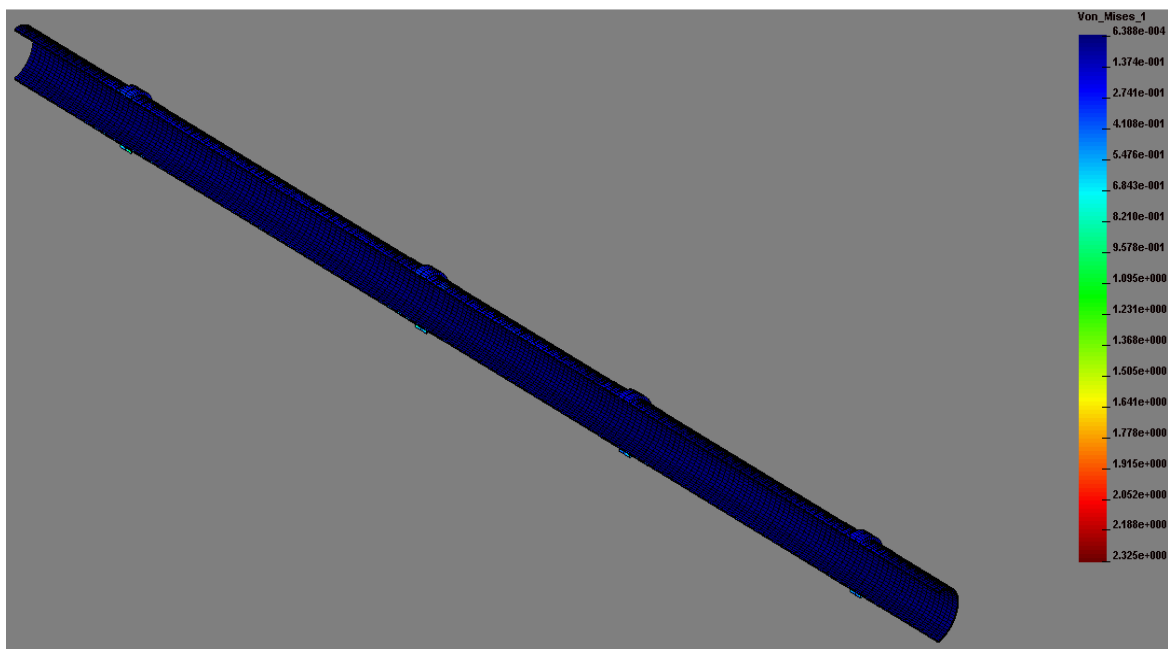


Рис.8.9 Напруження в обертовій печі

Розрахуємо напруження печі при 65 градусах. Для цього змінимо кут в вікні вихідних даних.

6	Ug180	Real	180
7	Ug1	Real	212.5

Після аналогічних навантажень і закріплень, які проводилися вище, отримуємо результат напружень.

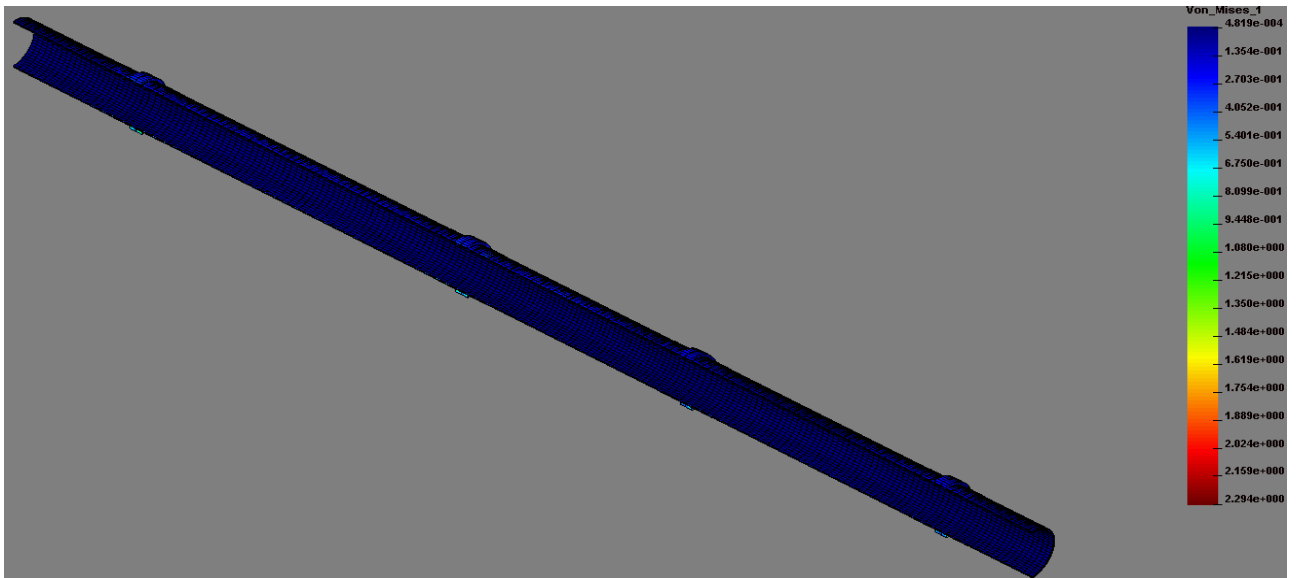


Рис. 8.10 Напруження в обертовій печі

Розрахуємо напруження печі при 70 градусах. Для цього змінимо кут в вікні вихідних даних.

5	Ug0	Real	360
6	Ug180	Real	180
7	Ug1	Real	215

Після аналогічних навантажень і закріплень, які проводилися вище, отримуємо результат напружень.

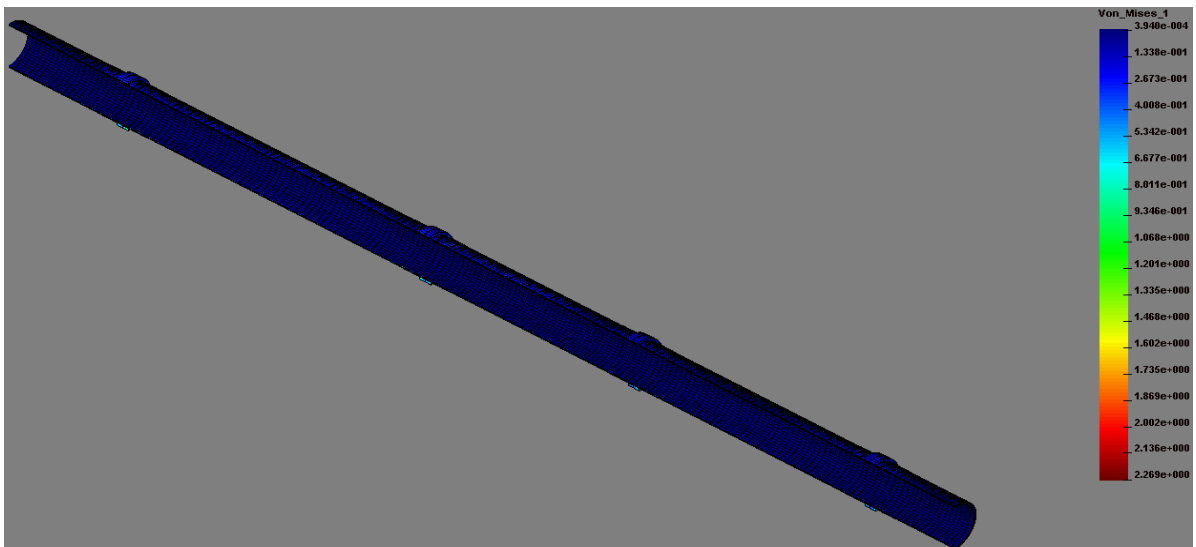


Рис.8.11 Напруження в обертовій печі



## ВИСНОВКИ

Мета цієї роботи — модернізація обертової печі. З цією метою було проведено наступні фази:

По-перше, відбулося детальне ознайомлення з базовою структурою.

Інформація, отримана під час огляду, використовується для вибору сучасного підходу;

Було переглянуто документацію та патенти. Було переглянуто різноманітні методи удосконалення різноманітних вузлів та механізмів у роторній печі. В результаті з запропонованих структурних змін були відібрані найуспішніші структурні зміни і з часом було підтверджено напрямок модернізації. При цьому базова конструкція була вдосконалена так: - Сучасна роторна піч має раму на кілька сталевих підтримуючої кульок в кориті.

Ротовий килн, для якого характерне кільце, виготовлене з обручів. В результаті модернізації можуть бути реалізовані такі позитивні фактори:

- Зменшення питомої навантаження на обод і опорну кулю за рахунок збільшення кількості поверхонь стиснення на компонентах.
- Збільшення інтервалу обслуговування з 25,900 годин до 32,500 годин.
- Зменшує зношування на ободі і підтримуючих роликів поверхнях.
- Розроблена конструкція збільшила асортимент печі на 20%.

До недоліків сучасної конструкції відносяться:

- Збільшити загальну масу печі.

Збільшити розмір.

При проведенні розрахунків обертової печі, було визначено, що напруження, які виникають в печі відрізняються в залежності того, при якому куті бандаж спирається на роликкоопори. Найменші напруження виникають при куті в 70 градусів, а найбільші- при куті в 60 градусів, тому найбільш оптимальний варіант для розташування роликкоопор – кут 70 градусів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ходоров Е. И. Печи цементной промышленности. Л.: Промстройиздат, 1968, 455с.
2. Силенок С. Г., Гризак Ю. Ф., Лямин В. Н. и др. Печные агрегаты цементной промышленности. М.: Машиностроение, 1984. 166с.
3. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г., “Моделювання процесу нестационарного теплообміну в футерівці обертових агрегатів”. Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, – 2020, – №2(19). С. 20-31. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2020.208052>
4. Бауман В. А., Клушанцев Б. В., Мартынов В. Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Машиностроение, 1981. 324 с.
9. Золотницкий М.Д., Пчелинцев В.А. Охрана труда в строительстве. М.: Высш. шк., 1978. 408 с.
11. Сайт <http://pctgazette.wipo.int/>. Всемирная организация интеллектуальной собственности.
17. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту. Розенплентер А.Е., Панішева Т.В. КИЇВ КПІ 2001р
18. Бизнес. Прайс-листы. №48, 2007 года. КИЕВ.
19. Махнович А.Т., Боханько Г.Я. Охрана труда и противопожарная защита на предприятиях промышленности строительных материалов. М.: Стройиздат, 1978. 247 с.

## Патентний формуляр

п. п	Пре дмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Сутність заявленого технологічного рішення і ціль його створення
	2	3	4
	Опора обертово ї печі	<p><b>UA 84573 F27B7/22</b>  <b>Опора обертової печі Білецький Семен Михайлович (UA), Білецький Семен Михайлович (UA)</b>  <b>Номер заявки: a200603100</b>  <b>10.11.2008, Бюл.№ 21, 2008 р.</b></p>	<p>Роликоопора обертової печі, яка включає  раму з роликами і передає  навантаження від кор-  пусу печі на фундамент через  пневмоподушки і  шарнір упора, яка відрізняється  тим, що вона  виконана однороліковою з  роміщенням ролика на  рамі таким чином, що зона  контакту між бандажем  і роликом і зона контакту  шарового упору між фун-  даментом і рамою розміщені по  різні боки від вер-  тикальної площини, яка  проходить через повздов-  жню вісь корпусу печі.  2. Роликоопора за п.1, яка  відрізняється тим, що  кут між площиною, яка  проходить через вісь роли-</p>

			ка і повздовжню вісь корпусу печі, і вертикальною площиною, яка проходить через повздовжню вісь корпусу печі, дорівнює більше 2 градусів в бік обертання бандажа обертової печі.
	Обертова піч	<p>UA 27585 F27B7/00</p> <p>Обертова піч</p> <p>Щербина Валерій Юрійович, UA, Сівецький Володимир Іванович, UA, Чжан Юлінь, Чемерис Андрій Олегович, UA, Бельдій Людмила Сергіївна, UA, Степановський Анатолій Олександрович, UA</p> <p>Номер заявки: u200706293</p> <p>12.11.2007 ,</p>	<p>Обертова піч, що містить циліндричний корпус з опорно-упорними вузлами, повністю розміщений в ємності, виконаній у вигляді секцій, розташованих уздовж осі корпусу, яка відрізняється тим, що вона додатково містить пристрої контролю угину корпусу печі, які з'єднані з регулятором рівня рідини і розташовані в кожній із секцій.</p>
	Обертова піч	<p>UA 77826 F27B7/00</p> <p>Обертова піч</p> <p>Гайворонський Віктор Федорович (UA), Посторонко</p>	<p>Обертова піч, що містить корпус, бандажі, опорні і упорні ролики, підшипники, завантажувальні і вивантажувальні пристрої, привід обертання печі, кільця жорсткості,</p>

		Анатолій Іванович (UA) Номер заявки: u 2012 10612 25.02.2013, Бюл.№ 4	обмежувач кілець, яка відрізняється тим, що кільця жорсткості виконані прямокутної форми
	Обертова піч	UA 57792 F27B7/00 Обертова піч Щербина Валерій Юрійович, Шишковський Олександр Володимирович, Саміленко Юлія Миколаївна, Кривко Юлія Василівна Номер заявки: u201010558 10.03.2011, Бюл.№ 5, 2011 р.	1. Обертова піч, що містить металевий корпус, футерований вогнетривкою цеглою, виконаною зкомірками на повернутому до корпусу торці, заповненими теплоізоляційним матеріалом, яка відрізняється тим, що комірки мають форму трапеції. 2. Обертова піч за п. 1, яка відрізняється тим, що величина верхньої основи трапеції збільшується по довжині печі у бік зниження температури.
	Обертова піч	UA 43613 F27B7/00 Обертова 25.08.2009, Бюл.№ 16, 2009 р. (72) Щербина Валерій Юрійович, Величко Юрій Михайлович, Чжан Юлінь, СN, Сівецький Володимир Іванович, Номер заявки: u200902615	Обертова піч, що містить металевий корпус, футерований вогнетривкою цеглою, виконаною з виїмками на повернутому до корпусу торці, заповненими теплоізоляційним матеріалом, яка відрізняється тим, що виїмки мають трикутну форму.

		25.08.2009, Бюл.№ 16, 2009 р.	
--	--	----------------------------------	--

	Роликова опора	Авторське посвідчення СРСР SU 1768900 A1, кл. F 27 B 7/22 1987. АВТОР А.В. Коровкин, Г.В. Беднягин, Л.Ф. Шмельов і А.Ф. Гуйда	З метою підвищення надійності опори за рахунок збільшення її здатності, що компенсує, і зниження металоємності: опора містить опорні ролики з підшипниками, раму, верхня частина якої виконана у виді пружних консольних балок, а нижня частина постачена обмежниками прогину, при цьому консольна балка з'єднана з рамою шарнірно.
	Роликова опора	СРСР. Авторське посвідчення SU 1488700 A2 Кл.F27 B7/22, 1986 Автори И.В. Кузьо, В.А. Пашинский, А.Н. Пономаренко	Роликоопора обертової печі, що відрізняється тим, що, з метою спрощення конструкції і підвищення надійності її роботи, пружний елемент виконаний у виді затисненого в циліндричних пакетах плоских кілець із пружинної сталі, а упорні підшипники з'єднані між собою дисками, що охоплюють у нижній частині пакет плоских кілець
	Роликова опора	СРСР. Авторське посвідчення	Роликоопора обертової печі отличающаяся тим, що між плоскими кільцями в пакеті

		<p>SU 14342260 A1  Кл.F27 В7/22,  1980 Автори  В. А. Калабухов  Т. М. Саломасів  В. Ф. Астафьев</p>	<p>плоских кілець установлені  прокладки з антифрикційного  матеріалу з радіальними пазами для  консистентного змащення</p>
	<p>Роликова  опора</p>	<p>Російська  Федерація  Авторське свічення  №2044980С1  Кл.F27 В7/22, 1993  Автори А.И.</p>	<p>Роликоопора обертової печі, що  відрізняється тим, що упор  виконаний у виді втулки, усередині  якої розташований підпружинена  куля</p>