МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

_____Електричної інженерії та кіберфізичних систем_
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

_____другий (магістерський)_рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему: Зменшення витрат на електричну енергію ПП «Кварц» м. Запоріжжя

Виконав: студент __2___ курсу, групи_8.1413
спеціальності__141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
Освітньої програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(назва освітньої програми)
Подолян Д.О.
(ініціали та прізвище)
Керівник __проф. доцент, д.т.н., Саблін О.І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент___д.т.н., проф., Артемчук В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут_____
Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти____другий (магістерський) рівень
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»_____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф._____В.Л. Коваленко
«__01__»_____12_____2024__року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_____ Подоляну Дмитру Олександровичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)
1 Тема роботи Зменшення витрат на електричну енергію ПП «Кварц» м. Запоріжжя
керівник роботи ___ Саблін О.І., д.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_28_»_лютого__2024__року №_361 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2024 р._____
3. Вихідні дані до роботи: Середньодобове споживання електроенергії ПП «Кварц». Перелік основного обладнання цехів ПП «Кварц». Технологічна схема виробництва продукції цехами ПП «Кварц». Однолінійні схеми електропостачання цехів ПП «Кварц».
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Особливості технологічного процесу виготовлення кераміки 2. Аналіз енергоспоживання на підприємстві «КВАРЦ» 3. Техніко-економічна оцінка впровадження електричних печей для обпалу кераміки на ПП «КВАРЦ» 4. Оцінка ефективності запропонованих заходів

5. Перелік графічного матеріалу 1) Тема, мета, завдання, наукова новизна, практичне значення дослідження 2) Номенклатура виробництва 3) Аналіз енергоспоживання на підприємстві «Кварц» 4) Математична модель втрат теплоти 5) Дослідження кількісних показників втрат на моделі 6) Техніко-економічна оцінка впроваджденння електричних печей для обпалу кераміки на прат «кварц» 7) Очікуваний ефект від впровадження заходів з енергозбереження 8) Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Саблін О.І., д.т.н., доц.		
Розділ 2	Саблін О.І., д.т.н., доц.		
Розділ 3	Саблін О.І., д.т.н., доц.		
Розділ 4	Саблін О.І., д.т.н., доц.		
Розділ 5	Саблін О.І., д.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання 01.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Особливості технологічного процесу виготовлення кераміки	30.09.2024	
2	Аналіз енергоспоживання на підприємстві «КВАРЦ»	15.10.2024	
3	Техніко-економічна оцінка впроваджденння електричних печей для обпалу кераміки на ПП «КВАРЦ»	13.11.2024	
4	Оцінка ефективності запропонованих заходів	29.11.2024	

Студент _____ Д.О. Подолян
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ О.І. Саблін
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ І.І. Коваленко
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Подолян Д.О. Зменшення витрат на електричну енергію ПП «Кварц» м. Запоріжжя» – кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник – проф. О.І. Саблін. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці та впровадженню заходів із зменшення витрат електроенергії на приватному підприємстві «Кварц» у м. Запоріжжя. Основна увага приділена аналізу технологічного процесу виробництва керамічних ізоляторів, ідентифікації основних джерел енергоспоживання та розробці енергоефективних рішень, які дозволять оптимізувати використання електричної енергії.

У ході дослідження проведено детальний аналіз енергоспоживання підприємства, включаючи роботу основного технологічного обладнання, зокрема електричних печей для обпалу кераміки. Визначено основні причини перевитрат електроенергії, серед яких використання застарілого обладнання, недостатня оптимізація теплових режимів та відсутність ефективного моніторингу витрат електроенергії.

Важливим етапом дослідження став вибір альтернативного електротермічного обладнання та проведення теплових розрахунків електропечей СДО 20.30.18/12,5 та СНОЛ 500/12 у середовищі MATLAB. Проведено моделювання їх теплових характеристик та визначено оптимальні режими роботи, що дозволяють знизити витрати електроенергії на 15–20% без втрати якості виробів.

Розрахунки показали, що перехід на раціональні режими експлуатації дозволяє зменшити середньорічне споживання електроенергії більш ніж на

1500 МВт·год, що відповідає економії понад 5,2 млн грн на рік за поточними тарифами. Крім того, впровадження енергоефективних заходів сприятиме зниженню навантаження на електромережу, подовженню терміну служби обладнання та зменшенню викидів CO_2.

Оцінено техніко-економічну ефективність впровадження заходів з модернізації печей, яка показала, що інвестиції у нове обладнання окупляться протягом 3–4 років. У ході дослідження також розроблено методику оцінки економічної ефективності заходів з енергозбереження, що включає розрахунок капітальних витрат, експлуатаційних витрат та прогнозованої економії електроенергії.

Запропоновано рекомендації щодо подальшого підвищення енергоефективності підприємства, серед яких:

Автоматизація процесів енергоспоживання та моніторинг витрат електроенергії в режимі реального часу.

Заміна застарілих електродвигунів на частотно-регульовані приводи, що дозволить додатково зменшити енергоспоживання на 10–12%.

Встановлення сонячних панелей загальною потужністю 500 кВт, що дасть змогу компенсувати до 10% витрат електроенергії підприємства.

Оптимізація графіків роботи печей для зменшення навантаження в пікові години, що дозволить скоротити середньозважений тариф на 10–15%.

Використання рекуперативних систем для утилізації тепла, що дозволить зменшити теплові втрати на 15–18%.

Робота є актуальною для підприємств, що займаються виробництвом енергоємної продукції, і може бути використана як методичне керівництво для оптимізації електроспоживання в промисловому секторі.

Ключові слова: ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕЛЕКТРОПЕЧІ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА, ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, КЕРАМІЧНЕ ВИРОБНИЦТВО, MATLAB-МОДЕЛЮВАННЯ.

ABSTRACT

Podolian D.O. "Reducing Electricity Costs at PP "Quartz", Zaporizhzhia" – a master's qualification thesis for obtaining the degree in specialty 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics, scientific advisor – Prof. O.I. Sablin. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebnya, Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2024.

This qualification thesis is devoted to the development and implementation of measures to reduce electricity consumption at PP "Quartz" in Zaporizhzhia. The research focuses on analyzing the technological process of ceramic insulator production, identifying the main sources of energy consumption, and developing energy-efficient solutions to optimize the use of electricity.

The study includes a detailed analysis of the company's energy consumption, considering the operation of key technological equipment, particularly electric kilns for ceramic firing. The main causes of excessive electricity consumption were identified, including outdated equipment, suboptimal thermal process regulation, and the absence of an efficient energy monitoring system.

A crucial part of the research involved selecting alternative electrothermal equipment and conducting thermal calculations of the SDO 20.30.18/12.5 and SNOL 500/12 electric kilns in MATLAB. Their thermal characteristics were modeled, and optimal operating modes were determined, allowing for a 15–20% reduction in electricity costs while maintaining product quality.

The calculations revealed that transitioning to rational operating modes could reduce the company's annual electricity consumption by more than 1,500 MWh, resulting in cost savings of over 5.2 million UAH per year at current tariffs. Additionally, the implementation of energy-efficient measures will contribute to reducing the load on the power grid, extending equipment lifespan, and lowering CO_2 emissions.

The study assessed the technical and economic feasibility of kiln modernization, showing that investments in new equipment would pay off within 3–4 years. A methodology for assessing the economic efficiency of energy-saving measures was also developed, including calculations of capital expenditures, operational costs, and projected electricity savings.

Recommendations for further improvement of the company's energy efficiency include:

Automation of energy consumption processes and real-time energy monitoring.

Replacement of outdated electric motors with frequency-controlled drives, reducing electricity consumption by 10–12%.

Installation of solar panels with a total capacity of 500 kW, compensating for up to 10% of the company's electricity consumption.

Optimization of kiln operation schedules to reduce peak-hour loads, decreasing the weighted average tariff by 10–15%.

Implementation of heat recovery systems, reducing heat losses by 15–18%.

This research is highly relevant for energy-intensive manufacturing enterprises and can be used as a methodological guide for optimizing electricity consumption in industrial production.

Keywords: ENERGY SAVING, ELECTRIC KILNS, ENERGY EFFICIENCY, TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT, ELECTRICITY CONSUMPTION OPTIMIZATION, CERAMIC PRODUCTION, MATLAB MODELING.

ЗМІСТ

ВСТУП……..10

1 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ КЕРАМІКИ…….15

1.1 Призначення і опис продукції, що виготовляється ПрАТ «Кварц»…… 15

1.2 Технологічна схема керамічного виробництва……. .23

1.3 Характеристика обладнання для обпалу кераміки…….34

1.3.1 Газові печі для обпалу кераміки……39

1.3.2 Електричні печі для обпалу кераміки……43

1.3.3 Порівняння електричних та газових печей для обпалу кераміки……47

1.4. Фактори, що впливають на енерговитрати…….51

2. АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ «КВАРЦ»……54

2.1 Загальна характеристика енергоспоживання підприємства……..54

2.2 Основні джерела споживання електроенергії у технологічному процесі…….55

2.3 Аналіз втрат електроенергії та їх причини……..57

2.4 Вибір електричної печі для обпалу кераміки……..59

2.5 Тепловий розрахунок електропечі СДО 20.30.18/12,5……...64

2.6 Вибір електричної печі меншої встановленої потужності……76

2.7 Тепловий розрахунок електропечі СНОЛ 500/12……79

2.8 Визначення раціональних режимів експлуатації електричних печей……82

2.8.1 Розрахунок показників роботи печі СДО 20.30.18/12.5……...85

2.8.2 Розрахунок показників роботи печі СНОЛ 500/12……...92

2.8.3 Визначення економії електроенергії при виборі раціонального режиму роботи електричних печей…….95

2.8.4 Рекомендації щодо підвищення енергоефективності та продуктивності печі……..……98

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВПРОВАДЖДЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБПАЛУ КЕРАМІКИ НА ПРАТ «КВАРЦ»…….102

3.1 Визначення економії ПЕР при заміні печей……..…102.

3.2 Визначення капітальних витрат та показників ефективності…….106

4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ……115

4.1 Методика оцінки економічної ефективності заходів з енергозбереження…….115

4.2 Аналіз можливих ризиків та бар'єрів у впровадженні змін……..117

4.3 Очікуваний ефект від реалізації заходів щодо зменшення енерговитрат…….120

4.4 Розробка рекомендацій щодо подальшого підвищення нергоефективності підприємства……...……..122

ВИСНОВКИ…….……..124

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……..…126

Додаток А Програма теплового розрахунку електропечі СДО 20.30.18/12,5 у середовищі MATLAB…….…….129

Додаток Б Програма розробелена в програмі Matlab теплового розрахунок електропечі СНОЛ 500/12……..132

Додатку В Програма розроблена в пакеті Matlab розрахунку показників роботи печі СДО 20.30.18/12.5……..…….134

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку промислового виробництва енергозбереження стає одним із ключових факторів ефективної роботи підприємств. Постійне зростання тарифів на електроенергію змушує виробників шукати нові способи оптимізації витрат, впроваджувати сучасні технології та переглядати організацію робочих процесів. Особливо це стосується виробництв, які використовують енергоємне обладнання, адже його робота напряму впливає на собівартість продукції.

Приватне підприємство «Кварц», розташоване в місті Запоріжжя, є одним із лідерів національного ринку у виробництві силових запобіжників і володіє власним керамічним виробництвом. Володіння власною технологічною базою дозволяє не тільки повністю забезпечувати себе необхідними комплектуючими, а й проводити науково-дослідні роботи, створюючи експериментальні зразки для нових розробок. Це дає підприємству значну перевагу перед конкурентами та забезпечує стабільність його розвитку.

Проте технологічні процеси, пов’язані з виробництвом керамічних деталей, потребують значних обсягів електроенергії. Випал виробів відбувається при високих температурах, що вимагає тривалої роботи печей, які є одними з найбільш енерговитратних агрегатів. Для підготовки сировини також використовується спеціалізоване обладнання, що споживає значну кількість електроенергії, адже процеси змішування, подрібнення та сушіння повинні бути безперервними. Крім того, важливим етапом є пресування заготовок, що здійснюється на потужних механічних і гідравлічних пресах.

Зростання витрат на електроенергію безпосередньо впливає на кінцеву вартість продукції, що робить питання енергозбереження одним із найактуальніших для підприємства. Зменшення енергоспоживання можливе завдяки модернізації

обладнання, впровадженню нових технологічних рішень та оптимізації виробничих процесів. Світовий досвід показує, що підприємства, які активно інвестують у підвищення енергоефективності, отримують конкурентні переваги, знижують виробничі витрати та підвищують рентабельність.

Важливим напрямком енергозбереження є впровадження автоматизованих систем контролю за енергоспоживанням, що дозволяє своєчасно аналізувати витрати та коригувати режими роботи обладнання. Крім того, перегляд графіків роботи виробничих ліній та оптимізація навантажень на електромережу допомагають суттєво скоротити загальні витрати. Впровадження сучасних енергоефективних технологій, наприклад, оновлення електродвигунів на обладнанні, встановлення частотних регуляторів, використання рекуперативних систем для утилізації тепла, дозволяє значно зменшити рівень споживаної енергії.

Проте технічні заходи – це лише одна сторона вирішення проблеми. Не менш важливим фактором є зміна підходів до організації праці та підвищення енергоефективності на рівні персоналу. Працівники підприємства мають бути зацікавлені в ощадливому використанні ресурсів, а для цього необхідно впроваджувати системи мотивації та навчання. Світова практика показує, що навіть прості зміни у ставленні до споживання енергії можуть мати значний ефект.

Таким чином, питання зменшення витрат на електроенергію для ПП «Кварц» є не лише економічно важливим, а й стратегічним. Впровадження заходів з енергозбереження дозволить підприємству залишатися конкурентоспроможним, зменшити собівартість продукції та підвищити ефективність виробництва. У цій роботі будуть розглянуті основні аспекти енергоспоживання на підприємстві, проведено аналіз можливих шляхів економії та запропоновані рішення, які допоможуть скоротити витрати на електроенергію без зниження якості продукції та продуктивності виробництва.

Магістерська робота складається з чотирьох розділів, які послідовно висвітлюють особливості технологічного процесу виготовлення керамічних

виробів, аналіз енергоспоживання на підприємстві, можливі шляхи зниження витрат на електроенергію та оцінку ефективності запропонованих заходів.

Результати цього дослідження можуть бути корисними не лише для приватного підприємства «Кварц», а й для інших компаній, що працюють у сфері виробництва керамічних виробів, силових запобіжників та електроізоляційних матеріалів. Оскільки процеси виготовлення подібної продукції вимагають значних витрат електроенергії, питання енергозбереження та підвищення енергоефективності є критично важливим для забезпечення стабільної та рентабельної роботи таких підприємств.

В умовах постійного зростання тарифів на електроенергію та посилення екологічних вимог оптимізація витрат на енергоспоживання стає не лише економічною, а й стратегічною необхідністю для промислових підприємств. Запропоновані у дослідженні заходи дозволяють не тільки знизити експлуатаційні витрати, а й підвищити технологічну ефективність виробничого процесу. Впровадження автоматизованих систем моніторингу споживання електроенергії, модернізація обладнання, зокрема заміна застарілих електродвигунів та впровадження частотно-регульованих приводів, дозволять підприємствам суттєво зменшити втрати енергії та підвищити коефіцієнт корисної дії виробничого обладнання.

Важливим аспектом дослідження є оцінка теплових характеристик електропечей, які використовуються для випалу керамічних ізоляторів. Проведені теплотехнічні розрахунки в середовищі MATLAB дозволяють визначити оптимальні режими експлуатації, що сприятиме зниженню витрат електроенергії без погіршення якості продукції. Крім того, впровадження рекуперативних систем утилізації тепла, використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячні електростанції, допоможуть досягти додаткового рівня енергоефективності та знизити вплив виробництва на навколишнє середовище.

Отримані висновки та практичні рекомендації сприятимуть ширшому впровадженню ефективних енергозберігаючих заходів на підприємствах галузі, що, у свою чергу, дозволить не лише зменшити витрати на електроенергію, а й підвищити загальну продуктивність, конкурентоспроможність та довгострокову стійкість підприємств. Крім того, підвищення рівня енергоефективності сприятиме зменшенню викидів вуглекислого газу та скороченню загального енергетичного навантаження на електромережі регіону, що є важливим фактором для забезпечення екологічної та економічної стабільності промислового сектору.

Метою даного дослідження є аналіз енергоспоживання під час виробництва керамічних виробів на ПрАТ «Кварц» та розробка ефективних заходів для зменшення витрат електроенергії. Дослідження спрямоване на оцінку можливостей впровадження енергоефективних електричних печей для обпалу кераміки, оптимізацію режимів їх експлуатації та визначення економічної доцільності запропонованих заходів з енергозбереження.

Завдання дослідження:

1. Дослідити особливості технологічного процесу виготовлення кераміки, зокрема визначити характеристики продукції ПрАТ «Кварц», технологічну схему виробництва та особливості роботи основного обладнання.

2. Проаналізувати споживання електроенергії на підприємстві, визначити основні джерела енергоспоживання та оцінити втрати електроенергії в технологічному процесі.

3. Дослідити особливості роботи електричних печей для обпалу кераміки, порівняти їх з газовими аналогами та обґрунтувати вибір найбільш ефективної печі для зменшення енерговитрат.

4. Виконати теплові розрахунки електричних печей СДО 20.30.18/12,5 та СНОЛ 500/12, визначити їх продуктивність, енергетичні показники та економічну доцільність використання.

5. Встановити раціональні режими експлуатації електричних печей, провести розрахунки основних показників роботи обладнання та оцінити потенційний рівень економії електроенергії.

6. Оцінити техніко-економічні переваги заміни електричних печей на підприємстві, розрахувати економію паливно-енергетичних ресурсів та капітальні витрати на модернізацію обладнання.

7. Розробити методику оцінки економічної ефективності заходів з енергозбереження, провести аналіз можливих ризиків та бар'єрів у впровадженні змін.

8. Визначити очікуваний ефект від реалізації заходів щодо зменшення енерговитрат, оцінити їх вплив на фінансові показники підприємства та конкурентоспроможність продукції.

9. Сформулювати рекомендації щодо подальшого підвищення енергоефективності виробництва, запропонувати заходи з оптимізації витрат енергії та підвищення продуктивності обладнання.

Дослідження є комплексним і охоплює як технічні, так і економічні аспекти енергозбереження на підприємстві. Його результати дозволять розробити оптимальну стратегію підвищення енергоефективності та зниження виробничих витрат.

1 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ КЕРАМІКИ

1.1 Призначення і опис продукції, що виготовляється ПрАТ «Кварц»

Підприємство ПрАТ «Кварц» є розробником і виробником високовольтних і низьковольтних плавких запобіжників та ізоляторів з 1993 року.

Продукція підприємства поставляється:

- енергетичним системам;

- підприємствам-виробникам енергетичного устаткування;

-енергоємним підприємствам країн СНД : України, Азербайджану, Молдови, Вірменії, Казахстану; країн Балтії.

Якість продукції підтверджена сертифікаційними випробуваннями систем стандартизації України і Росії, а також впровадженою на підприємстві системою якості ДСТУ ISO 9001: 2001 і досвідом експлуатації впродовж дев'ятнадцяти років. Запобіжники ПрАТ «Кварц» забезпечують заміну відповідних російських запобіжників.

Запобіжники – це комутаційні електричні апарати, призначені для захисту електричних ланцюгів від аварійних режимів, захисту електричних мереж, електроустаткування загальнопромислових установок, вагонів метрополітену та ін. від струмів перевантаження і коротких замикань. Вони відключають ланцюг, що захищається, за допомогою руйнування спеціально передбачених для цього струмоведучих частин під впливом струму, що перевищує певне значення.

Простіше кажучи, запобіжник - прилад, що включається в ланцюг електричного струму і має призначення автоматично розмикати ланцюг, якщо струм в ній з якої-небудь причини настільки посилиться, що може з’явитися небезпека сильного нагрівання дротів, псування їх ізоляції і включених в ланцюг приладів, а також небезпека пожежі внаслідок нагрівання ланцюга.

Запобіжник тому вводиться послідовно в ланцюг електричного струму скрізь, де які-небудь провідники приєднуються до більш товстих, перед приладами (наприклад, електричними лампами) і взагалі перед тими частинами ланцюга, які мають бути збережені від дії занадто сильного струму.

Запобіжники низьковольтні плавкі- комутаційні електричні апарати, призначені для відключення ланцюга, що захищається, за допомогою руйнування спеціально передбачених для цього струмоведучих частин (плавких вставок) під впливом струму, що перевищує певне значення.

Швидкодіючі запобіжники в основному застосовуються для захисту напівпровідникових приладів. Мала теплова інерція, швидкий прогрів напівпровідникового переходу сильно ускладнюють захист потужних діодів, тиристорів і транзисторів при струмових перевантаженнях. Звичайні типи запобіжників і автоматичних вимикачів через відносно великий час спрацьовування не забезпечують захист напівпровідникових приладів при короткому замиканні.

Для виконання цього завдання розроблено спеціальні швидкодіючі запобіжники: типу ППА та ПП.

Електричний ізолятор - електротехнічний пристрій, призначений для електричної ізоляції і механічного кріплення електроустановок або їх окремих частин, дротів, шин, повітряних ліній зв'язку і дротяного мовлення, що знаходяться під різними електричними потенціалами. Опорний ізолятор призначений для кріплення струмоведучих частин в електричних апаратах, розподільчих пристроях електричних станцій і підстанцій, комплектних розподільчих пристроях. За конструкцією являє собою деталь з ізоляційного матеріалу циліндричної або конічної форми, всередину якої закладена металева арматура з різьбовими отворами для кріплення шин і монтажу ізолятора. Для підвищення робочої (розрядної) напруги ізолятора на його бічний поверхні передбачаються ребра, що збільшують довжину шляху витоку.

Описуване підприємство випускає опорні ізолятори і наступні типи запобіжників :

Високовольтні плавкі запобіжники серії ПКТ на 6, 10 і 35 кВ, струм від 2 до 200 А і серії ПКН – на 10 і 35 кВ. Запобіжники ПКТ призначені для захисту силових трансформаторів, повітряних і кабельних ліній. Запобіжники ПКН призначені для захисту ланцюгів трансформаторів напруги.

Високовольтні плавкі запобіжники серії ПКЕ на 6, 10 і35 кВ, струм від 2 до 200 А. Запобіжники ПКЕ призначені для захисту розподільчих пристроїв, екскаваторів і пересувних електростанцій.

На рисунку 1.1 зображено високовольтні плавкі запобіжники типу ПКЕ, ПКТ та ПКН.

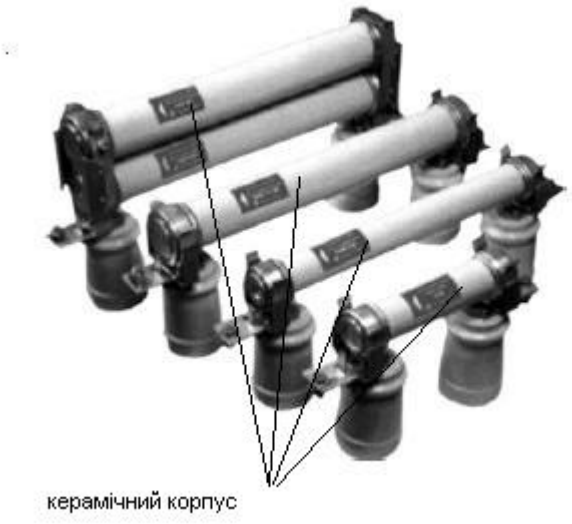


Рисунок 1.1 – Високовольтні плавкі запобіжники типу ПКТ, ПКН, ПКЕ

Низьковольтні запобіжники ПН22 . Запобіжники серії ПН22 (струм 31,5 – 630 А) призначені для захисту електричних ланцюгів змінного струму напругою 380 В частоти 50 і 60 Гц при коротких замиканнях і перевантаженнях.

Низьковольтні швидкодіючі запобіжники типу ПП57У. Запобіжники серії ПП57У призначені для захисту силових напівпровідникових перетворювачів при коротких за-мыканнях в ланцюгах змінної і постійної напруги 380, 660В.

На рисунку 1.2 зображено низьковольтні швидкодіючі запобіжники типу ПН, ПП.



Рисунок 1.2 – Низьковольтні швидкодіючі запобіжники типу ПН, ПП

Також на підприємстві виготовляються керамічні ізолятори. На рисунку 1.3 зображено керамічний ізолятор.



Рисунок 1.3 – Керамічний ізолятор

Асортимент продукції підприємства зумовлений не тільки міцним фундаментом підприємства, закладеним за останні півтора десятка років, а і грамотною маркетинговою політикою, яку проводить керівництво ВАТ «Кварц».

Ізолятори керамічні опорні армовані типу ІО і ІОР призначені для ізоляції і кріплення струмоведучих частин в електричних апаратах і розподільних пристроях напругою 6 і 10 кВ змінного струму частоти 50-60 Гц.



Рисунок 1.4 – Керамічні опорні армовані ізолятори типу ІО і ІОР

Ізолятори керамічні опорно-стрижневі армовані типу ІОС-10-500 УХЛ, Т1 призначені для ізоляції і кріплення струмоведучих частин в електричних апаратах і розподільних пристроях напругою 6 і 10 кВ змінного струму частоти 50-60 Гц.

Ізолятори керамічні опорно-стрижневі армовані типу С4-80-ІІ УХЛ, Т1 призначені для ізоляції і кріплення струмоведучих частин в електричних апаратах, комплектних розподільних пристроях, струмопроводах, розподільних пристроях електричних станцій і підстанцій змінної напруги 10 кВ частоти до 100 Гц.

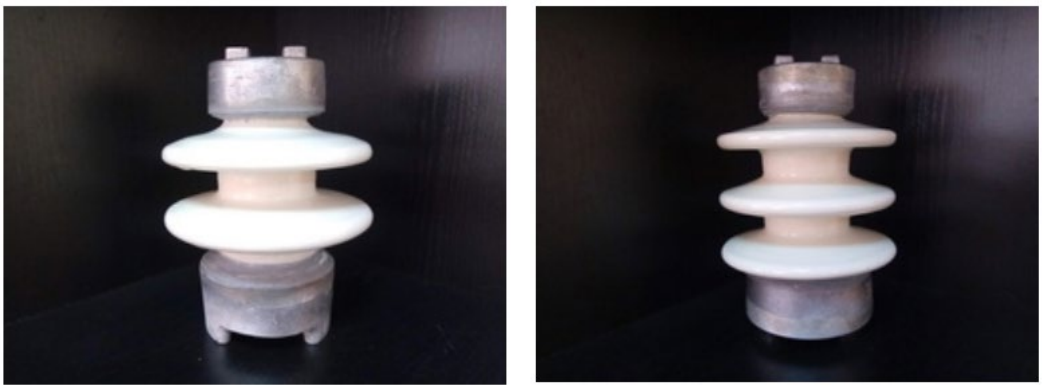


Рисунок 1.5 – Ізолятори керамічні опорно-стрижневі армовані типів ІОС-10-500 та С4-80-ІІ

За час існування підприємства була створена справжня школа фахівців-розробників комутаційного обладнання. За цей час колективом підприємства проведені і систематизовані тисячі дослідів, розроблені, випробувані і запущені у виробництво сотні типовиконань запобіжників різного призначення, обраний єдиний методологічний підхід до розробки.

Так, наприклад, до 2002 року високовольтні запобіжники типів ПКТ, ПКЕ, ПКН та ін. виготовлялися підприємством за застарілою технологією: струмоз'ємні ковпачки запобіжника мали з торця великий отвір, через який в фарфоровий корпус вставлявся плавкий елемент і засипався наповнювач, і який потім закривався спеціальною кришкою і пропаювався по периметру [1].

З багаторічного досвіду виготовлення таких запобіжників на підприємстві (з 1993 р.), в ході їх випробувань і експлуатації, а також з багаторічного досвіду ремонту аналогічних запобіжників з'ясувалося, що:

- вкрай складно забезпечити герметичність патрона, тому що довжина паяного шва становить тільки для однієї сторони 150-220 мм;

- навіть якщо патрон був виготовлений герметичним, з часом при експлуатації або зберіганні велика ймовірність його розгерметизації внаслідок "олов'яної чуми";

- якість пайки і товарний вигляд продукції в значній мірі залежать від кваліфікації складальника.

Сучасна, захищена декількома нашими патентами, технологія з використанням "глухого" ковпака не тільки дозволила позбутися вищеназваних недоліків, але також автоматизувати деякі процеси при складанні запобіжників, що в кінцевому підсумку призвело до зниження собівартості і підвищення якості продукції [1].

Також на підприємстві застосовується оригінальна технологія ремонту запобіжників. Ремонт силових високовольтних запобіжників на підприємстві ТОВ «Кварц» є важливою частиною виробничого процесу, що дозволяє значно продовжити термін експлуатації обладнання та забезпечити його надійну роботу в

електроенергетичних мережах. Всі питання, пов’язані з можливістю ремонту, узгоджуються з технічним відділом підприємства, що гарантує високу якість виконаних робіт та відповідність відремонтованих запобіжників заводським характеристикам.

Існує розповсюджена думка про те, що старі моделі високовольтних запобіжників із запаяними кришками підлягають ремонту, тоді як вироби з «глухими» ковпаками — ні. Однак цей підхід не відповідає реальним можливостям сучасного виробництва. Практика підприємства ТОВ «Кварц» доводить, що ремонт можна здійснювати незалежно від конструкції запобіжника. Більш того, відновлення виробів із «глухими» ковпаками виявляється навіть менш витратним як за часом, так і за собівартістю. Відремонтовані таким чином запобіжники нічим не відрізняються від нових ані за технічними характеристиками, ані за зовнішнім виглядом.

На підприємстві застосовується ефективна схема ремонту, що включає заміну спрацьованого запобіжника на новий з відповідною оплатою відновлювальних робіт. Надалі демонтований запобіжник піддається ретельному аналізу, що дозволяє вивчати його роботу в реальних експлуатаційних умовах. Ці дані є надзвичайно цінними для вдосконалення конструкції та покращення експлуатаційних характеристик майбутніх моделей запобіжників.

Проблеми, що виникають при ремонті запобіжників, значною мірою пов’язані з так званим «незаводським ремонтом», що здійснюється без належного технічного обладнання та професійного контролю. Найчастіше такі спроби ремонту проводяться безпосередньо службами споживачів – у лабораторіях, майстернях або навіть приватними особами, які не володіють достатнім досвідом і не мають необхідних знань для дотримання всіх технічних вимог.

Незаводське відновлення запобіжників із «глухими» ковпаками нерідко виявляється вкрай складним завданням. Якщо розібрати запобіжник можливо, то його зворотне збирання без втрати заводських параметрів є надзвичайно складним.

Саме тому такі вироби після кустарного ремонту часто не відповідають технічним вимогам та можуть становити загрозу для електроенергетичних систем.

Високовольтний запобіжник є складним електротехнічним пристроєм, конструкція якого, на перший погляд, здається простою. Проте процеси, що відбуваються в ньому під час відключення струмів короткого замикання, вимагають точного розрахунку та ретельного контролю за кожним параметром. Найменші відхилення від нормативних значень можуть призвести до аварійних ситуацій [2,3].

Ремонт такого обладнання передбачає детальне розуміння його конструктивних особливостей. Плавкий елемент запобіжника має строго визначену будову, що включає кілька відрізків дроту різного перерізу. Для зниження струму плавлення та підтримки необхідної інерційності елементи повинні містити певні зони з олов'яним припоєм. Якість наповнювача запобіжника (кварцового піску) та його щільність також мають вирішальне значення для ефективності роботи пристрою.

У разі кустарного ремонту ці вимоги часто не враховуються. Якщо, наприклад, у процесі складання були випадково пошкоджені один або кілька плавких елементів, це може значно змінити номінальні характеристики запобіжника. Відсутність точного обладнання для перевірки цілісності плавких елементів робить неможливим якісний контроль зібраного виробу.

Наслідки неправильно виконаного ремонту можуть бути катастрофічними. Наприклад, якщо замість п’яти паралельних плавких елементів залишаються лише два, номінальний струм запобіжника суттєво знижується. Якщо після такого ремонту запобіжник буде встановлений у електроустановку з великим струмом, його плавкі елементи можуть розплавитися, однак пристрій не зможе виконати захисну функцію та відключити струм, що призведе до вибуху запобіжника та серйозних пошкоджень електрообладнання.

Така ситуація особливо небезпечна, оскільки відремонтований кустарним способом запобіжник може виглядати цілком справним, а маркування на корпусі

залишиться заводським. У разі аварії відповідальність за наслідки може бути покладена на виробника, хоча реальна причина криється у неправильно проведеному ремонті.

Враховуючи ці фактори, стає очевидним, що відновлення високовольтних запобіжників потребує не лише відповідного технічного оснащення, але й точного дотримання всіх технологічних процесів. ТОВ «Кварц» має спеціалізоване обладнання, необхідне для виконання якісного ремонту із збереженням заводських характеристик виробів. Завдяки цьому відремонтовані запобіжники знову можуть використовуватися без ризику для електроустановок та персоналу.

Таким чином, ремонт силових високовольтних запобіжників є складним технологічним процесом, що вимагає глибоких знань та професійного підходу. Проведення ремонту на спеціалізованому підприємстві гарантує не лише безпечну експлуатацію обладнання, але й дозволяє вивчати особливості роботи запобіжників у реальних умовах та вдосконалювати їх конструкцію. Саме тому підприємство ТОВ «Кварц» продовжує розвивати свої технології та пропонувати споживачам високоякісний ремонт, який повністю відповідає заводським стандартам [1].

1.2 Технологічна схема керамічного виробництва

Виробництво керамічних ізоляторів є складним технологічним процесом, що поєднує фізичні, хімічні та механічні перетворення матеріалів. Основою для їх виготовлення є спеціальні види глини, каоліну, кварцового піску та польового шпату, які підбираються відповідно до необхідних властивостей майбутніх виробів.

Перший етап починається з підготовки сировини. Всі компоненти ретельно очищуються від домішок, подрібнюються та змішуються у певних пропорціях. Отримана маса піддається вологому помелу у спеціальних млинах, де досягається

необхідна однорідність та пластичність матеріалу. Після цього керамічна маса проходить процес відстоювання, який необхідний для стабілізації її фізико-хімічних властивостей.

Наступний етап передбачає формування заготовок. В залежності від типу ізолятора застосовується метод пресування або лиття. Для деталей складної форми використовується гіпсове лиття, тоді як прості геометричні форми отримують шляхом пресування під високим тиском. Важливим моментом є контроль вологості матеріалу, оскільки від цього залежить якість кінцевого виробу [4].

Після формування заготовки піддаються сушінню. Цей процес відбувається у спеціальних камерах, де при контрольованій температурі та вологості видаляється залишкова волога. Занадто швидке висушування може спричинити утворення тріщин, тому параметри цього процесу регулюються відповідно до властивостей конкретного виробу.

Одним із найважливіших етапів є випал кераміки. Він проходить у високотемпературних печах, де поступове підвищення температури дозволяє забезпечити правильну мікроструктуру матеріалу. Випал зміцнює керамічні вироби, робить їх термостійкими та стійкими до механічних навантажень. Температура випалу та його тривалість залежать від складу сировини, однак зазвичай цей процес триває кілька годин при температурах понад 1200°C.

Після термообробки поверхня ізоляторів піддається глазуруванню. Спеціальне покриття не лише покращує зовнішній вигляд виробу, а й забезпечує додатковий захист від впливу вологи, механічних пошкоджень та електричних пробоїв. Глазур рівномірно наноситься на поверхню і повторно закріплюється під час другого випалу.

Готові вироби проходять обов’язковий контроль якості. Випробування включають механічні, електричні та термічні тести, що підтверджують відповідність виробів стандартам та вимогам експлуатації. Після цього керамічні

ізолятори маркуються та відправляються на складування чи безпосередньо до замовників.

Таким чином, виробництво керамічних ізоляторів є багатоступеневим процесом, в якому кожен етап відіграє ключову роль у забезпеченні високої якості та довговічності кінцевого продукту.

Керамічний матеріал складається з декількох фаз. Основними фазами є кристалічна (одна або декілька) і скловидна. Кристалічна фаза визначає характерні властивості керамічного матеріалу і є хімічними сполуками або твердими розчинами цих сполучень. Основні фізичні властивості кераміки - електричні, п’єзо-електричні, магнітні, температурний коефіцієнт лінійного розширення, механічна міцність – багато в чому залежать від особливостей кристалічної фази.

Скловидна фаза знаходиться в керамічному матеріалі у вигляді прошарків, що зв'язують кристалічну фазу. Кількість скловидної фази і її склад визначають в основному технологічні властивості кераміки –температура спікання, міра пластичності керамічної маси при формуванні. Від вмісту скловидної фази залежать також щільність, міра пористості і гігроскопічність матеріалу.

Наявність газової фази (гази знаходяться в закритих порах) обумовлена способом обробки маси і призводить до зниження механічної і електричної міцності керамічних виробів, а також викликає діелектричні втрати при підвищених напруженостях поля внаслідок іонізації газових включень. Пори погіршують властивості кераміки, особливо при підвищеній вологості. Щоб надати глині деякі додаткові якості, в неї вводять всілякі домішки.

Перевагою кераміки є можливість отримання заздалегідь заданих характеристик шляхом зміни складу маси і технології виробництва.

Керамічні матеріали завдяки таким властивостям як висока нагрівостійкість, відсутність у більшості матеріалів гігроскопічності, хороші електричні (п'єзоелектричні, сегнетоелектричні) і магнітні характеристики при достатній механічній міцності, стабільності характеристик і надійності, стійкість до дії

випромінювання високої енергії і використання досить дешевої і доступної сировини забезпечило їх широке застосування в різних областях.

Залежно від призначення кераміки набуття заданих властивостей виробів досягається підбором сировинних матеріалів і добавок і особливостями технології. Основною сировиною в керамічній промисловості є глини і каоліни внаслідок їх широкого поширення і цінних технологічних властивостей. Найважливішим компонентом початкової маси при виробництві тонкої кераміки є польові шпати (головним чином мікролин) і кварц [5].

Проте підвищені і різко диференційовані вимоги, що пред'являються до кераміки металургією, електротехнікою і приладобудівництвом, зумовили розвиток виробництва різних видів технічної кераміки на основі чистих оксидів, карбідів і різних сполук.

Операції, що включає технологічна схема керамічного виробництва в якості обов’язкових, та їх енерговитрати наведено на рисунку 1.6.

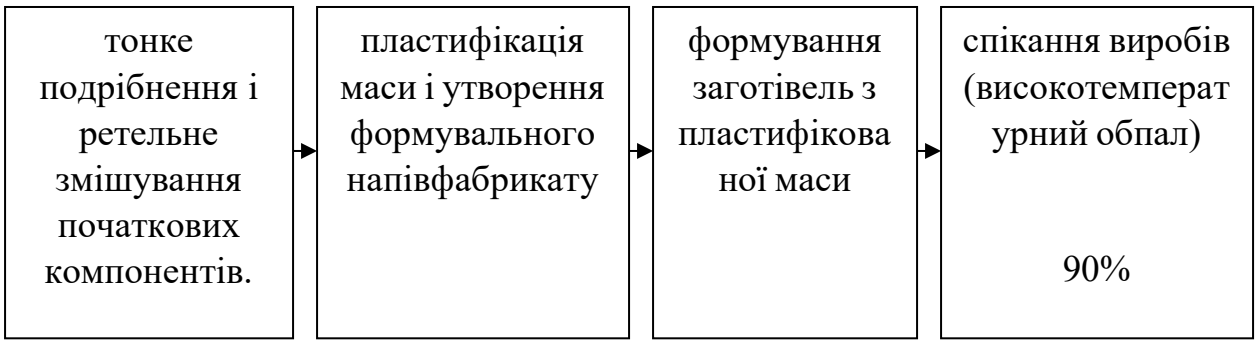


Рисунок 1.6 – Операції та енерговитрати керамічного виробництва

Із рисунку 1.6 видно, що найбільш енерговитратним етапом у процесі виготовлення кераміки є спікання виробів (високотемпературне обпал), частка якого у енергоспоживанні складає 90%, при інших етапах виготовлення кераміки споживається незначна кількість енергії.

Подрібнення і змішування сировинних компонентів робиться в кульових і вібраційних млинах. Помел може бути "сухим" або "мокрим". Усі подрібнені

керамічні маси за технологічними особливостями розділяють на три групи: пластичні маси (матеріали, в шихті яких міститься значна кількість глинистих речовин), малопластичні маси (матеріали з малою кількістю глинистих речовин), непластичні маси (матеріали з без глинистої шихти).

Склад шихти визначає значною мірою технологію приготування маси до формування. Отримана шихта пластифікується органічним пластифікатором.

Вимоги до порошків для отримання кераміки залежно від її цільових властивостей можуть бути різними, до найбільш загальних з них відносяться наступні: заданий хімічний, фазовий і гранулометричний склад, їх однорідність, активність і ін.

Методи отримання порошків можна розділити принципово на дві великі групи: грунтовані на диспергуванні (подрібненні) початкових матеріалів і навпаки на їх конденсації, тобто виділенні твердих речовин з рідкої або газоподібної фази.

Методи першої групи підрозділяються залежно від принципів, покладених в основу процесів диспергування: стирання, удар, тиск, вибух, ультразвукова дія, електромагнітний імпульс, електроіскрове або дугове диспергування, електрохімічна або хімічна корозія, лазерна дія, руйнування матеріалу за рахунок послідовних теплозмін і ін.

До другої групи відносяться, наприклад, розкладання металоорганічних сполук (МОС), різні варіанти осадження з розчинів, упарювання сольових розчинів, осадження за рахунок реакцій в газовій фазі, конденсація пари, кріохімічний метод, розпорошувальна сушка і так далі. Особливістю отримання порошків таких матеріалів,як складні оксиди, являється те, що в його ході часто протікають хімічні реакції розкладання початкових речовин (солей, органічних сполук, гідроксидів термічно неміцних форм), а далі здійснюється твердофазний синтез фаз заданого складу [6].

Формування виробів здійснюють методом пресування, пластичним протяганням (витискуванням) через мундштук або гарячим литвом під тиском.

Вибір способу формування визначається технічними, економічними і технологічними чинниками, головними з яких являються форма, розмір і точність деталі, кількість деталей, що виготовляються, і технологічні властивості вживаних мас.

Наприклад, великогабаритні вироби складної конфігурації формують шляхом литва рідкої керамічної маси (водного шлікеру) в гіпсові форми, які розбивають при витяганні заготівель. Переважно формуються з пластичних мас в гіпсових формах на напівавтоматах і автоматах господарський фарфор і фаянс. Санітарно-будівельна кераміка складної конфігурації відливається в гіпсових формах з керамічного шлікера на механізованих конвеєрних лініях. Радіо і п’єзокераміка, кермети та інші види технічної кераміки залежно від їх розмірів і форми виготовляються головним чином пресуванням з порошкоподібних мас або відливкою з парафінового шлікера в сталевих прес-формах.

Пресування полягає в отриманні виробу з сипкої маси під дією зовнішнього тиску. Пресування може бути "напівсухе ізостатичне", "мокре", "гідростатичне", "гаряче". Гаряче пресування застосовують для виготовлення безпористих виробів з контрольованим розмірами зерен (до 0,1 мкм), що відрізняються підвищеною міцністю і щільністю, що покращує, наприклад, у разі виготовлення феррокераміки, магнітні характеристики : магнітну проникність, індукцію, час перемагничування.

Особливо придатним є цей метод при виготовленні феритів для магнітних голівок облаштувань магнітного запису і відтворення звуку і відеосигналів, феритів НВЧ – діапазону і п’єзокераміки, які неможливо виготовити звичайними методами.

Сформовані вироби піддаються сушці в камерних, тунельних або конвеєрних сушарках. На рисунку 1.7 схематично зображено тунельну сушарку.

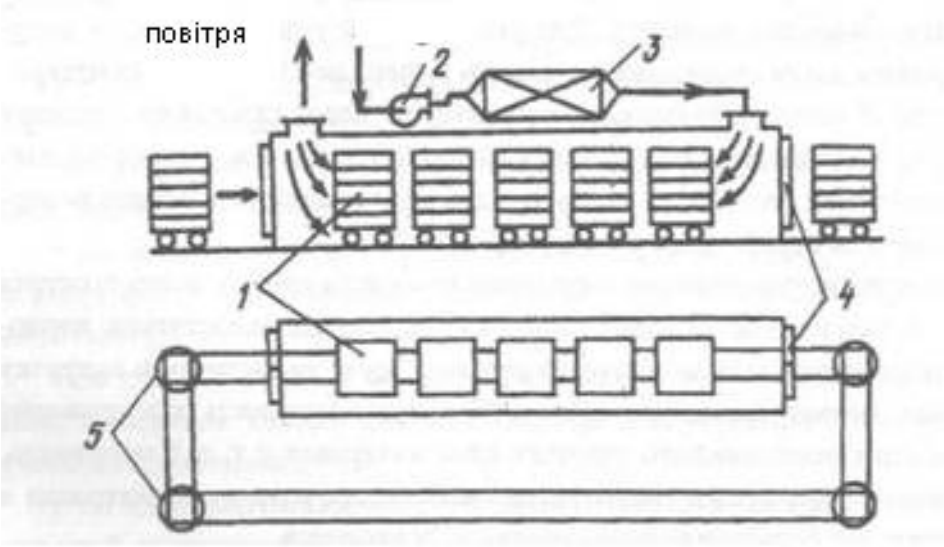


Рисунок 1.7 – Схема тунельної сушарки

На рисунку 1.7 цифрами позначено наступні деталі сушарної шафи: 1 – вагонетка, 2 – вентилятор, 3 – калорифер, 4 – герметичні двері, 5 – поворотні круги.

Першим кроком у виготовленні високовольтних і низьковольтних ізоляторів на заданому виробництві є витискування і нарізка заготовок з покупної маси за допомогою шнекового пресу. Наступним кроком є надання форми ізоляторам і запобіжникам за допомогою обдирного станку.

Після сушки сформованих виробів в сушарній шафі, вони піддаються глазуруванню шляхом занурення.

Призначення глазурі – прикрити пористий черепок виробів щільним і гладким шаром, надати виробам з щільним черепком підвищену механічну міцність і гарний зовнішній вигляд, підвищити хімічну стійкість, гарантувати електричні властивості, захистити підглазурний декор від механічної і хімічної дії, служити декоративним елементом, а також підкладкою для над- і внутрішньоглазурного декору.

По складу і фізичним властивостям глазур є різновидом лужних, алюмосилікатних і алюмоборосилікатних стекол, при введенні в які з'єднань з

відмінними від основної маси показниками заломлення світла вони стають непрозорими, а при додаванні з'єднань із забарвлюючими оксидами металів набувають здатність поглинати світло. Прозора глазур – покриття з однофазною мікроструктурою, які не виявляють ознак фазового розділення у світловому і електронному мікроскопах прозорі на вигляд. При цьому допускається наявність нечисленних кристалів, що не розчинилися, або газових бульбашок, що не впливають на зовнішній вигляд покриття глазурі внаслідок дуже малих розмірів, ща складають менше 0,2мкм.

Перевагою прозорої глазурі є можливість їх використання при підглазурному і надглазурному декоруванні. До недоліків слід віднести те, що вони знижують на 2-3% білизну ангоба або глазурі основного шару, а також відрізняються підвищеною схильністю до мікротріщин внаслідок невисокої міцності однофазного скла на розтягування [7].

Глушені глазурі дозволяють маскувати забарвлений керамічний черепок. Заглушеність або непрозорість викликається наявністю в склі глазурі твердих або газоподібних включень з коефіцієнтами заломлення світла більше або менше коефіцієнта заломлення самого скла глазурі, тобто ті, що мають оптичну щільність, що відрізняється від щільності склофази.

Внаслідок різних оптичних властивостей, включень і основної склофази світло, що падає, в глазурі багаторазово заломлюється, відбивається і розсіюється, і покриття стає непрозорим. Чим більше доля відбитого і розсіяного світла знаходиться у видимій частині спектру, тим більше заглушеним буде покриття глазурі. Для отримання глушених білих глазурей прозорість виключають шляхом диспергування кристалічних включень в склофазі внаслідок жидкофазного розшарування глазурі - ліквації, а також шляхом штучного отримання в шарі глазурі мілких газових бульбашок.

Нині керамічна промисловість оснащена машинами для очищення виробів від пилу, глазурування, зачистки і склеювання. У виробництві використовують не лише

глазурувальні машини, але і потокові конвеєрні лінії глазурування. Створений промисловий глазурувально-сушильный конвеєр, обладнаний системою контролю,сигналізації і автоматизації. Температура в сушарках, тиск газу, що поступає до пальників, і тиск повітря, що направляється до пульверизаторів глазурувальної машини, регулюються автоматично. При глазуруванні порожнистої кераміки на лінії встановлюють послідовно дві розпорошувальні камери з різною глазур'ю, що дозволяє скоротити час переходу зодного виду глазурі на інший. Продуктивність такої лінії 4тис. виробів на годину. Найбільш економічним і ефективним є дискове відцентрове розпилення глазурі, вживане в конвеєрній лінії безперервного виробництва з двократним обпалом. На рисунку 1.6 зображено схему глазурувальної камери.

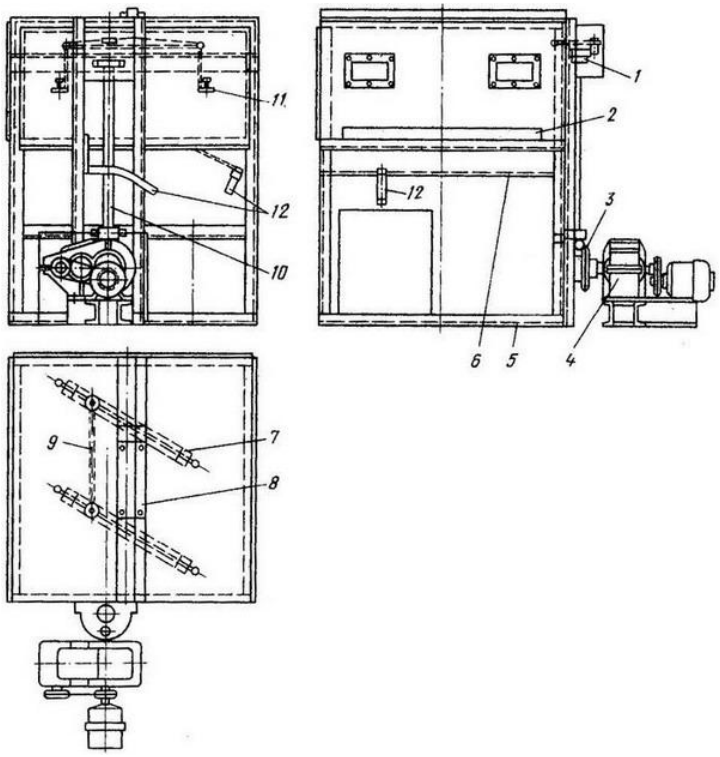


Рисунок 1.8 – Глазурувальна камера

Цифрами на рисунку 1.8 позначено наступні частини камери: 1 - шатуново-кривошипний вузол; 2 - щілини; 3 - конічна пара шестерень; 4 - редуктор; 5 -

станина; 6 - корито; 7 -важіль; 8 - планка кріплення корпусу; 9 - сполучна тяга; 10 - вертикальний вал; 11 - пульверизатор; 12 – злив глазурі у бак.

Для глазурування дрібних виробів (ізоляторів, фітингу і т.д.) використовують карусельні машини. За допомогою штирів-веретен виріб спочатку опускається у ванну з водою, а потім у ванну з суспензією глазурі. Штирі, закріплені на ланцюзі, що безперервно рухається, обертаються навколо власної осі і переміщаються разом з виробом в камеру сушки.

На великих заводах з великим асортиментом виробів глазурування виробів, що рухаються на конвеєрі, можна виконувати ручними розпилювачами.

Після глазурування запобіжники і ізолятори піддаються повторній сушці в сушарних шафах. І після цього вони переходять до останньої і найбільш важливої стадії у виготовленні – випаленню [8].

Спікання виробів проводять в муфельних або тунельних електричних печах при температурі 1250 – 1260 °С і вище. При спіканні відбувається випалювання пластифікатора, завершуються хімічні реакції між компонентами. За рахунок злиття часток фіксується форма виробу, матеріал абуває необхідну механічну міцність і задані фізичні і електричні властивості. Залежно від складу матеріалу спікання (обпал) може робитися не лише в окислювальному, але і в нейтральному і навіть у відновному середовищі [9-11].

Обпал кераміки є найважливішим технологічним процесом, що забезпечує задану міру спікання. Точним дотриманням режиму обпалу забезпечуються необхідний фазовий склад і усі найважливіші властивості кераміки. В процесі обпалу внаслідок випару вологи, вигорання пластифікатора і ущільнення матеріалу відбувається усадка виробів, тобто зменшення їх розмірів, але зростають їх механічна міцність і щільність. Відповідно до комплексу висунутих вимог міра спікання різних видів кераміки коливається в широких межах. Вироби з електрофарфору, фаянсу і інших видів тонкої кераміки покриваються перед обпалм

глазур'ю, яка при високих температурах обпалу (1000-1400°С), плавиться, утворюючи скловидний водо- і газонепроникний шар.

По застосуванню кераміку підрозділяють на будівельну кераміку, побутову і санітарно-технічну (посуд, художні вироби,) кераміку, хімічно стійку кераміку, електротехнічну кераміку, радіотехнічну кераміку, теплоізоляційну кераміку (керамзит, пінокераміка та ін.) і вогнетриви.

По структурі розрізняють грубу кераміку (будівельна, шамотна цеглина та ін.), тонку з однорідною дрібнозернистою структурою (фарфор, п'єзо- і сегнетокераміка, кермети та ін.), пористу з дрібнозернистою структурою (фаянс, теракота, майоліка та ін.), високо пористу (теплоізоляційні керамічні матеріали).

Одноразовий обпал – це коли на висушений виріб наносять глазур і обпалюють все в один прийом, об'єднуючи утильне і полите обпал. Це мрія будь-якого виробничого економіста : тільки один раз витрачається енергія на нагрів; - вміщення виробів в піч і їх виїмка робляться один раз; не потрібний проміжний склад брухту; цикл від сирцю до готового виробу скорочується удвічі, тобто менше відносні витрати на оренду площадей і зарплатню за рахунок підвищення продуктивності. В принципі, якщо не враховувати зовсім низькотемпературне декоруюче обпал, одноразово можна обпалити будь-який матеріал. Проте: доводиться наносити і підглазурний малюнок, і власне глазур на просто висушений виріб, який, звичайно, не має міцності брухту; через це виключається машинна обробка, руками потрібно все робити дуже акуратно, щоб нічого не розбити; глазурування методом занурення – найбільш економний метод з точки зору витрати глазурі – можна проводити тільки для маленьких виробів, роблячи велику паузу між глазуруванням усередині і зовні.

Після розгляду технологічної схеми виготовлення кераміки чітко видно, що найбільш енергоитратним етапом у виготовленні кераміки є обпал форм у високотемпературних печах. Усі інші етапи є менш енергозатратними і використовують зовсім незначу частину енергії. Отже, при пропонуванні заходів

щодо зменшення енергозатратності при виробництві кераміки, в першу чергу увагу необхідно приділити процесу обпал і шукати шляхи зменшення і оптимізації енергозатрат цього процесу для виробництва.

1.3 Характеристика обладнання для обпалу кераміки

Обпал кераміки є одним із ключових етапів виробництва, що забезпечує міцність, термостійкість і електроізоляційні властивості матеріалу. Для цього процесу використовуються спеціалізовані печі, які створюють необхідні температурні умови для зміни структури керамічних виробів. Обладнання для обпалу має різні конструктивні особливості, які залежать від типу виробів, що виготовляються, та технологічних вимог до їх якості.

Основним видом обладнання для термообробки кераміки є тунельні та камерні печі. Тунельні печі призначені для масового виробництва і забезпечують безперервний процес випалу. Вони мають довгий прохідний канал, по якому переміщуються вироби на спеціальних вагонетках або конвеєрних системах. Це дозволяє рівномірно розподіляти теплову енергію і забезпечувати контрольований процес зміни фізичних властивостей кераміки [12].

Камерні печі використовуються для періодичного випалу і дозволяють одночасно завантажувати певну кількість заготовок. Вони особливо ефективні для дрібносерійного виробництва або виготовлення складних виробів, де необхідний ретельний контроль температурного режиму. Завдяки можливості програмованого керування температурою такі печі дозволяють забезпечити поступове нагрівання та охолодження, що зменшує ризик утворення тріщин і деформацій.

У сучасних умовах дедалі частіше використовуються високотемпературні електричні печі, які мають низку переваг перед газовими аналогами. Вони

забезпечують точне регулювання температури та рівномірний розподіл тепла по всій робочій зоні. Це важливо для отримання однорідної мікроструктури кераміки, що особливо критично для ізоляторів, які повинні мати стабільні електроізоляційні властивості.

Важливим аспектом у роботі обпалювальних печей є контроль процесу нагрівання та охолодження. Температурний режим підбирається з урахуванням складу керамічної маси та характеристик кінцевого виробу. У процесі випалу відбуваються складні фізико-хімічні перетворення, зокрема спікання частинок, зміна фазового складу та видалення залишкової вологи. Саме тому точність дотримання технологічного режиму відіграє вирішальну роль у формуванні кінцевих характеристик кераміки [13].

Окрім температурного контролю, важливим є питання енергоефективності печей. Сучасні моделі обладнання оснащені системами рекуперації тепла, що дозволяє значно зменшити витрати енергії. В деяких випадках використовується багатозонне нагрівання, де кожна зона має свій окремий контрольний механізм, що дозволяє оптимізувати витрати енергії та забезпечити стабільний випал у всьому об’ємі печі.

Вибір конкретного типу печі залежить від масштабів виробництва, типу сировини та вимог до кінцевої продукції. Незалежно від конструкції, всі печі повинні гарантувати рівномірність випалу, мінімізувати ризики дефектів і відповідати вимогам до енергоспоживання. Сучасні технології дозволяють досягати високої ефективності та стабільності виробничого процесу, що забезпечує виготовлення якісних керамічних ізоляторів із тривалим терміном експлуатації.

Обпал кераміки проводять в найрізноманітніших теплових агрегатах, ща називаються печами. Якщо для нагріву використовується тепло електричного струму, печі називають електричними, якщо тепло від згорання органічного палива – паливними і зазвичай конкретніше: газовими, дров'яними, мазутни-ми і так далі.

За тисячі років обпал кераміки винайдено немало конструкцій паливних печей, і за останні сто років – не менше число конструкцій електропечей.

- незалежно від виду і конструкції, в печі присутній вільний простір для того, щоб ставити вироби, скорочено - камера;

- вогнетривка і теплоізолююча оболонки, скорочено -футеровка;

- теплове джерело - нагрівач, пальник і т. д.

- пристрій для контролю і регулювання міри нагріву -регулятор.

Регулятор містить пристрій для виміру температури, яким зазвичай являється термопара, пристрій регулювання потужності нагрівача і управляючий пристрій, що погоджує дію двох перших. На рисунку 1.9 наведено схему печі для обпалу кераміки.

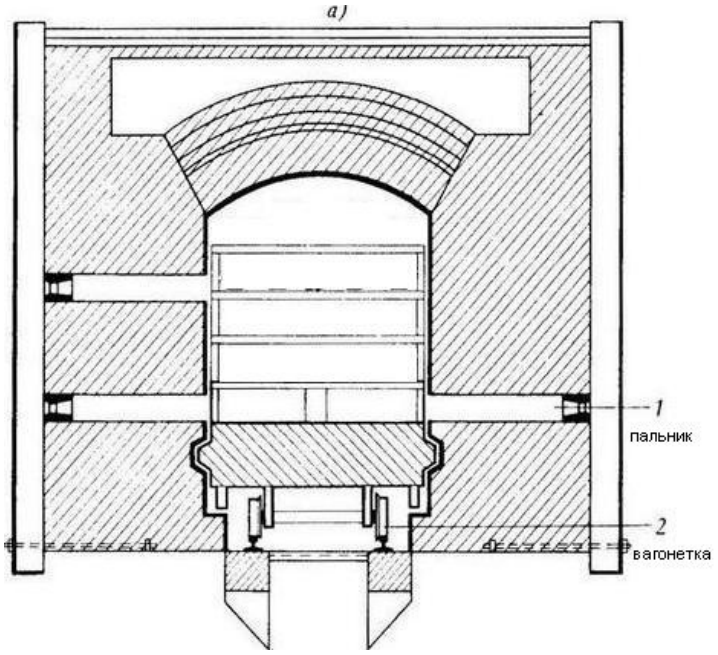


Рисунок 1.9 – Схема печі для обпалу кераміки

Кожну піч можна класифікувати за особливостями перелічених атрибутів. Якщо треба замовляти піч, обов'язково вказувати ці особливості.

Об'єм камери визначає продуктивність печі за одне обпал в періодичній печі або за цикл штовхання однієї вагонетки в тунельній печі. Об'єм камери може складати 1 – 2 літри; такі маленькі печі зручні для тестових випалень і для

виготовлення невеликих виробів наприклад, керамічної біжутерії. Об'єм камер печей, зазвичай використовуваних в майстернях і студіях, складає від 50 – 100 літрів до 1 - 1,5 м^3. Для виробничих умов характерні печі з об'ємом від 3 до 20 м^3.

Футеровка і нагрівач визначають максимальну температуру, яку можна розвинути в камері. Чим вище потрібна температура, тим більш високого класу мають бути вогнетриви, що відразу і, необхідно відмітити, різко позначається на вартості печі. Іноді камера відокремлена від нагрівача додатковою футеровкою, що називається муфелем [14].

На рисунку 1.10 приведено схему печі для обпалу кераміки з муфелем.

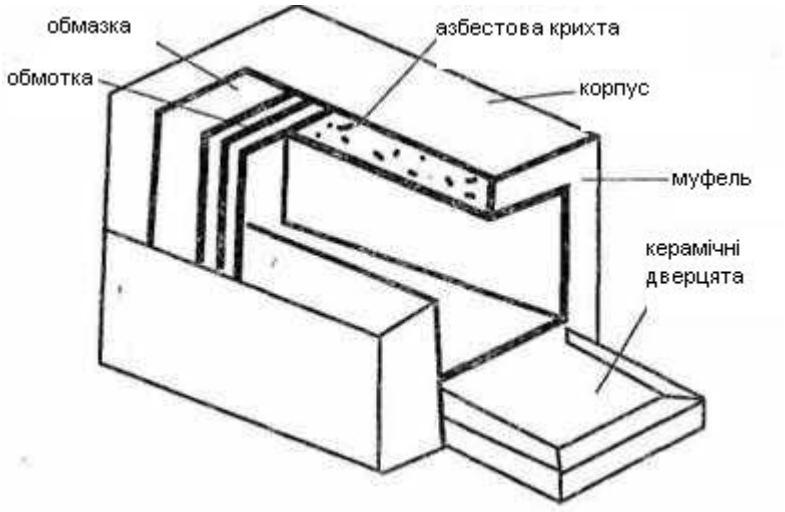


Рисунок 1.10 – Схема печі для обпалу з муфелем

Найбільш енерговитратним процессом при виготовленні керамічних ізоляторів і запобіжників є обпал. При випаленн витрачається приблизно 90% електроенергії.

Для збільшення теплоємності обпалювальної камери, а також її термостійкості при роботі на газі або вугіллі і при випаленні фарфору треба використовувати не теплоізоляційну шамотну цеглу ШЛ 0.4 № 5, а мулітну цеглу МЛС-62 № 5. Ця цегла більш термостійка, ніж ШЛ 0.4 № 5. Оскільки свод

обпалювальної камери в цьому випадку вже не можна буде перекрити шамотними плитами, то доведеться зводити його з більш термостійкої цегли - мулито-корундової високощільної клинової цегли МКВ-72 № 87 (майже аналог ША-44 за розміром, 230х113х65-55 мм).

Зовні такої кладки робиться теплоізоляція в 3-5 шарів з мулито-кремнеземистого фетру (він завтовшки не менше 10 мм), після чого робиться футляр з шамотної цегли ША-5, який згори перекривають шамотними плитами ША-96, наприклад. Зовні це додатково утеплюється [15].

Абсолютно неприпустимо застосування "звичайної" шамотної вогне-тривкої цегли ША-5 (плит ША 96, МЛС, МКВ) для обпалювальних печей пе-ріодичної дії. Інакше піч доведеться тиждень безперервно топити, і другий тиждень чекати доки охолоне. Недопустима велика витрата повітря, з огляду на те, що потрібної температури просто не буде.

У обпалювальні печі закладають вогнетривкий припас, тобто пластини і стійки з вогнетривкішого матеріалу, на які ставиться обпалюваний матеріал, і які утворюють полиці. Цей вогнетривкий припас також збільшує теплоємність обпалювальної печі. Також в обпалювальні печі за необхідності ставлять капселі, в які поміщають обпалювані вироби. Ці капселі також збільшують теплоємність обпалювальної печі.

Якщо піч зсередини футерована тепломісткими вогнетривкими матеріалами (шамотними, мулітовими або мулитокорундовими), то вона дійсно довше нагрівається і довше остигає, але це одночасно забезпечує більш рівномірну і стабільну температуру при випаленні, яка не стрибає на десятки і сотні градусів при топці печі дровами.

Найзручніша і технологічна піч для обпалу -електрична. Гірша за неї газова, ще гірша – на нафті, а ще менш зручна – на вугіллі і дровах.

1.3.1 Газові печі для обпалу кераміки

Широко поширеними газоспоживаючими агрегатами є промислові печі. Застосування газу (замість інших видів палива) в промислових печах при раціональній організації його спалювання дає значний економічний ефект, що визначається як нижчими витратами на паливну складову в собівартості продукції, так і покращенням техніко-економічних показників самих агрегатів.

При організації спалювання газового палива в печах особливу увагу необхідно приділяти правильному теплообміну в робочій камері печі. За умовами теплообміну промислові печі можна розділити на три групи:

-високотемпературні печі (температура в робочій камері- вище 1000°С). Теплопередача здійснюється в основному випромінюванням; паливо спалюється в робочому просторі печі;

-середньотемпературні печі (температура в робочій камері - 650-1000°С). У цих печах теплопередача здійснюється, як випромінюванням, так і конвекцією, газове паливо спалюється в окремих камерах, частіше окремо від робочого простору печі.

-Низькотемпературні печі (температура в робочій камері- до 650°С). Теплопередача здійснюється в основному конвекцією. Газове паливо спалюється в окремій паливній камері, а теплоносій, що утворюється змішенням високотемпературних продуктів згорання з повітрям або рециркулятором необхідної температури, подається в робочий простір печі [16-18].

У високо- і середньо температурних печах теплообмін здійснюється головним чином за рахунок випромінювання полум’я і розжарених трьохатомних газів (CO_2 і H_2O) до виробів, що нагріваються, і до кладки. Роль кладки як вторинного випромінювача особливо відчутна при теплопрозорих продуктах згорання, утворюючих при кінетичному спалюванні газу (наприклад, при

застосуванні інжекційних пальників середнього тиску, працюючих з коефіцієнтом надлишку первинного повітря α1>1,0).

Інтенсивність теплообміну в низькотемпературних печах, де основне значення має передача теплоти конвекцією, досягається шляхом циркуляції газів, яка одночасно призводить до вирівнювання температури в печах і рівномірного прогрівання виробів, що знаходяться в них.

Витрата газу в печах залежить від їх конструкції, експлуатаційного стану, режиму роботи, продуктивності і температури газів, що відходять. На рисуку 1.11 зображено схему теплообміну в камерній печі.

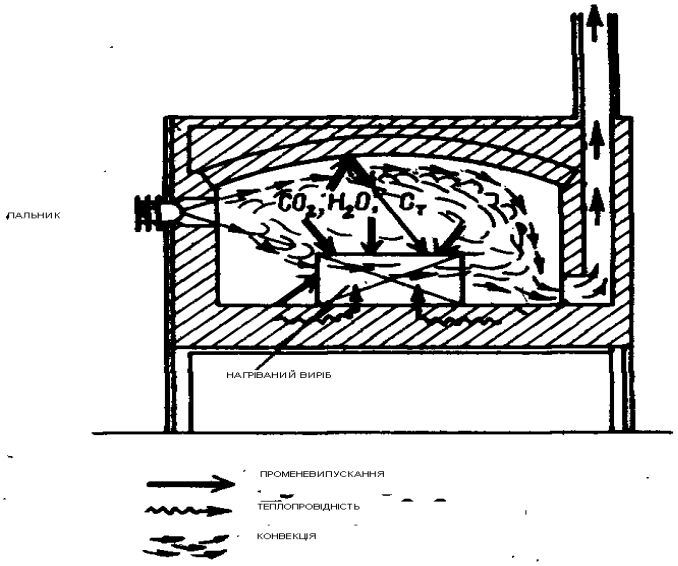


Рисунок 1.11 – Схема теплообміну в камерній печі

У печах, що використовують теплоту газів, що відходять, для нагріву повітря, витрата газу зменшується на 20-30 %. В якості захисного середовища, яким заповнюють муфелі, камери або тунелі з виробами, що нагріваються в них, широко використовують продукти неповного згоряння вуглеводневих газів, очищені частково або повністю від водяної пари і вуглекислого газу, залежно від необхідного складу захисного середовища процес неповного згорання газу проводиться при α = 0,60-0,90/0,25-0,40. У першому випадку реакція являється екзотермічною , що йде з виділенням теплоти, і отриманий газ називається

екзогазом; у другому випадку - ендотермічною, вимагаючою підведення теплоти ззовні. Отриманий при цьому газ носить назву ендогаз. Ендотермічний газ(эндогаз) ефективно використовуєтьсяв процесі нагріву під загартування високо-ісередньовуглецевих сталей і легованих сталей, цементації і нітроцементації, твердої пайки сталей іспікання вуглецевих композиційних матеріалів. На рисунку 1.12 зображено схему рекуператора для великих печей [19,20].

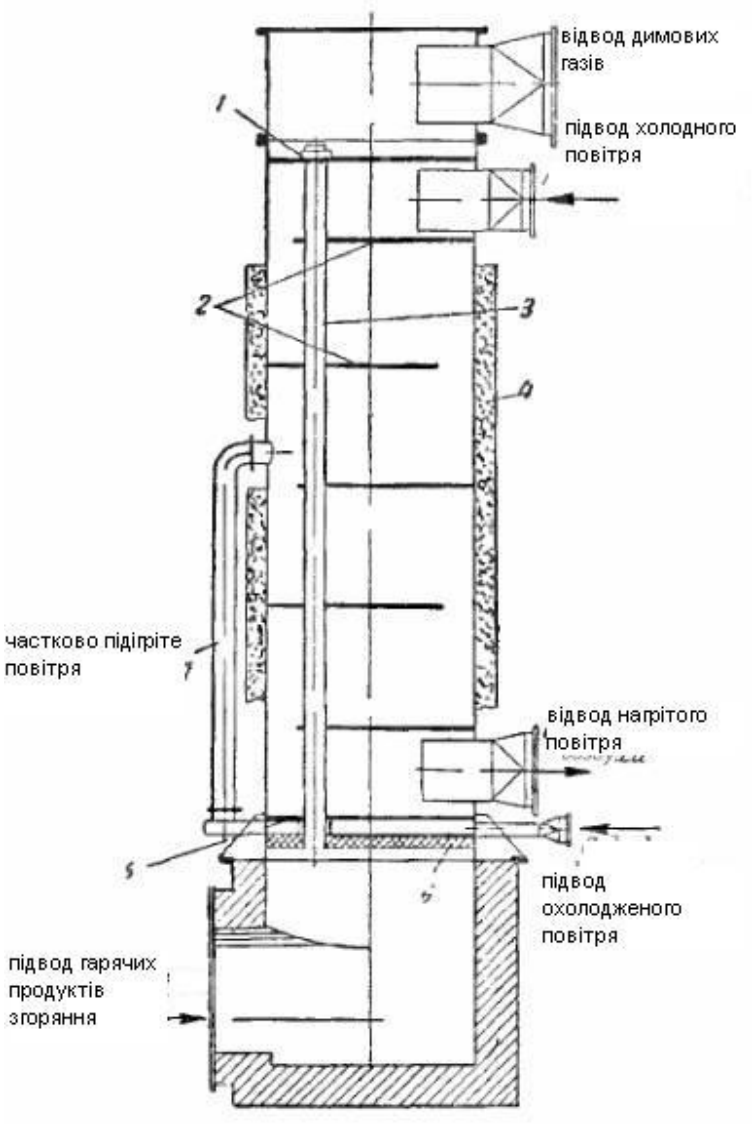


Рисунок 1.12 – Рекуператор для великих печей

Дуже цінна якість киплячого шару як проміжного теплоносія- постійність температур по всьому обсягу камери, пояснювана інтенсивним перемішуванням

часток. Висока рівномірність нагріву (±5°С), незначна залежність інтенсивності теплообміну від температури виробів, що нагріваються, можливість регулювання швидкості нагріву – все це дозволяє швидко нагрівати і охолоджувати в киплячому шарі деталі змінного перерізу і складної форми без перегрівання і викривлення окремих частин.

До недоліків киплячого шару слід віднести значні витрати газу на псевдозрідження, неоднакову інтенсивність теплообміну з вертикальними і горизонтальними пласкими поверхнями. Для нагріву киплячого шару застосовуються два способи спалювання газу : у виносних топках під газорозподільним пристроєм (гратами) і в самому шарі. Спосіб спалювання газового палива під гратами і підвод теплоти в шар з гарячим дуттям широко застосовують в процесах сушки і дегідратації різних матеріалів, при сушці ливарних пісків і ін. Він дуже простий, надійний і безпечний. Виносні топки вказаних установок працюють під тиском.

При другому способі заздалегідь підготовлена суміш газу з повітрям проходить через грати, роздрібнюючись при цьому на дрібні цівки, і потрапляє в розігрітий киплячий шар інертного матеріалу. Процесс горіння йде у присутності часток з розжареною поверхнею.

При масовому випуску керамічної продукції для її обпал використовуються тунельні печі. У печах такого типу досягається висока обпалювальна продуктивність. Цей тип печей дозволяє автоматизувати рух пічних вагонеток, що виключає суб'єктивний вплив людського фактора.

Додатковою перевагою є значне скорочення витрат на тонну обпалюваного матеріалу, завдяки застосуванню матеріалів з високими теплоізоляційними властивостями, але більшою мірою – завдяки конструкції печі, де гарячі гази перед їх видаленням використовуються для попереднього нагріву необпаленої продукції.

1.3.2 Електричні печі для обпалу кераміки

Електричні печі опору за способом виділення тепла можна підрозділити на дві групи: побічної дії і прямої дії. До першої групи відноситься переважна кількість усіх печей опору, до другої - лише декілька типів печей, що отримали обмежене застосування. Крім того, печі опору можуть бути поділені на низькотемпературні, середньо- і високотемпературні, а також на печі термічні і плавильні. І, нарешті, вони можуть бути розділені на печі періодичної і безперервної дії (методичні).

Класифікацію електричних печей наведено на рисунку 1.13.

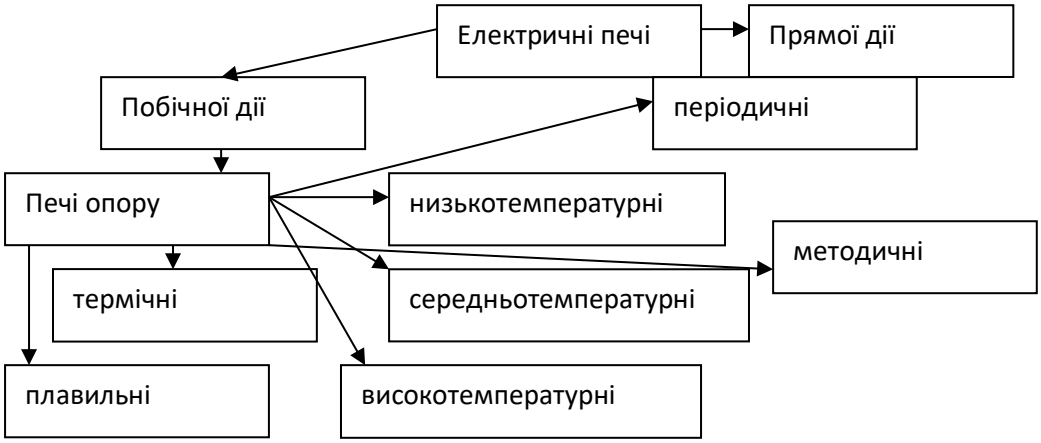


Рисунок 1.13 – Класифікація електричних печей

У печах періодичної дії вироби завантажуються в камеру печі і поступово нагріваються в ній, залишаючись нерухомими. У кожний момент часу температури усіх точок пічної камери залишаються приблизно однаковими, міняючись, проте, в часі.

У печах безперервної дії, або методичних, вироби завантажуються з одного кінця печі і, переміщуючись поступово по її довжині, прогріваються і видаються з іншого її кінця нагрітими до заданої температури. У таких печах температура

змінюється по довжині печі, підвищуючись від завантажувального кінця до розвантажувального, але температури окремих точок камери залишаються незмінними з часом. Методичні печі є складнішими за печі періодичної дії, оскільки вони повинні бути забезпечені тим або іншим пристроєм для переміщення деталей, та проте вони дозволяють отримати велику продуктивність при тих же габаритах і забезпечують ідентичність режиму термообробки. Тому їх застосовують там, де є великі потоки однорідних деталей, т. е. у масових і великосерійних виробництвах.

Способи завантаження і вивантаження виробів, що нагріваються, а також способи їх переміщення в методичних печах значною мірою визначають як їх конструкцію, так і експлуатаційні властивості.

До середньотемпературних печей можуть бути віднесені печі від 600- 700 до 1250°С. В цьому діапазоні температур теплопередача випромінюванням є домінуючою, верхня межа визначається можливістю застосування металевих нагрівачів, здатних працювати в окислювальній атмосфері. При більш високих температурах необхідно перейти до використання неметалевих матеріалів, сплавів типу дисилицида молібдену або металів, здатних працювати лише у вакуумі або захисній атмосфері, а це викликає істотні відмінності в конструкції печей.

Середньотемпературні термічні печі надзвичайно різноманітні. Лише небагато типів їх випускаються серіями, являючись в деякій мірі універсальними, знано більше існує індивідуальних типів печей, пристосованих до нагріву визначених виробів. Надалі розглянуті лише типи печей, що являються найхарактернішими і ті, що представляють основні напрями сучасного печебудівництва.

Простою і в той же час універсальною піччю є камерна піч. Вона складається з прямокутної камери з вогнетривким футеруванням і теплоізоляцією, перекритою зведенням і поміщеною в металевий кожух. Піч завантажується і вивантажується через отвір в передній стінці, що прикривається дверцями. Маленькі печі для зручності їх завантаження встановлюються на ніжках, великі печі - безпосередньо

на підлозі. Нагрівники розташовуються в черені і на бічних стінках печі, рідше також і на зведенні. У дуже великих печей нагрівники розташовуються і на задній стінці печі і на дверцях для забезпечення більшої рівномірності розподілу температур в камері печі. Череневі нагрівачі перекриваються зазвичай жаротривкими плитами, на які і укладаються вироби, що нагріваються.

Герметизувати камерну піч повністю важко, оскільки у дверець утворюються щілини, через які виходить газ. Тому якщо бажано обмежити окислення нагріваних в печі виробів, то застосовують "полум'яну завісу". Горючий газ поступає при відкритті дверець у вікно печі через трубку з рядом отворів і спалахує, поглинаючи кисень, що поступає через дверці

На рисунку 1.14 показано схему електричної печі опору.

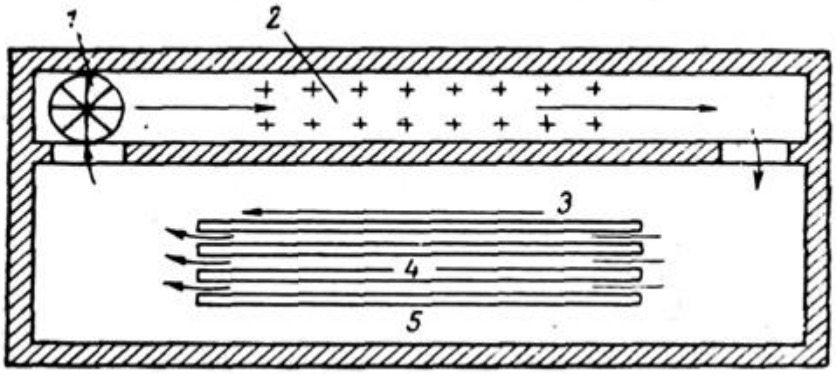


Рисунок 1.14 – Схема електричної печі опору

На рисунку 1.14 за допомогою вентилятора 1 створюється циркуляція повітря. Нагріте до заданої температури в камері з нагрівними елементами 2 повітря потрапляє в робочу камеру 5 печі, де розташовані вироби 4. переміщуючись вздовж виробів повітряний потік 3 нагріває їх, а сам при цьому охолоджується. Максимальне охолодження повітря відбувається в початковий момент, після завантаження холодних виробів до печі.

У тих випадках, коли є технологічний процес термообробки, що цілком встановився в цеху великої продуктивності, прийнятніше застосування неперерно

діючих печей. Таких середньотемпературних методичних печей будується багато типів, причому залежно від того технологічного процесу, що проводиться в них можуть здійснюватися тільки нагрівання виробів до заданої температури або також і витримка при цій температурі, а іноді і охолодження. Звичайні печі виконуються з декількох зон, причому останньою є зона витримки. Довжина цієї останньої зони залежить від тривалості періоду витримки, при загартуванні вона невелика, оскільки в даному випадку потрібно лише вирівнювання температур у виробах, після чого вони переміщаються в масляний або водяний бак. При цементації вона, навпаки, велика, оскільки сам процес цементації поверхні йде повільно. При обпалі, що вимагає повільного охолодження виробів в печі, до останньої пристроюється теплоізольований шар або водоохолоджувана (дивлячись на допустиму швидкість охолодження) камера охолодження, що не має нагрівачів.

До високотемпературних печей відносять печі з робочою температурою вище 1200-1250°С. Ще не так давно межа між середньотемпературними і високотемпературними печами лежала близько 1000-1050°С, але нині завдяки застосуванню для нагрівачів залізохромоалюмінієвих сплавів вона піднялася до 1200- 1250°С. Проте печі в інтервалі 1150-1250°С являються так би мовити перехідними між середньотемпературними і високотемпературними, оскільки. Тому в цьому интервалі застосовуються, як було вказано вище, лише такі конструкції печей, в яких наявність внутрішніх, виконаних з метала механізмів для переміщення виробів або муфелів не є необхідною (камерні і шахтні печі, печі з крокуючим черенем і карусельні).

Тепло в електричних печах передається головним чином за рахунок променевипускання розжарених елементів опору і лише в незначній кількості шляхом конвекції від циркулюючих в печі газів, тобто умови передачі в них подібні до умов використання муфельних печей. Тому із збільшенням поперечного перерізу печі значно зростає нерівномірність температур по перерізу.

Для кращого використання тепла електричні печі зазвичай роблять двоканальними із зустрічним рухом вагонеток. Вагонетки, що поступають до печі, підігріваються за рахунок теплоти зустрічних вагонеток, що охолоджуються, що рухаються із зони обпалу. витрати електроенергії в двоканальній печі майже такий самий як і в одноканальній, проте продуктивність у два рази більша. Двоканальні печі особливо вигідні, якщо необхідно одночасно здійснювати два обпали до різних температур.

Застосування електричного опалення особливо вигідне при капсельному обпалі виробів, для обпалу яких в полум'яних печах необхідні капселі. При застосуванні капселів економічність електрообпалу знижується. Питання стійкості і вартості нагрівальних елементів має велике значення. В середньому тривалість служби складає до 2000 годин, тобто заміна виконується чотири рази на рік. Заміна елементів є майже єдиною витратою на ремонт, так як регулятори температури запобігають перегріву.

1.3.3 Порівняння електричних та газових печей для обпалу кераміки

До основних недоліків газових печей потрібно віднести великі опори аеродинамічної системи.

Аеродинамічна система газової печі не забезпечує відведення надлишку гарячого повітря із зони охолодження печі. Для охолодження виробу в газових печах потрібно набагато більше повітря, ніж для горіння палива в зоні обпалу. Тому через зону охолодження необхідно пропускати значні маси повітря з метою рівномірного охолодження виробу в належні терміни до температур, при яких допустиме його вивантаження з печі.

Якщо цього не робити і пропускати через зону охолодження лише ту кількість повітря, яка потрібна для горіння палива в зоні обпал, то терміни охолодження зростуть і продуктивність печі знизиться.

У зв'язку з цим слід пропускати через зону охолодження як можна більшу кількість повітря, а її надлишок (від витрати на горіння палива) відбирати і використати всушарці.

При роботі печі з великими об'ємами теплоносія збільшується швидкість димових газів і гарячого повітря, що проходять через окремі елементи аеродинамічного тракту. Оскільки гідравлічні опори зростають в квадраті від швидкості руху газів, то різко підвищується опір усієї аеродинамічної системи.

Таким чином незначне збільшення продуктивності печі вимагає багатократного збільшення частоти обертання вентилятора, що у свою чергу призводить до значного підвищення витрати електроенергії.

Ось чому зміна режиму роботи печі, що полягає лише в значному збільшенні об'ємів теплоносія і потужності вентиляторів, що виконується для подальшого підвищення продуктивності діючих печей, практично не дає ефекту.

Обпалювані вироби укладають на під печі так, щоб садіння строго відповідало конструкції печі. Конструкція садіння повинна чинити мінімальний опір руху газів і повітря для горіння палива, а також давати можливість спостерігати за вогнем по висоті печі.

Садіння має бути стійким і в той же час зручним для завантаження і вивантаження виробів, а також сприяти найбільш рівномірному розподілу вогню по перерізу пічного каналу. Конструкція садіння грає вирішальну роль як в розвитку процесів теплообміну між виробами і газовим потоком, так і в поширенні теплоти.

Сучасні технології дозволили здійснювати автоматичне керування над газовими печами. Система автоматичного керування дозволяє здійснювати: автоматичний розпал пальників, автоматичне підтримання тиску в зонах печі,

автоматичне підтримання співвідношення газ-повітря, управління нагрівом і охолодженням.

При виробництві кераміки газові печі для обпалу використовуються для обпалу більш масивних і більших за розміром деталей.

За останні роки електричні печі розпочали успішно конкурувати із полум'яними печами. В порівнянні з якими електричні печі мають ряд переваг, найголовнішими з яких є:

1)можливість чіткого контролю температурного режиму і автоматичного регулювання обпалу за заздалегідь наміеною кривою температур;

2)абсолютна чистота обпалу;

3)зниження кількості браку;

4)скорочення тривалості обпалу;

5)економія у витратах допоміжних засобів (капселів, коробів і т. ін.);

6)легкість обслуговування;

7)покращення санітарно гігієнічних умов праці.

Також до переваг електричних печей можна віднести те, що між зовнішніми стінками обпалювальної камери і зовнішнім корпусом залишений повітряний простір, який сам по собі є прекрасним ізолятором. Порівняно менша потужність печі - завдяки легкості і кращій термоізоляції. Піч витрачає менше електроенергії для досягнення аналогічних результатів в порівнянні з газовими печами.

Наявність двох незалежних нагрівальних елементів дозволяє вести обпал як в автоматичному, так і в ручному режимі (останній принципово здешевлює вартість печі).

Звісно, найвагомішою перевагою у використанні електричних печей у порівнянні з газовими є менші грошові витрати на енергоносій при обпалі однієї і тієї ж самої кількості виробів.

В таблиці 1.1 наведено переваги та недоліки, а також технічні характеристики газових та електричних печей для обпалу кераміки.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика печей

Тип печі	Газові печі	Електричні печі
1	2	3
переваги	1)час, що витрачається на обпал однієї садки менший	1)можливість чіткого контролю температурного режиму і автоматичного регулювання обпалу за заздалегідь наміченою кривою температур; 2)абсолютна чистота обпалу; 3)зниження кількості браку; 4)скорочення тривалості обпалу; 5)економія у витратах допоміжних засобів (капселів, коробів і т. ін.); 6)легкість обслуговування; 7)покращення санітарно гігієнічних умов праці
Недоліки	1)великі опори аеродинамічної системи; 2)незначне збільшення продуктивності печі призводить до значного збільшення витрат електроенергії; 3)високі ціни на газ для виробництва; 4)низький ККД печей	1)більше часу витрачається на обпал однієї садки
Технічні характеристики: -встановлена потужність; -температура	 До 2 МВт До 1250ºС	 До 500 кВт До 1250ºС

Обпал в автоматичному режимі дозволяє повністю відсторонитися від контролю за обпалм після натиснення кнопки. Прилад-терморегулятор дуже точно проведе обпал по заданому графіку і зупинить процес в потрібній точці. Можна

вести нічне обпал і оплачувати енергоспоживання печі за нічним тарифом. Терморегулятор, надійний елемент (має щонайменше 5-річну гарантію виробника), порівняно недорогий і дуже простий в експлуатації.

Електричні печі обладнують трансформаторами, за допомогою яких можна змінювати напругу в мережі і тим самим регулювати температуру в печі, а також компенсувати зміни електропровідності нагрівача із зміненням температури і збільшенням терміну їх служби.

Якщо в процесі обпалу необхідна відновлювальна атмосфера, в робочий простір печі необхідно вводити відновлювальні гази. В безперервно працюючих установках здійснюється автоматичне регулювання состава і кількості газів, що подаються до печі.

Таким чином, із таблиці 1.1 видно, що електричні печі мають ряд переваг у порівнянні із газовими печами. Не дивлячись на те, що встановлена потужність газових печей є більшою, у більшості випадків використання газових печей є нерентабельним для виробництва через високу вартість газа для підприємств, а також через невисокий їх ККД.

1.4. Фактори, що впливають на енерговитрати

Процес виробництва керамічних ізоляторів супроводжується значними енергетичними витратами, які залежать від багатьох факторів. Раціональне використання електроенергії, палива та інших ресурсів має важливе значення для зниження собівартості продукції та підвищення ефективності виробництва.

Одним із ключових факторів, що впливають на рівень енергоспоживання, є якість та підготовка сировини. Використання природної сировини з високим вмістом домішок потребує додаткової обробки, що, у свою чергу, вимагає

додаткових енергетичних ресурсів. Сучасні технології очищення та підготовки сировини дозволяють зменшити витрати енергії, забезпечуючи при цьому стабільну якість кінцевого продукту.

Не менш важливим фактором є технологічний процес формування заготовок. Вибір методу пресування, лиття або екструзії впливає на споживання електроенергії, адже кожен із цих способів має свої особливості. Наприклад, пресування під високим тиском вимагає використання потужного обладнання, тоді як метод лиття у форми може бути більш енергоефективним, але займати більше часу.

Основним джерелом енергоспоживання у виробництві керамічних ізоляторів є процес сушіння та випалу. Високотемпературні печі споживають значні обсяги енергії, необхідної для досягнення оптимальних температур. Тип печі та її ефективність безпосередньо впливають на загальні витрати. Використання тунельних печей із системами рекуперації тепла дозволяє зменшити споживання палива порівняно з традиційними камерними печами. Крім того, контрольоване регулювання температурного режиму та рівномірний розподіл тепла сприяють економії енергоресурсів.

Значний вплив на загальні енерговитрати має також рівень автоматизації виробництва. Використання сучасних систем управління технологічними процесами дозволяє оптимізувати режими роботи обладнання, зменшуючи втрати енергії. Наприклад, впровадження датчиків контролю вологості у сушильних камерах дозволяє скоротити час обробки та уникнути перевитрат електроенергії.

Окрему роль відіграють зовнішні чинники, зокрема стан інфраструктури підприємства та ефективність використання електроенергії. Витрати на освітлення, вентиляцію та роботу допоміжного обладнання також мають значний вплив на загальні показники енергоефективності. Використання енергоощадних технологій, таких як світлодіодне освітлення, автоматичні системи вентиляції та відновлювані джерела енергії, сприяє скороченню витрат.

Раціональна організація виробничого процесу, вибір оптимальних режимів роботи обладнання та модернізація технологічних ліній дозволяють значно знизити енергоспоживання без шкоди для якості продукції. Впровадження новітніх рішень у сфері енергоефективності сприяє не лише економічним перевагам, а й підвищенню екологічної відповідальності підприємства.

2. АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ «КВАРЦ»

2.1 Загальна характеристика енергоспоживання підприємства

Енергоспоживання підприємства ПП «Кварц» є одним із ключових аспектів його виробничої діяльності, оскільки безперебійне постачання електроенергії забезпечує стабільну роботу всіх технологічних процесів. Підприємство займається виготовленням керамічних ізоляторів та силових запобіжників, що передбачає використання енергоємного обладнання на всіх етапах виробництва. Витрати на електроенергію складають значну частину собівартості продукції, що робить питання енергоефективності особливо актуальним.

Споживання електроенергії на підприємстві залежить від технологічного процесу та особливостей роботи обладнання. Основними споживачами енергії є печі для випалу кераміки, сушильні камери, пресове та змішувальне обладнання, вентиляційні системи, а також освітлення та допоміжні виробничі механізми. Кожен із цих елементів має свої характеристики споживання енергії, які залежать від інтенсивності експлуатації та технічного стану обладнання.

Найбільшу частку в загальному обсязі споживаної електроенергії займають печі для випалу керамічних виробів. Вони працюють при високих температурах, що вимагає значних витрат енергії на підтримання необхідного режиму. Тривалість випалу та стабільність температурних умов безпосередньо впливають на якість кінцевої продукції, тому процес не можна скорочувати без ризику погіршення характеристик виробів.

Сушильні камери є другим за енергоємністю технологічним вузлом. Процес видалення вологи з керамічних заготовок перед випалом також вимагає значних витрат електроенергії. Ефективність сушіння залежить від рівномірного розподілу теплової енергії, що потребує точного регулювання параметрів температури та вологості.

Пресове обладнання, яке використовується для формування заготовок, також є важливим споживачем енергії. Робота механічних та гідравлічних пресів супроводжується використанням потужних електродвигунів, які створюють необхідний тиск для ущільнення сировини. Споживання енергії в цьому процесі залежить від типу пресування та характеристик обладнання.

Крім основного технологічного обладнання, значна частина електроенергії витрачається на забезпечення роботи допоміжних систем. Вентиляція, системи охолодження та освітлення є важливими складовими виробничого процесу, які забезпечують безпечні умови роботи та підтримку необхідних параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях.

Загальний рівень енергоспоживання підприємства залежить від обсягу виробництва, стану обладнання та ефективності організації технологічного процесу. Неефективне використання електроенергії, застаріле обладнання та недостатня автоматизація можуть призводити до надмірних витрат, що негативно впливає на фінансовий стан підприємства.

Таким чином, аналіз енергоспоживання на ПП «Кварц» є важливим завданням, яке дозволяє визначити основні джерела енерговитрат та знайти шляхи їх оптимізації. Розробка ефективних заходів з енергозбереження дозволить підприємству зменшити витрати на електроенергію, підвищити ефективність виробництва та покращити конкурентоспроможність своєї продукції.

2.2 Основні джерела споживання електроенергії у технологічному процесі

Електроенергія є основним ресурсом, необхідним для забезпечення безперервного функціонування всіх виробничих процесів на підприємстві ПП «Кварц». Технологічний процес виготовлення керамічних ізоляторів включає

кілька стадій, кожна з яких потребує значних витрат електроенергії. Основними споживачами електроенергії на підприємстві є печі для випалу кераміки, сушильні камери, обладнання для підготовки сировини, пресове устаткування, а також допоміжні виробничі та інженерні системи.

Найбільшу частку в загальному обсязі споживаної електроенергії займають випалювальні печі, що забезпечують остаточну термічну обробку виробів. Процес випалу вимагає підтримання високих температур протягом тривалого часу, що робить ці агрегати одними з найбільш енергоємних на підприємстві. В залежності від типу печей – газових або електричних – енерговитрати можуть значно відрізнятися, проте навіть при найсучаснішій автоматизації цей етап залишається одним із ключових джерел споживання електроенергії.

Другим важливим споживачем електроенергії є сушильні камери, які використовуються для підготовки керамічних виробів перед випалом. Процес видалення вологи з керамічної маси має велике значення для якості кінцевої продукції, оскільки неправильний режим сушіння може спричинити появу тріщин або деформацій. Робота сушильних камер пов’язана зі значними енерговитратами, оскільки вони потребують постійного підтримання температури та циркуляції повітря.

Суттєву частку електроенергії споживає також обладнання для підготовки сировини, включаючи млини, змішувачі та агрегати для подрібнення компонентів керамічної маси. Процес подрібнення та змішування відбувається в спеціальних барабанних або кульових млинах, які працюють на електродвигунах великої потужності. Оскільки якість подрібнення визначає однорідність структури майбутніх ізоляторів, енергоспоживання на цьому етапі є незмінним фактором виробничого процесу.

Не менш важливе значення має пресове обладнання, яке використовується для формування заготовок із керамічної маси. Потужні гідравлічні та механічні преси споживають значну кількість електроенергії, особливо при виготовленні

великогабаритних ізоляторів, що потребують високого тиску для ущільнення матеріалу.

Окрім основних технологічних процесів, значна частка електроенергії витрачається на вентиляційні та кліматичні системи. Виробництво керамічних ізоляторів передбачає роботу в умовах високих температур, тому ефективна система вентиляції є необхідною для забезпечення комфортних умов праці та підтримання безпечного рівня вологості й температури у виробничих приміщеннях.

Додатково електроенергію споживають освітлювальні системи, компресорне обладнання та системи управління виробничими процесами. Високий рівень автоматизації сприяє підвищенню продуктивності, однак водночас потребує стабільного електропостачання для функціонування всіх програмованих механізмів і датчиків контролю.

Таким чином, основні джерела споживання електроенергії на підприємстві включають всі ключові етапи виробництва – від підготовки сировини та формування заготовок до фінального випалу та контрольних операцій. Визначення найбільш енерговитратних процесів дозволяє розробити заходи з їх оптимізації, що сприятиме зниженню витрат на електроенергію без втрати якості продукції.

2.3 Аналіз втрат електроенергії та їх причини

Ефективне використання електроенергії є ключовим фактором оптимізації витрат підприємства. Незважаючи на високий рівень автоматизації та модернізації виробничих процесів, втрати електроенергії залишаються серйозною проблемою для підприємств, що працюють у сфері виробництва керамічних виробів. На ПП «Кварц» енергетичні втрати виникають на різних етапах технологічного процесу, що зумовлюється як технічними, так і організаційними факторами.

Однією з основних причин втрат електроенергії є неефективна робота теплових агрегатів, зокрема печей для випалу кераміки та сушильних камер. Старі моделі печей можуть мати низьку ефективність використання теплової енергії, що призводить до значних втрат у вигляді надлишкового теплообміну з навколишнім середовищем. Недостатня термоізоляція або нерівномірний розподіл температури в камерах випалу призводять до перевитрат електроенергії, оскільки для підтримання необхідного температурного режиму потрібні додаткові витрати.

Ще однією суттєвою проблемою є втрати електроенергії, пов’язані з роботою електродвигунів та насосного обладнання. Багато виробничих механізмів, включаючи млини, змішувачі, компресори та пресове обладнання, працюють на електродвигунах, які можуть мати знижену ефективність через зношеність, низький коефіцієнт корисної дії або неправильний режим роботи. Наявність застарілих електродвигунів без частотного регулювання призводить до перевитрат електроенергії, особливо у випадках, коли обладнання працює в холостому режимі або в нерівномірному навантаженні.

Важливим джерелом втрат є неефективне використання вентиляційних систем та систем освітлення. У багатьох виробничих приміщеннях освітлення працює безперервно навіть у неробочий час, що спричиняє додаткові витрати електроенергії. Використання застарілих ламп розжарювання або люмінесцентних світильників, замість енергоефективного LED-освітлення, збільшує навантаження на електромережу. Вентиляційні системи, які функціонують без автоматичного контролю, можуть працювати з надмірною потужністю навіть тоді, коли цього не потребує виробничий процес.

Окрім технічних факторів, значні втрати електроенергії виникають через неефективну організацію виробничого процесу. Наприклад, неправильне планування графіків роботи обладнання призводить до зростання пікових навантажень на електромережу, що спричиняє підвищення витрат на електроенергію. У випадку, коли виробничі лінії запускаються нераціонально або

обладнання працює без необхідності, енергоспоживання підприємства значно зростає.

Додаткові втрати можуть бути пов’язані з поганим станом електромереж та обладнання. Витоки струму, втрати в трансформаторних підстанціях, неправильний вибір перерізу кабелів та підключення електрообладнання можуть зменшувати ефективність використання електроенергії. Низька якість електроенергії, коливання напруги або неефективна корекція коефіцієнта потужності можуть також спричиняти перевитрати електроенергії та збільшення навантаження на обладнання.

Таким чином, аналіз втрат електроенергії на ПП «Кварц» свідчить про необхідність комплексного підходу до вирішення проблеми. Оптимізація теплових процесів, модернізація електродвигунів, впровадження автоматизованих систем керування освітленням та вентиляцією, а також удосконалення графіків роботи обладнання можуть значно зменшити витрати електроенергії. Виявлення та усунення основних джерел енергетичних втрат дозволить підприємству підвищити ефективність виробництва, зменшити собівартість продукції та знизити навантаження на електромережу.

2.4 Вибір електричної печі для обпалу кераміки

Для виготовлення керамічних корпусів запобіжників і опорних ізоляторів на підприємстві використовується газова піч встановленою потужністю 1 МВт.

У газовій печі для підігрівання повітря, що поступає на газові пальники, використовується тепло газів, що виходять. Цей процес відбувається в спеціальному пристрої - рекуператорі тепла. Проте, навіть в цьому випадку ККД газової печі дорівнює 17%.

Враховуючи, що середня ціна на газ в 2011 році для виробництва дорівнювала приблизно 3900 грн за 1000 м^3, середня ціна електроенергії за той же період складає 0,79 грн/кВт*год, а також той факт, що ККД електропечі складає 80%, на виробництві було прийнято рішення про зупинку газової печі, як економічно невигідної і заміни її на електричні печі. Свідоцтвом тому являються співвідношення, які приведені з розрахунку на 1000 ізоляторів:

1 обпал в газовій печі - 950 м^3 газу

1 обпал в електропечі - 1600 кВт·год

Нижче наведений розрахунок необхідних електричних печей і вибір їх оптимального режиму роботи.

На виробництві було прийнято рішення про заміну газової печі на 2 електричні, різної встановленої потужності, для обпалу виробів різного розміру.

Встановлена потужність N_y - це споживана електропіччю при заданому режимі термообробки потужність, узята із запасом, що враховує " старіння" нагрівачів і можливе тимчасове падіння напруги в мережі. Встановлену потужність N_y можна визначити за формулою:

$$N_y = k_з \cdot N_{потр} \qquad (2.1)$$

де $N_{потр}$ - потужність, споживана з мережі при заданомурежимі, Вт;

$k_з$ - коефіцієнт запасу потужності, $k_з$ =1,2 ÷1,4 - для ЕПО періодичної дії.

Споживана потужність витрачається на нагрів садки і допоміжних пристроїв, прогрів футерування і атмосфери печі, на компенсацію теплових втрат. Визначити споживану потужність $N_{потр}$ можна за формулою:

$$N_{потр} = N_з + N_{всп} + N_{пот} \qquad (2.2)$$

де $N_з$ - потужність, необхідна для нагріву завантаження і проходження фізико-хімічних процесів в ній, Вт;

$N_{всп}$ - потужність, необхідна для нагріву допоміжних пристосувань (човників, тиглів, конвеєра і тому подібне),Вт;

$N_{пот}$ - потужність, необхідна для компенсації теплових втрат, Вт.

Теплоту, необхідну для нагріву завантаження ідопоміжних пристроїв, слід називати корисною $Q_{кор}$, а відповідну потужність - корисною потужністю $N_{кор}$.

Індекс типу електропечі - складається з трьох або чотирьох букв, ряду цифр і допоміжних букв і цифр.

Перша буква С означає вид нагріву - опором;

Друга - основна конструктивна ознака електропечі :

Н – камерна; Ш – шахтна; Я – ямна (сундукова); Г – колпакова; Д - з висувним черенем.

Третя буква означає середовище в пічному просторі:

О – окислювальна (повітря); З – захисна (контрольована) атмосфера; А - що азотує; Ц - цементація.

Четверта (допоміжна) буква, вживана в індексі печей із специфічними особливостями конструкції, означає:

З – сушарна; М - муфельна.

Цифри після букв (через тире) відповідають розмірам робочого простору в дециметрах: прямокутних печей -ширина, довжина і висота, циліндричних - діаметр і висота. Далі через дріб вказується номінальна температура печі в сотнях градусів Цельсія.

Нижче наведено розрахунки печей, необхідних для встановлення на виробництві.

За формулою (2.2) для печі з потужністю, необхідною для нагріву завантаження і проходження фізико-хімічних процесів $N_з$=153 кВт і потужністю,

необхідною для компенсації теплових втрат $N_{пот}$=20 кВт визначаємо споживану потужність:

$$N_{потр} = 153 + 20 = 173, кВт.$$

За формулою (2.1) визначаємо встановлену потужність. Встановлена потужність дорівнюватиме:

$$N_у = 1,3 \cdot 173 = 224,9, кВт.$$

За встановленою потужністю обираємо електропіч СДО 20.30.18/12,5. Піч з черенем викочування. Робочі камери таких печей виготовляються з волокнистих матеріалів. Застосування таких матеріалів дозволяє виконувати печі великих розмірів при низькій питомій потужності і низькому енергоспоживанні(об'єм робочої камери до 100 м^3 і більше).

Номінальні температури таких печей до 1300 °С, а час виходу на номінальну температуру без садіння від 1 до 2 годин. Нагрівники розміщуються на спеціальних трубках і встановлюються усередині камери на бічних, торцевих стінках камери, на дверях, а за необхідності – і в черені. Для зменшення розкиду температури за об'ємом камери нагрівачі діляться на декілька зон, причому кожна зона має свою систему управління.

Переміщення дверей і череня здійснюється за допомогою електроприводів. Для зручності транспортування автомобілем такі печі можуть виготовлятися в модульному виді, а окремі негабаритні вузли - знімними.

Технічні характеристики печі СДО20.30.18/12,5 наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики печі СДО 20.30.18/12,5

Встановлена потужність	215±15 кВт
Кількість зон нагріву	3
Типи терморегуляторів/ типи термопар	ТРП-08 ТП/ТВП
Максимальна температура в робочому просторі печі	1250 °С
Розмір робочого простору(ширина × довжина × висота)	2000×3000×1800 мм
Середовище в робочому просторі	повітря
Діапазон автоматичного регулювання температури	40÷1250 °С
Стабільність регулювання температури в тепловому режимі, що встановлюється, без садіння	±2 °С
Механізм переміщення череня	електропривід
Механізм підйому дверей	електропривід

Зовнішній вигляд печі СДО 20.30.18/12,5 показано на рисунку 2.1



Рисунок 2.1 – Електропіч СДО 20.30.18/12,5

2.5 Тепловий розрахунок електропечі СДО 20.30.18/12,5

Мета теплового розрахунку електричних печей опору -визначення оптимальних параметрів (енергетичних, геометричних, економічних) при яких забезпечується проведення заданого технологічного процесу. За результатами розрахунку вибирають конструкцію футерування печі, визначають встановлену потужність печі, знаходять кількість теплоти, необхідну для проведення фізико-хімічних перетворень в оброблюваному матеріалі, обчислюють теплові втрати печі.

Завершують тепловий розрахунок обчисленням продуктивності печі, питомі витрати електроенергії і теплового ККД.

Теплоту $Q_{кор}$ розраховують виходячи з термодинаміки процесів, що відбуваються при термообробці завантаження.

У разі, коли функціональна залежність теплоємності від температури не відома, можна приблизно прийняти і визначити її за наступними формулами:

$$Q_{кор} = M \cdot c_c (T_к - T_н) \tag{2.3}$$

$$c_c = \frac{1}{2}(c_к - c_н), \tag{2.4}$$

де c_c - усереднена теплоємність завантаження, Дж/кг·К;

$c_н$ - теплоємність завантаження при $T_н$, Дж/кг·К;

$c_к$ - теплоємність завантаження при $T_к$, Дж/кг·К.

При розрахунку потужності, необхідної для компенсації теплових втрат ЕПО, приймають, що піч працює в тепловому режимі, що встановився, коли теплові потоки постійні в часі. Зазвичай обмежуються розрахунками втрат через стінки печі $N_ф$ і через отвори $N_{отв}$. Визначити потужність, необхудну для компенсації теплових втрат ЕПО можна за формулою:

$$N_{пот} = k_з^{'}(N_ф + N_{отв}), \qquad (2.5)$$

де $k_з'$ - коефіцієнт запасу.

Коефіцієнт запасу на невраховані втрати потужності, наприклад, "старіння" футерування, втрати через нещільність футерування, через шви, теплові короткі замикання приймають рівним 1,2÷1,4.

Розрахунок теплових втрат через стіни печі зводиться до розв'язання задачі теплопередачі через багатошарову плоску поверхню.

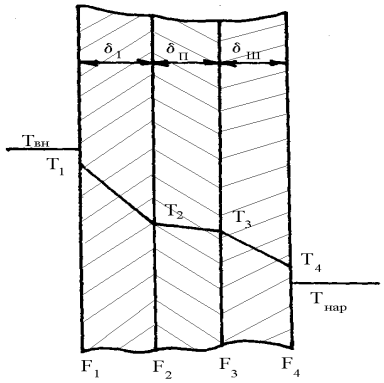


Рисунок 2.2 – Тришарова тонка стінка

На рисунку 2.2: $T_{вн}$ – температура всередині печі; T_i - температура на і поверхні теплоізолюючого шару; $T_{нар}$- температура ззовні печі; δ_j – товщина j шару теплоізолювання; F_i- площа і поверхні теплоізолюючого шару.

Рівняння теплопередачі має вигляд:

$$N_ф = \frac{T_{вн} - T_{нар}}{\frac{1}{\alpha_{вн} \cdot F_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1 \cdot F_1} + \frac{\delta_П}{\lambda_П \cdot F_П} + \frac{\delta_Ш}{\lambda_Ш \cdot F_Ш} + \frac{1}{\alpha_{нар} \cdot F_4}}, \qquad (2.6)$$

де $\alpha_{вн}$, $\alpha_{нар}$ - коефіцієнт тепловіддачі внутрішнього і зовнішнього шарів, відповідно, Вт/м^2·К;

λ_J - коефіцієнт теплопровідності j шару, Вт/м·К;

F_j -усереднена площа j шару, м^2.

Поверхню F_j беруть як середнє квадратичне площ поверхні j шару, наприклад $F_{Ш} = \sqrt{F_3 \cdot F_4}$.

Теплові втрати через завантажувальні і розвантажувальні отвори, через отвори у футеруванні, визначаються складовими теплообміну пічного простору з довкіллям - конвекцією і випромінюванням. Теплові втрати через отвори печі визначаються за наступними формулами:

$$N_{отв.i} = (N_{к.i} + N_{и.i}) \frac{t_{откр.i}}{t_ц}, \quad (2.7)$$

$$N_{отв} = \sum_i N_{отв.i}, \quad (2.8)$$

де $N_{отв.i}$ - втрати тепла через і отвір, Вт;

$N_{к.i}$ - втрати тепла через і отвір за рахунок конвекції, Вт;

$N_{и.}$і - втрати тепла через і отвір за рахунокмвипромінювання, Вт;

$t_{откр.}$ і - час відкритого стану і отвору, с;

$t_ц$ - час термообробки завантаження (циклу), с.

Втрати тепла через отвір нагрітої печі зарахунок конвекції можна визначити за формулою:

$$N_к = \frac{320 \cdot F_{отв} \cdot h^{0,5} \cdot T_п}{l^{0,4}}, \quad (2.9)$$

де $F_{отв}$ - площа перерізу отвору, м^2;

h - висота отвору, м;

l - глибина отвору, м;

T_n - температура печі, °С.

Втрати тепла через отвір випромінюванням описуються наступним рівнянням:

$$N_u = 5{,}67 \cdot \varepsilon_{отв}[(\frac{T_n}{100})^4 - (\frac{T_{нар}}{100})^4] \cdot F_{отв} \cdot \varphi, \qquad (2.10)$$

де $\varepsilon_{отв}$ - коефіцієнт теплового випромінювання отвору;

φ - коефіцієнт діафрагмування.

Коефіцієнт теплового випромінювання для великих отворів і отворів (сумірних з розміром пічного простору) беруть рівним 0,8, для дрібних отворів $\varepsilon_{отв}$ =1,0. Коефіцієнт діафрагмування враховує глибину отвору і екрануючу дію його стінок, що показано на рисунку 2.3.

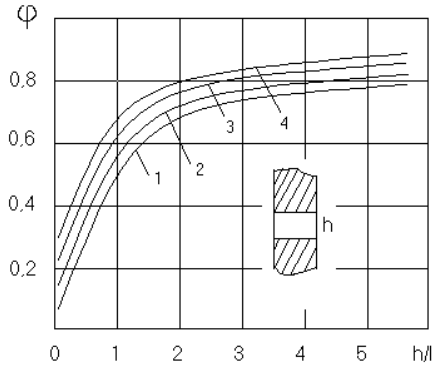


Рисунок 2.3 – Залежність коефіцієнта діафрагмування від розмірів отвору.

На рисунку 2.3: 1 – круглі, 2 – квадратні, 3 – прямоугольні із співвідношенням сторін 2:1, 4 – вузькі щілини висотою *h*.

Коефіцієнт теплового випромінювання для великих отворів і отворів (сумірних з розміром пічного простору)беруть рівним 0,8. Коефіцієнт діафрагмування враховує глибину отвору і екрануючу дію його стінок і дорівнює 0,55.

Для ЕПО, продуктивність зручно розраховувати за наступною формулою:

$$G = \frac{L \cdot m}{t_ц}, \tag{2.11}$$

де L – довжина печі, м

m – маса завантаження, кг/м.

Знання питомої витрати електроенергії дозволяє оцінити енергетичну ефективность процесу. Для обчислення питомої витрати електроенергії використовують рівняння:

$$q_э = \frac{N_{пот\,р}}{G}, \tag{2.12}$$

де $q_э$ - питома витрата електроенергії, Дж/кг;

$N_{потр}$ - потужність, споживана піччю з мережі, Вт.

Тепловий ККД характеризує роботу печі як джерела енергії. Визначити тепловий ККД можна за наступною формулою:

$$\eta_T = \frac{N_з}{N_{пот\,р}}, \tag{2.13}$$

де η_m - тепловий ККД печі;

$N_з$ - потужність, що витрачається на нагрів і фізико-хімічні процеси у завантаженному зразку, Вт.

За отриманою встановленою потужністю обираємо піч з висувним черенем і окислювальною середою у просторі печі типу СДО 20.30.18/12,5, з максимальною температурою нагріву 1300 ºС і встановленою потужністю 215+-15 кВт.

Усереднена теплоємність завантаження дорівнює:

$$c_c = \frac{c_к - c_н}{2} = \frac{0,84 - 0,8}{2} = 0,02, Дж/кг \cdot К.$$

Корисна теплота дорівнює:

$$Q_{кор} = 1300 \cdot 0,02 \cdot (1473 - 293) = 30602Дж=30,6,кДж.$$

Розрахунок теплових втрат через стіни печі.

Товщина шарів стінок δ_1=1500мм,δ_2=500мм, δ_3=361мм.

Коефіцієнти теплопровідності шарів: λ_1=0,81, λ_2=0,35, λ_3=0,23.

$T_{вн}$=1523К, $T_{нар}$=303К, T_1=1273К, T_2=873К, T_3=473К, T_4=323К.

Коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_{вн}$=0,5, $\alpha_{нар}$=0, 7.

Площі поверхонь шарів тепло ізолюючих матеріалів дорівнюють:

F_1=30м^2, F_2=84,3м^2, F_3=108,4м^2, F_4=127,7м^2, F_I=50,3м^2 , F_{II}=95,6м^2, F_{III}=117,7м^2.

Втрати теплоти дорівнюватимуть:

$$N_ф = \frac{1523 - 303}{\frac{1}{0,5 \cdot 30} + \frac{1,5}{0,81 \cdot 50,3} + \frac{0,5}{0,35 \cdot 95,6} + \frac{0,361}{0,23 \cdot 117,7} + \frac{1}{0,7 \cdot 127,7}} = 9,3кВт$$

Втрати тепла через отвір нагрітої печі за рахунок конвекції будуть мати значення:

$$N_к = \frac{320 \cdot 6 \cdot 1,8^{0,5} \cdot 1573}{0,75^{0,4}} = 4545128,4Вт=4,5МВт.$$

Втрати тепла через отвір нагрітої печі за рахунок випромінювання становитимуть:

$$N_{и} = 5,67 \cdot 0,8 \cdot ((\frac{1573}{100})^4 - (\frac{303}{100})^4) \cdot 1,8 \cdot 0,55 = 274552,12\text{Вт}=274,6\text{кВт}.$$

Втрати тепла крізь завантажувальні і розвантажувальні отвори дорівнюватимуть:

$$N_{отв.} = (4545128,4 + 274552,12)\frac{3600}{129600}=133,9\text{кВт}.$$

Продуктивність печі становитиме:

$$G = \frac{3900}{133200} = 0,029,\text{кг/с}.$$

Питомі витрати електроенергії дорівнюватимуть:

$$q_э = \frac{173000}{0,029} = 5,9\text{МДж}.$$

Тепловий ККД складатиме:

$$\eta_T = \frac{153000}{173000} = 0,81.$$

У додатку А наведено детальну програму теплового розрахунку електропечі СДО 20.30.18/12,5 у середовищі MATLAB, яка дозволяє проводити всебічний

аналіз теплових процесів у печі. Програма розраховує основні теплові параметри та будує шість тривимірних графіків, що допомагають візуалізувати ключові залежності між фізичними характеристиками системи та її енергоефективністю.

Основні можливості програми включають такі функції: - Розрахунок втрат тепла через стінки печі та технологічні отвори – визначає кількість теплової енергії, що втрачається через конструкційні елементи печі, дозволяючи оцінити ефективність теплоізоляції; - Визначення встановленої потужності печі – розрахунок необхідної електричної потужності для підтримання оптимального температурного режиму у виробничому процесі; - Обчислення питомої витрати електроенергії – визначення кількості енергії, що споживається на одиницю продукції, що дозволяє оцінити економічну ефективність виробництва; - Аналіз впливу товщини теплоізоляції на ефективність роботи печі – дослідження, яке дозволяє знайти оптимальні параметри ізоляційних матеріалів для мінімізації теплових втрат.

Програма забезпечує гнучкість у налаштуванні параметрів, що дозволяє моделювати теплові процеси для різних режимів роботи печі та аналізувати варіанти оптимізації її енергоспоживання. Отримані результати можуть бути використані для розробки заходів із підвищення енергоефективності, зниження експлуатаційних витрат і покращення термічної стабільності печі.

Таким чином, програма MATLAB у додатку А є ефективним інструментом для детального аналізу роботи електропечі, її теплових характеристик та пошуку оптимальних рішень для підвищення ефективності виробничого процесу.

Результати моделювання наведено на рисунках 2.4-2.9.

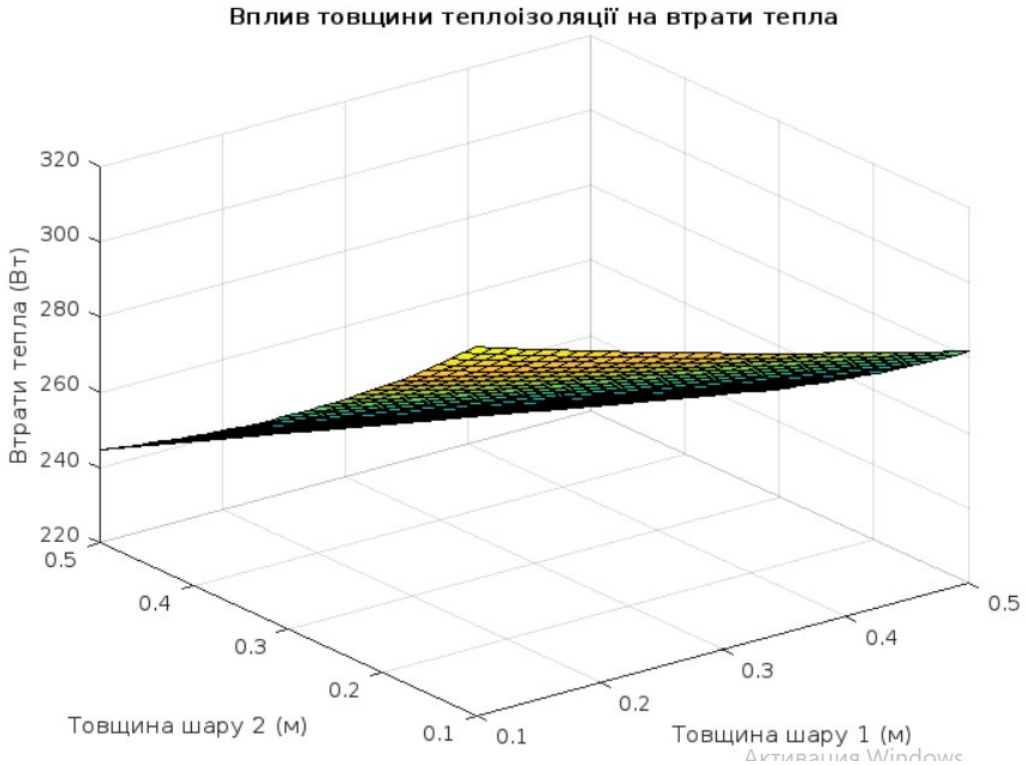


Рисунок 2.4 – Вплив товщини ізоляції на втрати тепла

Графік відображає вплив товщини теплоізоляційних шарів на втрати тепла в електропечі. На осі X позначена товщина першого шару ізоляції, а на осі Y — товщина другого шару. Вісь Z представляє втрати тепла в ватах (Вт), які змінюються в залежності від параметрів теплоізоляції.

Аналізуючи тривимірну поверхню, можна помітити, що збільшення товщини теплоізоляційних шарів має складний вплив на теплові втрати. У більшості випадків спостерігається загальна тенденція до зменшення втрат тепла при зростанні товщини обох шарів, що відповідає фізичним очікуванням: чим більший шар ізоляції, тим менше тепла втрачається через стінки печі.

Однак на деяких ділянках поверхні спостерігається певна нерівномірність. Це може бути пов’язано з особливостями теплопровідності матеріалів або комбінованим ефектом різних теплових опорів. Наприклад, якщо один з шарів

занадто тонкий, а інший значно товщий, ефективність загальної теплоізоляції може бути меншою через локальні втрати тепла.

Також варто зазначити, що в діапазоні невеликих товщин (близько 0,1-0,2 м) втрати тепла досить високі, а збільшення товщини до 0,4-0,5 м значно зменшує втрати. Це свідчить про важливість вибору оптимальної теплоізоляції для мінімізації енерговитрат та покращення ефективності роботи печі.

Таким чином, графік підтверджує необхідність ретельного підбору параметрів теплоізоляції: збільшення товщини ізоляційних шарів справді зменшує втрати тепла, але після певної межі ефект від подальшого збільшення товщини стає менш значним. Це означає, що існує оптимальне співвідношення товщини шарів, при якому досягається найбільша енергоефективність без зайвих витрат на надлишкову ізоляцію.

Графік демонструє, що при товщині першого шару 0,1 м і другого шару 0,1 м втрати тепла становлять приблизно 300 Вт. Зі збільшенням товщини першого шару до 0,3 м та другого шару до 0,3 м втрати зменшуються до 260 Вт. При максимальних значеннях товщини, коли обидва шари мають 0,5 м, втрати тепла опускаються до рівня 230-240 Вт. Це підтверджує, що додавання теплоізоляції суттєво зменшує енергетичні втрати, проте після певного значення зниження втрат сповільнюється, що вказує на наявність точки оптимального співвідношення товщини шарів і ефективності ізоляції.

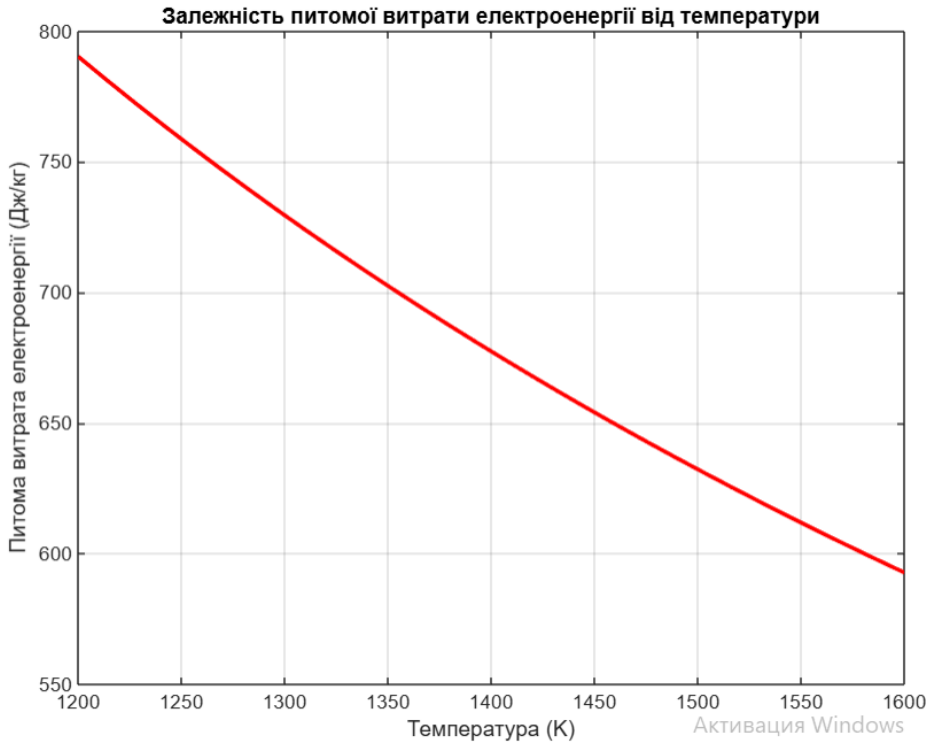


Рисунок 2.5 - Вплив температури на питомі витрати електроенергії

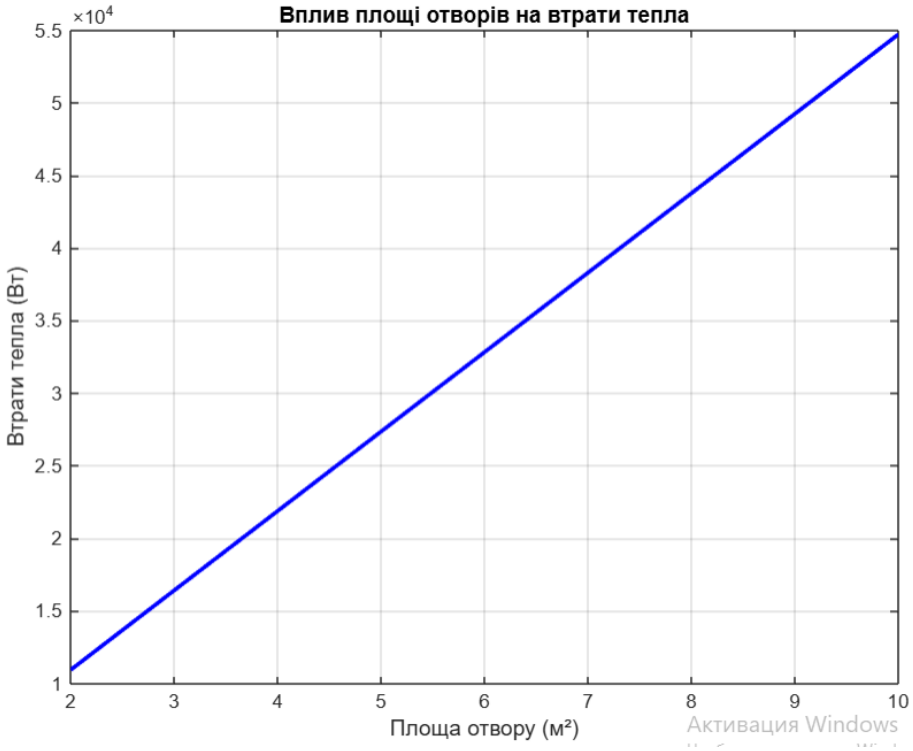


Рисунок 2.6 - Вплив площі отворів на втрати тепла

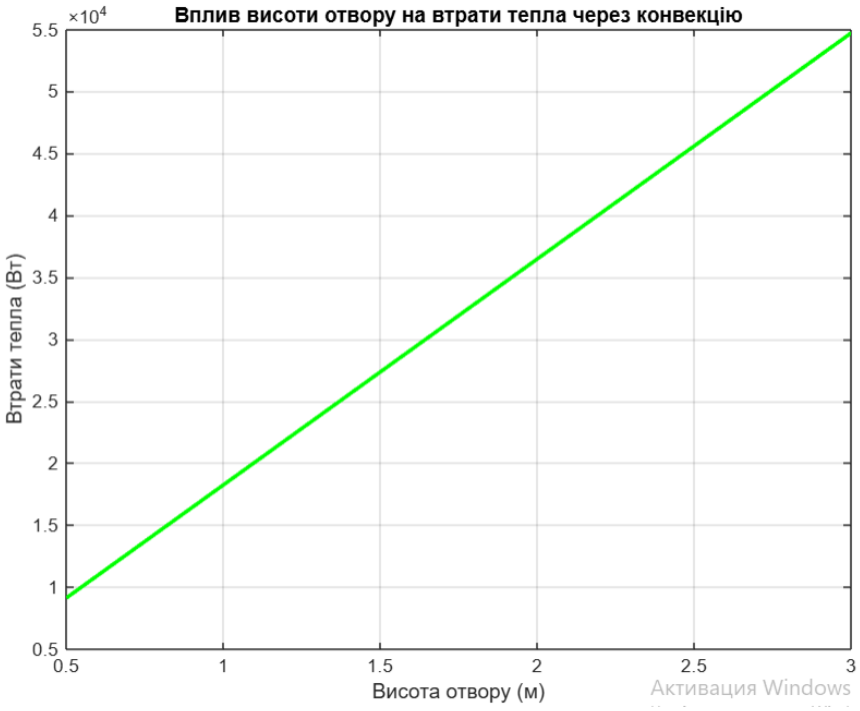


Рисунок 2.7 - Вплив висоти отвору на втрати через конвекцію

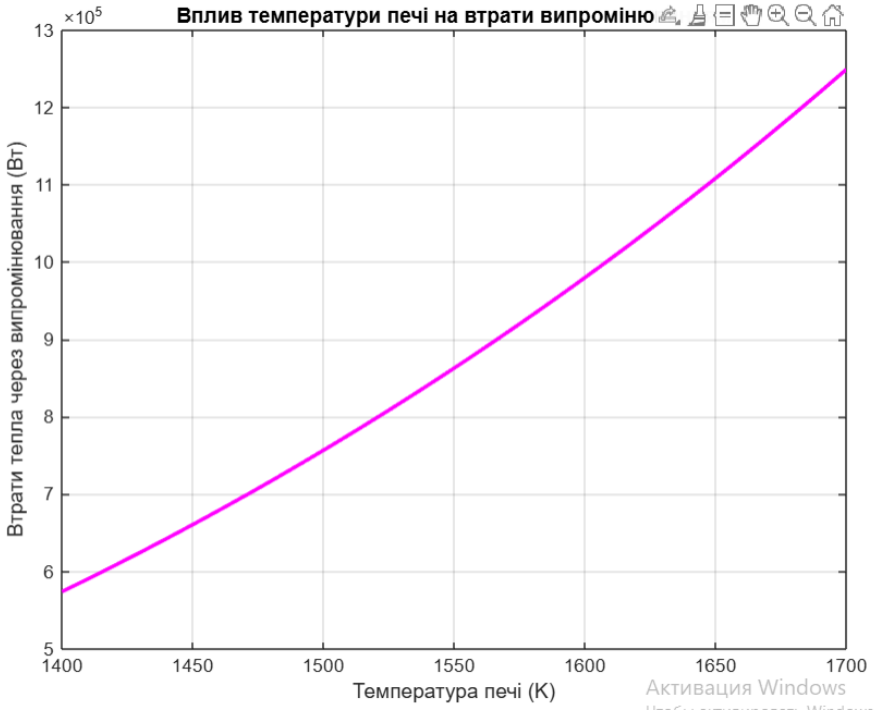


Рисунок 2.8 - Вплив температури печі на втрати через випромінювання

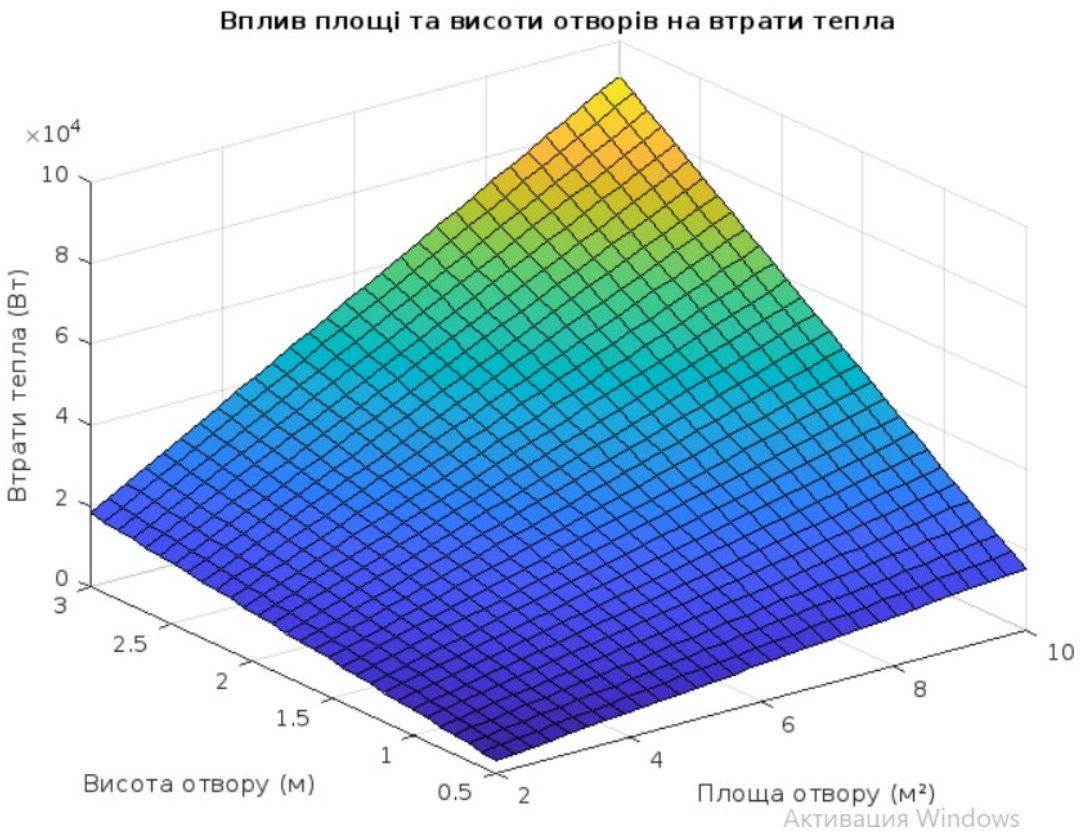


Рисунок 2.9 - Тривимірна візуалізація залежності потужності від площі і висоти отворів

2.6 Вибір електричної печі меншої встановленої потужності

За формулою (2.2) для печі з потужністю, необхідною для нагріву завантаження і проходження фізико-хімічних процесів $N_з$=27 кВт і потужністю, необхідною для компенсації теплових втрат $N_{пот}$=*8* кВт. Визначаємо споживану потужність, що дорівнюватиме:

$$N_{потр} = 27 + 8 = 35, \text{кВт}.$$

За формулою (2.1) визначаємо встановлену потужність. Встановлена потужність становитиме:

$$N_у = 1,3 \cdot 35 = 45,5, кВт.$$

За отриманою встановленою потужністю обираємо електричну камерну піч з окислювальним середовищем у пічному просторі типу СНОЛ 500/12, з максимальною температурою нагріву 1250 ºС і встановленою потужністю 42 кВт.

Електропіч СНОЛ 500/12 - ВП. Електропечі камерні з черенем викочування СНОЛ призначені для термообробки(нагрів, загартування, обпал) металів, кераміки і інших матеріалів в повітряному середовищі до температури 1250°С.

Головною їх перевагою є те, що під викочується з печі, розвантаження-завантаження робиться швидко і в комфортних умовах. Повністю використовується об'єм камери. Завантаження і вивантаження череня викочування здійснюється поза піччю; для важких виробів можна використати вантажопідйомні пристрої. Можливе застосування декількох викочуваних черенів, що дозволить практично виключити простій печі.

Одночасно зі знаходженням в печі одного викочування черена робиться навантаження іншого. Можна викочувати подину при 500°С (короткочасно до 1000°С), економлячи час і електроенергію.

Продуктивність електропечі в 1,5 - 2,5 рази вище, а витрата електроенергії на 10 - 20% менша, ніж у звичайної камерної електропечі рівного об'єму. Хороша рівномірність температури за усім обсягом робочої камери. Нагрівачі розташовані на дверях, задніх і бічних стінках камери також і в черені викочування.

Регулювання температури електропечей робиться цифровими мікропроцесорними регуляторами температури, дозволяючим проводити режим термообробки з високою точністю за заданою програмою. Електропечі, що серійно випускаються, оснащуються регуляторами на дві ділянки.

Технічні характеристики печі СНОЛ 500/12-ВП наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики печі СНОЛ 500/12 – ВП

Об'єм печі	500 л
Максимальна температура нагріву	1250 °С
Встановлена потужність	42 кВт
Габарити: робочої камери	665х1170х640 мм
Габарити печі	1450х2100х1700 мм
Вага печі	1600 кг
Вартість	85771 грн

На рисунку 2.10 показано зовнішній вигляд печі СНОЛ 500/12 – ВП.



Рисунок 2.10 – Електропіч СНОЛ 500/12

2.7 Тепловий розрахунок електропечі СНОЛ 500/12

Усереднена теплоємність завантаження дорівнюватиме:

$$c_c = \frac{c_к - c_н}{2} = \frac{0,84 - 0,8}{2} = 0,02, \text{Дж/кг} \cdot \text{К}.$$

Корисна теплота дорівнюватиме:

$$Q_{кор} = 1300 \cdot 0,02 \cdot (1473 - 293) = 30602\text{Дж}=30,6,\text{кДж}.$$

Розрахунок теплових втрат через стіни печі.

Товщина шарів стінок δ_1=300мм,δ_2=285мм, δ_3=200мм.

Коефіцієнти теплопровідності шарів: λ_1=0,81, λ_2=0,35, λ_3=0,23.

$T_{вн}$=1523К, $T_{нар}$=303К, T_1=1273К, T_2=873К, T_3=473К, T_4=323К.

Коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_{вн}$=0,5, $\alpha_{нар}$=0, 7.

Площі поверхонь шарів тепло ізолюючих матеріалів дорівнюють:

F_1=3,9м^2, F_2=7,41м^2, F_3=11,75м^2, F_4=15,37м^2, $F_I=\sqrt{3,9 \cdot 7,41} = 5,38\,\text{м}^2$, F_{II}=9,33м^2, F_{III}=13,44м^2.

Втрати теплоти становитимуть:

$$N_ф = \frac{1523 - 303}{\frac{1}{0,5 \cdot 3,9} + \frac{0,3}{0,81 \cdot 5,38} + \frac{0,285}{0,35 \cdot 9,33} + \frac{0,2}{0,23 \cdot 13,44} + \frac{1}{0,7 \cdot 15,37}} = 1,47\text{кВт}.$$

Втрати тепла через отвір нагрітої печі за рахунок конвекції дорівнюватимуть:

$$N_к = \frac{320 \cdot 0,78 \cdot 0,64^{0,5} \cdot 1523}{0,785^{0,4}} = 334189,7\text{Вт}=334,2\text{кВт}.$$

Втрати тепла через отвір нагрітої печі за рахунок випромінювання складатимуть:

$$\text{N}_и = 5,67 \cdot 0,8 \cdot ((\frac{1523}{100})^4 - (\frac{303}{100})^4) \cdot 0,78 \cdot 0,55 = 104531,8\text{Вт}=104,5\text{кВт}.$$

Втрати тепла крізь завантажувальні і розвантажувальні отвори дорівнюватимуть:

$$N_{отв.} = (334189,7 + 104531,8)\frac{3600}{129600} = 12186,7\text{Вт}=12,2\text{кВт}.$$

Продуктивність печі дорівнюватиме:

$$G = \frac{546}{133200} = 0,0041,\text{кг/с}.$$

Питомі витрати електроенергії становитимуть:

$$q_э = \frac{35000}{0,0041} = 8,5\text{МДж}.$$

Тепловий ККД складатиме:

$$\eta_T = \frac{27000}{35000} = 0,77.$$

В додатку Б наведено програму розробелену в програмі Matlab теплового розрахунок електропечі СНОЛ 500/12.

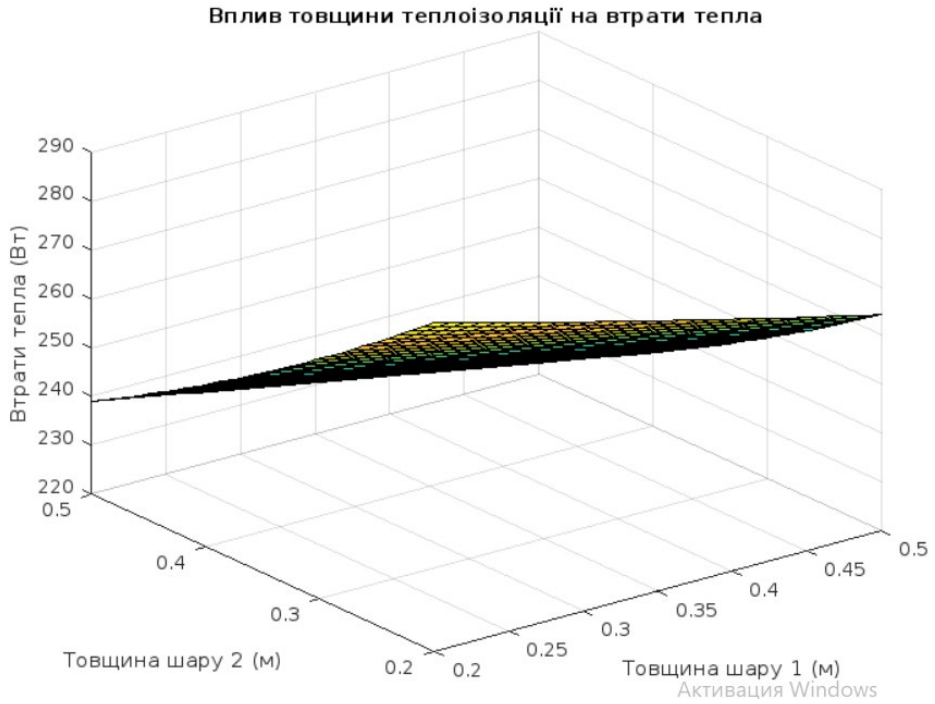


Рисунок 2.11 – Вплив товщини ізоляції на теплові втрати

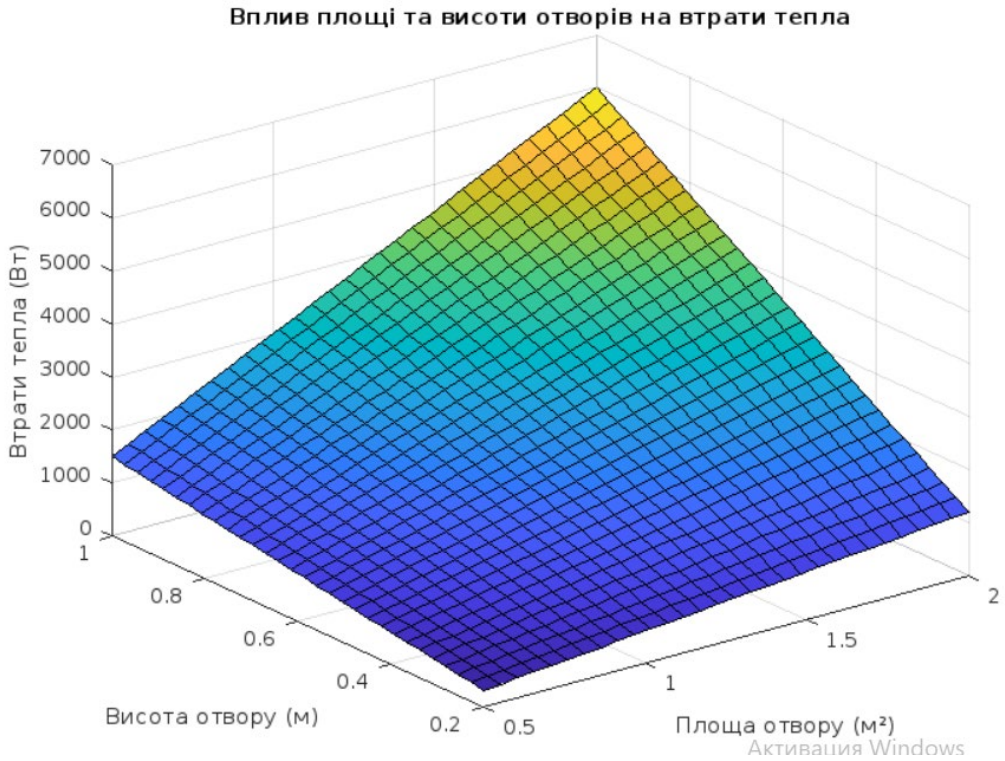


Рисунок 2.12 – Вплив площі отвору на втрати тепла

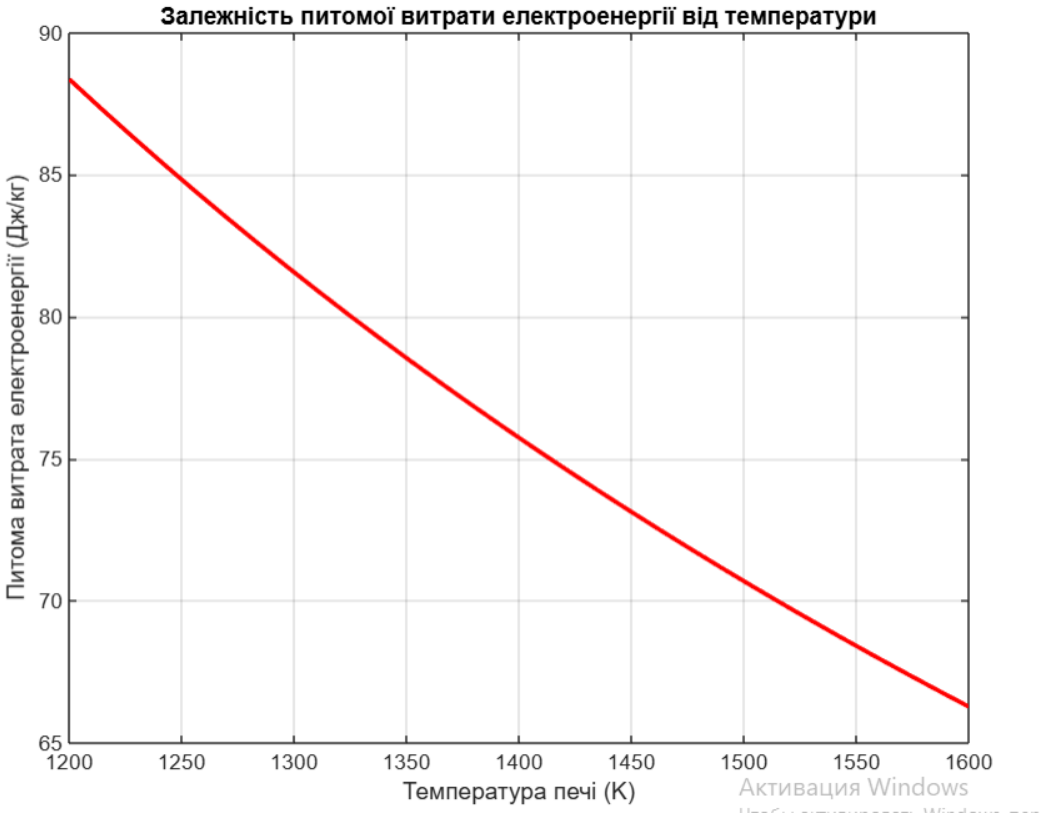


Рисунок 2.13 – Вплив температури на питомі витрати електроенергії

2.8 Визначення раціональних режимів експлуатації електричних печей

Вартість процесів нагріву або плавлення матеріалів або виробів в електричних печах опору у багатьох виробництвах є дуже істотною складовою вартості випускаємої продукції. Печі опору є великим споживачем електроенергії, а на багатьох заводах навіть одним з основних, тому організація раціональної експлуатації таких печей має важливе значення.

Зниження собівартості процесів нагріву, що проводиться в електричних печах, може бути здійснене в першу чергу в результаті:

а) підвищення продуктивності печі;

б) підвищення надійності роботи печей, зниження кількості і тривалості простоїв, викликаних аваріями печей;

в) зниження питомої витрати електроенергії.

Зважаючи на те, що процеси, що проводяться в електричних печах, є дуже енергоємними, головним шляхом зменшення собівартості процесу нагріву є зниження питомої витрати електроенергії, і способи, що дозволяють його досягти, є основними для підвищення эфективності роботи електропечей опору. Проте відокремити їх від двох інших шляхів, вказаних вище. дуже важко, оскільки усі вони тісно пов'язані один з одним.

Так, підвищення продуктивності печі призводить до економії електроенергії; підвищення стійкості і терміну служби нагрівачів призводить як до підвищення надійності роботи печі, так і до збільшення продуктивності праці і зниженню питомої витрати енергії (за рахунок зменшення числа простоїв на ремонт); автоматизація температурного режиму печі знову-таки призводить як до скорочення експлуатаційного персоналу (обслуговування кожною бригадою більшого числа печей), так і до підвищення надійності роботи і до економії енергії.

Тому видається доцільним розглянення усіх цих шляхів, що ведуть до раціональної експлуатаці електричних печей опору.

1) забезпечення надійності роботи електротермічного обладнання

2) підвищення продуктивності печей;

3) зменшення теплових втрат печей;

4) зменшення втрат на акмуляцію тепла;

5) використання тепла нагрітих виробів і тари.

Надійність роботи будь-якої електричної печі опору визначається головним чином стійкістю її нагрівальних елементів і жаротривких деталей. Правильний розрахунок нагрівальних елементів і правильна їх експлуатація, в першу чергу робота їх при рекомендованих, а не максимальнодопустимих температурах, і правильний вибір їх перерізів забезпечать стійку роботу нагрівників впродовж

декількох років. Аналогічно цьому правильний вибір марки сталі, що відповідає за своїми властивостями умовам роботи жаротривких деталей, дозволить також забезпечити тривалу надійну роботу печі. Наприклад, жаротривкі муфелі мають термін служби, у декілька разів більший в порівнянні з муфелями з вуглецевої сталі.

Корисно використовуване тепло пропорційно продуткивності печі, тоді як теплові втрати останніми у більшій своїй частині є постійними (потужність холостого ходу). При зниженні продуктивності печі її теплові втрати розподіляються на меншу кількість виробів і її кпд.падає, а питома витрата енергії зростає.

Збільшення продуктивності електропечі опору можливе лише тоді, коли вона має відомим запасом потужності Наявність такого запасу може бути перевірено порівнянням фактичної продуктивності печі з максимально можливої.

Впродовж періоду нагріву потужність печі не залишається постійною, оскільки у кінці процесу вступає в дію терморегулятор і знижує її середню потужність. Для процесів, не вимагаючих тривалої витримки, таких як загартування, нормалізація, відпустка, нагріваюче підштампування і кування, цей процес регулювання починається зазвичай після того, як пройшли 2/3 періоду нагріву, причому поступово середня потужність печі знижується від номінального значення до значення потужності холостого ходу.

Тому середня потужність печі за цикл може бути прирівняна приблизно 85% максимального значення. Це ж значення середньої потужності може бути збережене і для методичних багатозонних печей.

Частина середньої потужності печі піде на нагрів виробів, а частину- на покриття теплових втрат. Тому максимальна годинна продуктивність печі, кг/год, може бути визначена з наступного виразуб

$$g_{\max} = \frac{0{,}85\mathrm{P}_{\text{печі}} - P_{пот}}{B}, \qquad (2.14)$$

де $P_{печі}$ - паспортна потужність печі, може бути перевірена по свідченню ватметра або амперметра і вольтметра;

$P_{пот}$ - потужність теплових втрат печі, береться з її паспорта або визначається дослідним шляхом;

B - теоретична витрата енергії, кВт·год/кг, що необхідна для нагріву виробів до температури, вимагаємої технологічним процесом.

За наявності жаротривкої тари (піддони, муфелі, горщики і тому подібне) її тепловміст, віднесений до 1 кг маси виробів, включається в значення В.

Мінімальна питома витрата енергії, кВт·год/кг, може бути визначена діленням годинної витрати енергії на годинну продуктивність печі. мінімальна питома витрата енергії може бути визначена за формулою наведеною нижче:

$$A_{\min} = \frac{0{,}85P_{печі}}{g_{\max}}. \qquad (2.15)$$

2.8.1 Розрахунок показників роботи печі СДО 20.30.18/12.5

Для печі більшої встановленої потужності СДО 20.30.18/12,5 максимальна годинна продуктивність для двозмінної роботи печі дорівнюватиме:

$$g_{max} = \frac{0{,}85 \cdot 185 - 25}{0{,}22} = 601{,}1 \text{кг/год}.$$

А мінімальні питомі витрати енергії:

$$A_{min} = \frac{0,85 \cdot 185}{601,1} = 0,262 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

При першому варіанті піч відключається на увесь час простою, отже, при двозмінній роботі вона буде включена на 16 год, а 8 год остигатиме, при однозмінній роботі вона буде під струмом 8 год, а 16 год буде відключено.У обох цих випадках необхідно, очевидно, за час роботи компенсувати ту кількість тепла, яку було втрачено за час простою.

Вважаємо, що кількість тепла, що віддається остигаючою піччю, пропорційно її температурі, отримуємо, що в даному випадку середня потужність теплових втрат за 8 год простою складає 89% номінального значення, а за 16 год – 81%. Звідси максимальна годинна продуктивність буде визначатись за формулою:

$$g_{\max} = \frac{0,85P_{печі} - 1,44P_{пот}}{B}. \qquad (2.16)$$

Для печі СДО 20.30.18/12,5 максимальна годинна продуктивність для двозмінної роботи печі дорівнюватиме:

$$g_{max} = \frac{0,85 \cdot 185 - 1,44 \cdot 25}{0,22} = 551,14 \text{кг/год}.$$

А при однозмінній роботі печі матимемо наступний вираз:

$$g_{\max} = \frac{0,85P_{печі} - 2,6P_{пот}}{B}. \qquad (2.17)$$

Для обраної печі при однозмінній її роботі максимальна годинна продуктивність дорівнюватиме:

$$g_{max} = \frac{0,85 \cdot 185 - 2,6 \cdot 25}{0,22} = 419,32 \text{кг/год}.$$

Мінімальна питома витрата енергії для двозмінної роботи печі дорівнюватиме:

$$A_{min} = \frac{0,85 \cdot 185}{551,14} = 0,285 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}},$$

А для однозмінної

$$A_{min} = \frac{0,85 \cdot 185}{419,32} = 0,375 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

У більшості випадків, особливо при однозмінній роботі, піч включається до початку зміни з тим, щоб до початку останньої була досягнута робоча температура. Можна прийняти, що при такому попередньому розігріванні відновлюється 75% тепла, втраченого піччю в період охолодження, а інші 25% в період її роботи. При цьому максимальна годинна продуктивність печі при двозмінній роботі буде визначатись за наступною формулою:

$$g_{\max} = \frac{0,85P_{печі} - 1,11P_{пот}}{B}. \qquad (2.18)$$

При включенні печі СДО 20.30.18/12,5 до початку робочої зміни, при двозмінній роботі максимальна годинна продуктивність дорівнюватиме:

$$g_{max} = \frac{0,85 \cdot 185 - 1,11 \cdot 25}{0,22} = 588,64 \text{кг/год}.$$

І при однозмінній роботі максимально годинна продуктивність печі визначатиметься за наступним виразом:

$$g_{\max} = \frac{0,85P_{печі} - 1,4P_{пот}}{B}. \quad (2.19)$$

Для обраної печі при однозмінній роботі, при включенні печі до початку робочої зміни максимальна годинна продуктивність дорівнюватиме:

$$g_{max} = \frac{0,85 \cdot 185 - 1,4 \cdot 25}{0,22} = 555,68 \text{кг/год}.$$

Питома витрата енергії при цьому визначається тією кількістю енергії, яку буде витрачено як за період роботи печі, так і за період її розігрівання. Для двозмінної роботи вона буде знаходитись із наступного виразу:

$$A_{\min} = \frac{0,85P_{печі} + 0,33P_{пот}}{g_{\max}}. \quad (2.20)$$

Для печі СДО 20.30.18/12,5, працюючої у дві зміни, питома витрата енергії дорівнюватиме:

$$A_{min} = \frac{0,85 \cdot 185 + 0,33 \cdot 25}{588,64} = 0,281 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

А для однозмінної роботи питома витрата енергії визначатиметься за формулою, наведеною нижче:

$$A_{\min} = \frac{0{,}85P_{печі} + 1{,}2P_{пот}}{g_{\max}}, \tag{2.21}$$

і для печі СДО 20.30.18/12,5, що працюватиме в одну зміну питома витрата енергії дорівнюватиме:

$$A_{min} = \frac{0{,}85 \cdot 185 + 1{,}2 \cdot 25}{555{,}68} = 0{,}337 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

При третьому варіанті піч взагалі не відключається в період простою між змінами. В цьому випадку година продуктивність печі (віднесена до годин її роботи)залишиться такою самою, як і при цілодобовій роботі, а питома витрата енергії буде при двозмінній роботі визначатись із наступного виразу:

$$A_{\min} = \frac{0{,}85P_{печі} + 0{,}5P_{пот}}{g_{\max}}, \tag{2.22}$$

і для обраної печі дорівнюватиме:

$$A_{min} = \frac{0{,}85 \cdot 185 + 0{,}5 \cdot 25}{601{,}1} = 0{,}28 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}},$$

а при однозмінній роботі питому витрату енергії можна визначити за наступним виразом:

$$A_{\min} = \frac{0{,}85P_{печі} + 2P_{пот}}{g_{\max}}. \quad (2.23)$$

Для печі СДО 20.30.18/12,5 питома витрата енергії дорівнюватиме:

$$A_{min} = \frac{0{,}85 \cdot 185 + 2 \cdot 25}{601{,}1} = 0{,}345 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

В таблиці 2.3 наведено показники роботи печі СДО 20.30.18/12,5 при різних режимах роботи.

Таблиця 2.3 – Показники роботи печі СДО 20.30.18/12,5 при різних режимах роботи

Режим роботи	2 зміни		1 зміна	
	g_{max}, кг/год	A_{min}, кВт·год/кг	g_{max}, кг/год	A_{min}, кВт·год/кг
При простої піч вимкнено	551,14	0,285	419,32	0,375
Піч розігрівається перед початком роботи	588,64	0,281	555,68	0,337
Піч не вимикається на час простою	601,1	0,28	601,1	0,345

З таблиці 2.3 видно, що перший варіант неприйнятний, оскільки він дає найбільші питомі витрати енергії. Що ж стосовно другого і третього варіантів, то вони рівноцінні по витраті електроенергії, але третій варіант дає дещо більшу годину продуктивність печі. Одночасно таблиця показує наскільки простої погіршують показники роботи печей.

Абсолютно очевидно, що піч повинна працювати цілодобово, бо простої її пов'язані з великими втратами енергії. Тому неприпустимо користуватися електропечами для регулювання навантаження підприємства, оскільки таке

регулювання, знижуючи пік навантаження, в період максимуму кінець кінцем призводить до значної перевитрати електроенергії.

В додатку В наведено програму розроблену в пакеті Matlab розрахунку показників роботи печі СДО 20.30.18/12.5.

На рисунках 2.14, 2.15 наведено результати моделювання.

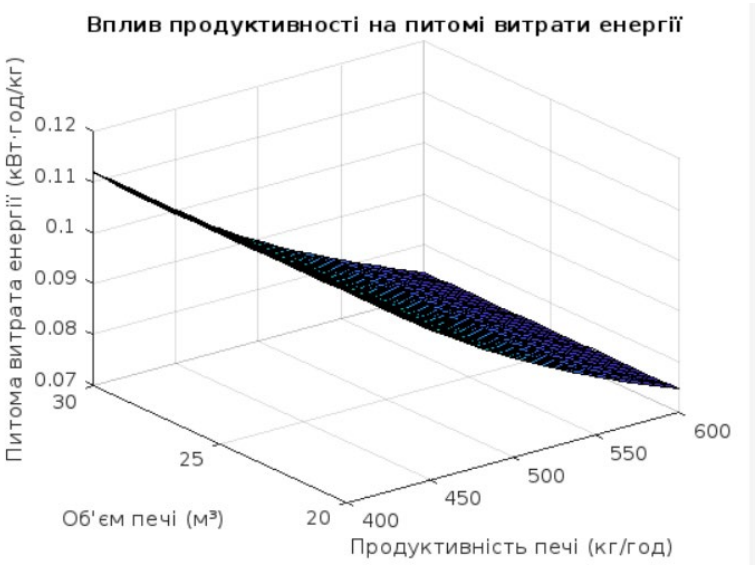


Рисунок 2.14 - Вплив продуктивності на питомі витрати енергії

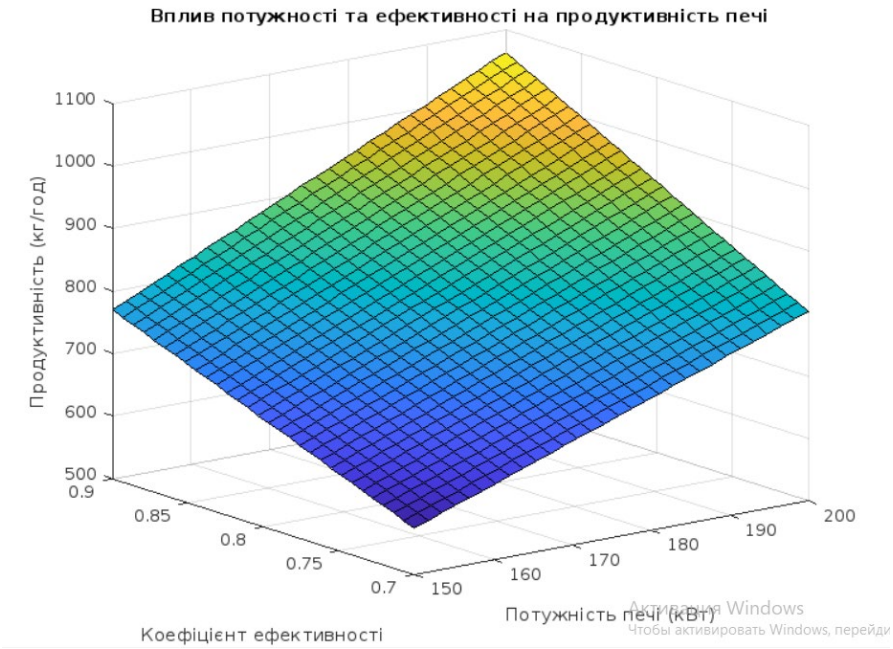


Рисунок 2.15 - Вплив потужності та ефективності на продуктивність печі

2.8.2 Розрахунок показників роботи печі СНОЛ 500/12

Аналогічні розрахунки провидимо для обраної печі СНОЛ 500/12 максимальна годинна продуктивність дорівнюватиме:

$$g_{max} = \frac{0,85 \cdot 42 - 8}{0,148} = 187,6 \text{кг/год},$$

а мінімальні питомі витрати енергії дорівнюють:

$$A_{min} = \frac{0,85 \cdot 42}{187,6} = 0,19 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

Для печі СНОЛ 500/12 максимальна годинна продуктивність для двозмінної роботи печі при першому варіанті роботи дорівнюватиме:

$$g_{max} = \frac{0,85 \cdot 42 - 1,44 \cdot 8}{0,148} = 163,11 \text{кг/год}.$$

А при однозмінній роботі печі матимемо наступний вираз:

$$g_{max} = \frac{0,85 \cdot 42 - 2,6 \cdot 8}{0,148} = 100,68 \text{кг/год}.$$

Мінімальна питома витрата енергії для двозмінної роботи печі дорівнюватиме

$$A_{min} = \frac{0,85 \cdot 42}{163,11} = 0,219 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}},$$

а для однозмінної роботи мінімальна питма витрата енергії матиме значення:

$$A_{min} = \frac{0,85 \cdot 42}{100,68} = 0,355 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

При включенні печі СНОЛ 500/12 до початку робочої зміни, при двозмінній роботі максимальна годинна продуктивність дорівнюватиме:

$$g_{max} = \frac{0,85 \cdot 42 - 1,11 \cdot 8}{0,148} = 181,22 \text{кг/год}.$$

Для обраної печі при однозмінній роботі, при включенні печі до початку робочої зміни максимальна годинна продуктивність дорівнюватиме:

$$g_{max} = \frac{0,85 \cdot 42 - 1,4 \cdot 8}{0,148} = 165,54 \text{кг/год}.$$

Для печі СНОЛ 500/12, працюючої у дві зміни, питома витрата енергії дорівнюватиме:

$$A_{min} = \frac{0,85 \cdot 42 + 0,33 \cdot 8}{181,22} = 0,212 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

І для печі СНОЛ 500/12, що працюватиме в одну зміну питома витрата енергії дорівнюватиме:

$$A_{min} = \frac{0,85 \cdot 42 + 1,2 \cdot 8}{165,54} = 0,274 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

При третьому варіанті піч взагалі не відключається в період простою між змінами. В цьому випадку година продуктивність печі (віднесена до годин її роботи)залишиться такою самою, як і при цілодобовій роботі, а питома витрата енергії буде при двозмінній роботі дорівнювати:

$$A_{min} = \frac{0,85 \cdot 42 + 0,5 \cdot 8}{187,16} = 0,211 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

Для печі СНОЛ 500/12 питома витрата енергії дорівнюватиме:

$$A_{min} = \frac{0,85 \cdot 42 + 2 \cdot 8}{165,54} = 0,276 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

В таблиці 2.4 наведено показники роботи печі СНОЛ 500/12 при різних режимах роботи.

Таблиця 2.4 – Показники роботи печі СНОЛ 500/12 при різних режимах роботи

Режим роботи	2 зміни		1 зміна	
	g_{max}, кг/год	A_{min}, кВт·год/кг	g_{max}, кг/год	A_{min}, кВт·год/кг
При простої піч вимкнено	63,11	0,219	100,68	0,355
Піч розігрівається перед початком роботи	181,22	0,212	165,54	0,274
Піч не вимикається на час простою	187,16	0,211	187,16	0,276

Аналогічно до першого розрахунку абсолютно очевидно, що піч повинна працювати цілодобово. Отже, на виробництві для обраних печей СНОЛ 500/12 і

СДО 20.30.18/12,5 необхідно обрати такий режим роботи, при якому печі працюватимуть без простоїв, тобто цілодобово.

2.8.3 Визначення економії електроенергії при виборі раціонального режиму роботи електричних печей

При виборі печей, необхідних для виробництва ПрАТ «Кварц», було також запропоновано оптимальний для них режим роботи, що так само призводить до економії паливно-енергетичних ресурсів та коштів виробництвом.

На основі значень A_{min}, наведених у таблицях 2.3 і 2.4, розраховуються витрати електроенергії печами при різних режимах роботи.

Вага однієї садки в печі СДО 20.30.18/12.5 становить 1300 кг. Піч виконує 97 обпалів.

Таким чином витрата електроенергії піччю СДО 20.30.18/12.5 при режимі, в якому при простої піч вимикається і працює у дві зміни дорівнює:

$$W_{1II}=0,285\cdot1300\cdot97=35938,5, \text{ кВт·год},$$

при режимі, в якому піч розігрівається перед початком роботи і працює у дві зміни, витрата електроенергії становитиме:

$$W_{2II}=0,281\cdot1300\cdot97=35434,1, \text{ кВт·год},$$

і при режимі, в якому піч працює цілодобово і у дві зміни витрата електроенергії дорівнює:

$$W_{3II}=0,28\cdot1300\cdot97=35308, \text{ кВт·год}.$$

Аналогічно розраховується витрата електроенергії при роботі печі в одну зміну.

При вимкненні печі на час простою:

$$W_{1I}=0,375\cdot1300\cdot97=47287,5, \text{ кВт·год}.$$

При розігріві печі перед початком робочого дня:

$$W_{2I}=0{,}337\cdot1300\cdot97=42495{,}7, \text{ кВт·год.}$$

При режимі, в якому піч працює цілодобово:

$$W_{3I}=0{,}345\cdot1300\cdot97=43504{,}5, \text{ кВт·год.}$$

Із розрахунків видно, що менша кількість електроенергії витрачається при роботі печі у дві зміни. Найменше електроенергії витрачається при цілодобовій роботі печі. Економія електроенергії у порівнянні із режимами роботи, коли піч при простої вимикається і коли піч розігрівається перед початком роботи визначатиметься за формулою, наведеною нижче:

$$\Delta W=W_1-W_2 \qquad (2.24)$$

Економія електроенергії при цілодобовій роботі печі у дві зміни:

-у порівнянні із режимом роботи, при якому піч вимикається при простої дорівнюватиме:

ΔW_{1II}=35938,5-35308=630,5, кВт·год, що становить 2%;

-у порівнянні із режимом роботи, у якому піч розігрівається перед початком роботи:

ΔW_{2II}=35434,1-35308=126,1, кВт·год, що складає 0,2%;

-у порівнянні із режимом роботи, коли піч працює у одну зміну і вимикається на час простою:

ΔW_{1I}=47287,5-35308=11979,5, кВт·год, що становить 34%;

-у порівнянні із однозмінною роботою печі, коли піч розігрівається перед початком роботи:

ΔW_{2I}=42495,7-35308=7187,7, кВт·год, що становить 20%;

-у порівнянні із цілдлобовою роботою печі в одну зміну:

ΔW_{3I}=43504,5-35308=8196,5, кВт·год, що становить 23%.

Отже, із розрахунків видно, що найбільша економія електроенергії при виборі раціонального режиму роботи печі СДО 20.30.18/12.5 становить 11979,5 кВт·год, що складає 34%, при порівнянні обраного режиму роботи із режимом, в якому піч працює в одну зміну і вимикається на час простою.

Аналогічно розраховується економія електроенергії для печі СНОЛ500/12. Вага однієї садки в печі складає 455 кг. Піч виконує 97 обпалів.

При режимі, в якому при простої піч вимикається і працює у дві зміни дорівнює:

$$W_{1II}=0,219\cdot455\cdot97=9665,6,\ кВт\cdot год,$$

При режимі, в якому піч розігрівається перед початком роботи, витрата ПЕР становитиме:

$$W_{2II}=0,212\cdot455\cdot97=9356,62,\ кВт\cdot год.$$

І при режимі, в якому піч працює цілодобово витрата ПЕР дорівнює:

$$W_{3II}=0,211\cdot455\cdot97=9312,5,\ кВт\cdot год.$$

Аналогічно при роботі печі в одну зміну витрата електроенергії складатиме:

При вимкненні печі на години простою:

$$W_{1I}=0,355\cdot455\cdot97=15667,9,\ кВт\cdot год.$$

При розігріві печі перед робочою зміною:

$$W_{2I}=0,274\cdot455\cdot97=12092,99,\ кВт\cdot год$$

При цілодобовій роботі печі:

$$W_{3I}=0,276\cdot455\cdot97=12181,26,\ кВт\cdot год.$$

Із розрахунків видно, що найменше електроенергії витрачається при роботі печі у дві зміни і цілодобово. Економія електроенергії при цілодобовій роботі печі у дві зміни:

-у порівнянні із режимом роботи, при якому піч вимикається при простої дорівнюватиме:

ΔW_{1II}=9665,6-9312,5=353,1, кВт·год, що становить 4%;

-у порівнянні із режимом роботи, у якому піч розігрівається перед початком роботи:

ΔW_{2II}=9356,62-9312,5=44,12, кВт·год, що складає 0,01%;

-у порівнянні із режимом роботи, коли піч працює у одну зміну і вимикається на час простою:

ΔW_{1I}=15667,9-9312,5=6355,4, кВт·год, що становить 68%;

-у порівнянні із однозмінною роботою печі, коли піч розігрівається перед початком роботи:

ΔW_{2I}=12092,99-9312,5=2780,49, кВт·год, що становить 30%;

-у порівнянні із цілдлобовою роботою печі в одну зміну:

ΔW_{3I}=12181,26-9312,5=2868,76, кВт·год, що становить 31%.

Отже, із розрахунків видно, що найбільша економія електроенергії при виборі оптимального режиму роботи печі СНОЛ 500/12 становить 6355,4кВт·год, що становить 68%, при порівнянні оптимального обраного режиму роботи печі із однозмінним режимом роботи печі, в якому піч вимикається на час простою.

2.8.4 Рекомендації щодо підвищення енергоефективності та продуктивності печі

У діючій печі з автоматичним регулюванням температури легко дослідним шляхом приблизно визначити, чи близька фактична продуктивність до максимальної за роботою автоматичного регулятора. Якщо в другій половині нагріву в печі відбуваються часті відключення і період відімкненого стану великий (50 – 70% загального часу), то піч використовується недостатньо, її продуктивність може бути збільшено.

І навпаки, якщо період відімкненого стану печі невеликий, а в печі періодичної дії відключення настають лише в кінці періоду нагріву, то продуктивність її близька до максимальної і без збільшення потужності не може бути підвищена.

Якщо виявиться, що фактична годинна продуктивність печі менше за максимальну, то слід вжити заходи до її збільшення. Це можна зробити, або скоротивши час перебування виробу в печі (скорочення часу нагріву для печі періодичної дії, збільшення швидкості переміщення виробів в методичній печі), або збільшення завантаження череня печі. Зрозуміло, для цього необхідно мати можливість збільшити продуктивність печі, наприклад, відключенням частини працюючих печей.

Скорочення часу перебування виробів в печі, тобто прискорення їх нагріву, може бути досягнуто лише шляхом підвищення температури в печі і лише тоді, коли це допустимо з точки зору стійкості нагрівальних елементів. При цьому при нагріві масивних виробів температурні перепади з них мають бути прораховані і узгоджені з технологами.

Кінцеві температурні перепади можуть бути знижені шляхом зменшення температурного завдання терморегулятора у кінці процесу. При цьому в печах періодичної дії необхідно двічі впродовж цикла міняти температуру уставки терморегулятора. У методичних багатозонних печах це може бути досягнуто набагато простіше, шляхом установки регуляторів перших зон на максимально допустиму нагрівниками температуру, а останньої зони - на температуру, задану технологічним процесом.

Збільшення завантаження череня печі може дати ефект лише в тому випадку, якщо воно буде отримано за рахунок акуратнішого, рівномірного укладання виробів, але не за рахунок збільшення товщини шару їх в напрямку теплового потоку. Збільшення товщини шару деталей на черені печі приведе при нагріві "тонких" виробів, до пропорційного збільшення часу нагріву, і продуктивність печі

залишиться без змін. При нагріві " масивних" виробів підвищення товщини їх шару викличе збільшення часу нагріву, пропорційне квадрату цього підвищення, і продуктивність печі не лише не збільшиться, але навіть зменшиться. Тому збільшувати завантаження череня слід дуже обережно, перевіряючи отриманий ефект по зміні продуктивності печі.

Велике підвищення продуктивності печі може дати збільшення товщини шару виробів на черені при проведенні процесів, в яких значну частину циклу займає витримка при постійній температурі. В цьому випадку, не дивлячись на отримане збільшення часу нагріву, продуктивність печі врешті решт може стати більшою за первинну, оскільки час витримки при цьому не зміниться.

У низькотемпературних печах з примусовою циркуляцією атмосфери можна сміливіше збільшувати завантаження череня для отримання підвищеної продуктивності, оскільки в цих печах теплопередача здійснюється в основному не випромінюванням, а конвекцією.

Коли продуктивність печі відповідає її потужності і потужність використовується повністю, може стати питання про доцільність збільшення потужності печі. Таке підвищення потужності може виявитися ефективним для виробів, що не вимагають тривалої витримки, тобто при загартуванні, нормалізації і відпустці, а також при нагріві заготівель під кування або штамповку.

При цьому для печей збільшення продуктивності і зниження питомої витрати електроенергії матимуть місце також за рахунок скорочення часу розігрівання печі.

Потужність печей може бути збільшена шляхом перерахунку і переробки нагрівальних елементів на велику потужність. При цьому мають бути перевірені також живлячі кабелі і комутаційна аппаратура. Збільшувати потужність можливо у ряді випадків, оскільки велика кількість стандартних печей має недостатню потужність.

Паспортні дані печей, що випускаються нині, особливо стандартних показують, що вони мають великі втрати холостого ходу, які досягають 20-30%

номінальної потужності печей, внаслідок чого коефіцієнт корисної дії цих печей не може бути вищий 70 – 80%. Насправді к. к. д. печей в експлуатації значно нижче з наступних причин:

1. Теплові втрати печей, як показали численні досліди, у багатьох випадках існують, але вище ніж вказані в паспортних даних. Пояснюється це поступовим погіршенням властивостей теплоізоляційних матеріалів в експлуатації, а також заміною їх при ремонті печі менш якісними.

2. Потужність холостого ходу, вказана в паспорті печі, фіксує не усі її теплові втрати; наприклад, нею не враховуються втрати на випромінювання через відкриті дверцята або кришку при завантаженні і вивантаженні, втрати на нагрів тари, втрати закумульованого кладкою тепла.

3. Печі не увесь час працюють на повній потужності, частина циклу (а іноді і увесь цикл) вони періодично включаються і відключаються терморегулятором, крім того, вони відключаються, як правило, на час завантаження і вивантаження. Тому середня потужність печі за складає 75-90% від її номінальної потужності, а оскільки енергія теплових втрат розсіюється впродовж усього циклу, то значення цих втрат потрібно відносити не до номінальної, а до середньої потужності печі.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВПРОВАДЖДЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБПАЛУ КЕРАМІКИ НА ПРАТ «КВАРЦ»

У ході написання дипломного проекту було проведено аудит підприємства ПрАТ «Кварц» і проаналізовано витрати енергоресурсів. В результаті вказаного аналізу, було прийнято рішення про заміну існуючої на виробництві газової печі встановленою потужністю 1МВт на дві електричні печі встановленою потужністю 200 кВт і 45 кВт, так як використання газової печі є нерентабельним для виробництва через її низький КПД, який дорівнює 17%, і через велику вартість газу для виробництва, яка на кінець 2019 початок 2020 року становить 10,9 грн/м^3.

3.1 Визначення економії ПЕР при заміні печей

Основним мотивом підвищення енергоефективності і метою енергозбереження енергетичних ресурсів, поза сумнівом, являється виснажуваність природних ресурсів. Обмеженість енергоресурсів є величезною проблемою, яка зачіпає усі держави. Питання енергетичної безпеки і екологічного чинника - це другий і третій мотиви. Причиною ж глобального перегляду ставлення до енергоресурсів є висока енергоємність продукції.

Ця проблема у свою чергу спричиняє такі наслідки як неефективність економіки, неконкурентоспроможність продукції, мала реалізація на світових і внутрішніх ринках, витрати на експорт, зупинка підприємств за непотрібністю виготовлення дорогої продукції.

В Україні необхідність енергозбереження, раціонального використання енергії висока в усіх галузях господарства і нині є пріоритетним завданням.

Досягнення в цій області, особливо практичні, гідні особливої уваги, оскільки вирішення проблеми енергозбереження дозволяють вирішити комплекс проблем які тягнуться услід за низькою енергоефективністю країни. За час незалежності і особливо за час стійкого розвитку економіки після 2000 року, енергоємність ВВП України не тільки не зменшилась, але і зросла.

Мета енергозбереження одна і виходить з його визначення - це підвищення енергоефективності в усіх галузях, в усіх поселеннях і в країні в цілому. І завдання -визначити, якими заходами і на скільки можна здійснити це підвищення.

На сьогодні енергозбереження займає одну з ключових позицій в розвитку і економіці ринків споживчих послуг і матеріалів.

Застосування енергозберігаючих матеріалів є практичною гарантією скорочення витрат на експлуатацію і обслуговування будь-яких об'єктів, що раніше вимагали великих матеріальних витрат на енергообслуговування, у тому числі по теплоенергетиці.

Підвищення енергоефективності у виробництві, в побуті і у сфері ЖКГ, вимагає добре продуманого і чіткого визначення конкретних цілей і методів їх досягнення, які можуть стати основою програми енергозбереження. Практична реалізація такої програми великою мірою може знайти опору в прямій матеріальній вигоді між суб'єктами стосунків.

Порівняльні характеристики енергозберігаючих матеріалів дозволяють робити оптимальний вибір з урахуванням необхідних властивостей і якостей при плануванні робіт по підвищенню рівня енергозбереження об'єктів.

В ході виконання дипломного проекту було проведено огляд підприємства ВАТ «Кварц» і запропоновано заходи з підвищення енергоефективності виробництва. Так, було виявлено, що найбільші втрати підприємство отримувало через нерентабельну роботу газової печі, встановленої на виробництві, коефіцієнт корисної дії якої складає усього лише 17%. На обпал однієї партії продукції у газовій печі витрачається 950 $м^3$ газу, ціна на який у 2011 році становила для

підприємств 3,9 грн/м^3. Керівництву підприємства було запропоновано замінити газову піч на пару електричних печей різної встановленої потужності, так як при обпалі такої самої партії продукції в електричній печі витрачається 1600 кВт·год і вартість електроенергії для підприємств складає 1,79 грн/кВт·год.

Було розраховано необхідні встановлені потужності печей і обрано печі, що підходять для виробництва. Таким чином було обрано піч СНОЛ 500/12 встановленою потужністю 42 кВт для обпалу виробів невеликого розміру, а також піч СДО 20.30.18/12,5 встановленою потужністю 215±15 кВт для обпалу виробів великого розміру.

Згідно з отриманими на виробництві даними, для обпалу однієї партії запобіжників та ізоляторів, що становить 1000 штук, у газовій печі витрачалось 950 м^3 газу. Витрати на одиницю продукції можна визначити за формулою:

$$P = \frac{W_{1000} \cdot T}{1000}, \qquad (3.1)$$

де $W_{г1000}$ – витрата ПЕР на партію продукції, що скаладається із 1000 штук, м^3;

Т – тариф на ПЕР, грн.

Витрати на одиницю продукції дорівнюють:

$$P_1 = \frac{950 \cdot 3,9}{1000} = 3,705, \text{грн/шт}.$$

Аналогічно, за формулою (5.1) розраховуються витрати на одиницю продукції, при обпалі у печах СДО 20.30.18/12,5 та СНОЛ 500/12.

$$P_3 = \frac{1600 \cdot 0,79}{1000} = 1,264, \text{грн/шт};$$

$$P_2 = \frac{700 \cdot 0,79}{350} = 1,58, \text{грн/шт}.$$

Обсяг товарної продукції виробництва визначається за формулою:

$$ОТП = n_{обпСНОЛ} \cdot n_{шт} + n_{обпСДО} \cdot n_{шт}, \quad (3.2)$$

де $n_{обпСНОЛ}$, $n_{обпСДО}$ – кількість обпалів у печах СДО та СНОЛ відповідно;

$n_{шт}$ – кількість продукції однієї садки.

Знаючи, що печі СДО та СНОЛ виконують по 97 обпалів, за (5.2) визначаємо обсяг товарного виробництва ВАТ «Кварц», що дорівнюватиме:

$$ОТП = 350 \cdot 97 + 1000 \cdot 97 = 130950, \text{шт.}$$

Знаючи обсяг товарного виробництва підприємства та кожної електричної печі окремо, а також витрати на одиницю продукції, можна визначити економію ПЕР:

$$E = P_1 \cdot ОТП - P_2 \cdot ОТП_{СДО} - P_3 \cdot ОТП_{СНОЛ}. \quad (3.3)$$

Таким чином, економія ПЕР після заміни газової печі електричними печами СДО 20.30.18/12,5 та СНОЛ 500/12 становить:

$$E = 3,705 \cdot 130950 - 1,58 \cdot 33950 - 1,264 \cdot 97000 = 308920,75, \text{грн.}$$

Отже, економія ПЕР на ПрАТ «Кварц» після заміни газової печі становить 308920,75 грн.

3.2 Визначення капітальних витрат та показників ефективності

Капітальні витрати, використані в розрахунку при визначенні порівняльної економічної ефективності пропонованого варіанту системи з базовим, визначаються методом прямого розрахунку окремих елементів вкладень за формулою, грн.:

$$K_Н = K_О + K_{ЗД} + K_У + K_Т, \quad (3.4)$$

де $K_О$ - капітальні вкладення в устаткування, необхідне по пропонованому варіанту, грн.;

$K_{ЗД}$ - те ж в будови, грн;

$K_У$ - те ж в споруди і пристрої, грн;

$K_Т$ - те ж в запаси палива і матеріалів, грн.

У свою чергу капітальні вкладення в устаткування $K_О$ складаються з:

$$K_О = K_{ТО} + K_{ПТ} + K_{КиУ}, \quad (3.5)$$

де $K_{ТО}$ - капітальні вкладення в теплотехнічне устаткування, грн;

$K_{ПТ}$ - те ж в підйомно-транспортне устаткування, грн;

$K_{КиУ}$ - те ж в засоби контролю і управління, грн.

Капітальні витрати в підйомно-транспортне устаткування ($K_{ПТ}$), можна прийняти у розмірі 10-15% вартості капітальних витрат в засоби контролю і

управління. Розрахувати капітальні витрати в підйомно-транспортне устаткування можна за формулою наведеною нижче:

$$K_{ПТ} = (0{,}1 \div 0{,}15) K_{КиУ}. \quad (3.6)$$

Капітальні витрати в устаткування за проектом можна розрахувати за формулою наведеною нижче:

$$K_0 = K_{ТО} + K_{ПТ} + K_{КиУ} + K_{ЧРЕ}. \quad (3.7)$$

Для визначення річного економічного ефекту і економії на приведених витратах, необхідно знати статті витрат по переділу в цеху по варіантах виробництва, які зіставляються.

Витрати по переділу можна представити у вигляді наступної формули, грн./рік:

$$З_{ПЕРЕД} = З_{В} + З_{Э} + З_{СЖ.В} + З_{переобуч} + ФОТ + ЗП_{нач} + З_{Р.С} + З_{А} + З_{пр.затр}, \quad (3.8)$$

де $З_{В}$ - витрати на воду

$З_{Э}$ - витрати на електроенергію

Витрати на електроенергію можна розрахувати за формулою, наведеною нижче:

$$З_{Э} = Р_{Э}^{ГОД} \cdot Ц_{Э}, \quad (3.9)$$

де: $Ц_э$ - ціна на електроенергію

$З_{СЖ.В}$ - витрати на стиснуте повітря і кисень для технологічних цілей

ФОП – фонд оплати праці

$ЗП_{нач}$ - величина нарахувань до фонду оплати праці (39,35%);

$З_{Р.С}$ - витрати на поточний ремонт основних фондів;

$З_А$ - амортизаційні відрахування виробничих фондів;

$З_{пр.затр}$ - інші витрати цеху

Для розрахунку витрат на щорічні амортизаційні відрахування використовуємо прямолінійний метод розрахунку, за яким амортизаційні відрахування розраховуються за формулою, грн./рік:

$$З_А = (К_{КиУ} + К_{ЧРЕ})\frac{Н_а}{100}\ , \qquad (3.10)$$

де $Н_а$ - норма амортизаційних відрахувань, яка складає 40%.

Витрати на поточний ремонт визначають у відсотках (10-20%) від суми амортизаційних відрахувань. Їх можна розрахувати за формулою, грн./рік:

$$З_{тр} = 0,1 \cdot З_А \qquad (3.11)$$

Інші витрати цеху розраховуються за формулою:

$$З_{пр.затр} = (0,2 \div 0,3)(ЗП + З_А + З_{Т.Р}) . \qquad (3.12)$$

Розрахунковий коефіцієнт ефективності додаткових капітальних вкладень визначають за формулою:

$$E_p = \frac{\Delta C_K}{K_н} \quad . \tag{3.13}$$

Термін окупності капіталовкладень визначають за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_p}. \tag{3.14}$$

Показник "період окупності" доцільно розраховувати в проектах, що фінансуються за рахунок довгострокових зобов'язань. Термін окупності за проектом має бути коротший за період користування позиковими коштами, встановлюваного кредитором.

Показник є пріоритетним у тому випадку, якщо для інвестора головним є максимально швидке повернення інвестицій, наприклад, вибір шляхів фінансового оздоровлення збанкрутілих підприємств.

Розрахунок показників ефективності проекту здійснюється з дотриманням таких логічних припущень:

– з кожним проектом пов'язують конкретний грошовий потік;

– розрахунки здійснюють за роками;

– умовно вважається, що регулярне надходження або витрати коштів відбуваються в кінці чергового періоду (року);

– всі вихідні параметри проекту найчастіше не є однозначно визначеними;

– рівень ризику проекту відповідає середньому рівню ризику підприємства в цілому;

– вартість капіталу постійна і не залежить від обсягу інвестицій в проект;

– існує „досконалий" ринок капіталу,

– проект має ординарні грошові потоки, ординарні грошові потоки складаються з капіталовкладень, здійснених умовно одночасно (за один розрахунковий період або за декілька послідовних років) і наступних щорічних надходжень коштів.

Чиста теперішня вартість – сумарна сьогоднішня вартість чистих грошових потоків, або різниця між сумарною вартістю дисконтованих (приведених) доходів та сумарною вартістю дисконтованих (приведених) витрат.

Для проектів з ординарними грошовими потоками:

$$ЧТВ = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} - КВ, \qquad (3.15)$$

де КВ – капітальні витрати, грн.

Чим більше значення чистої теперішньої вартості, тим краще, тим більший розрив між сумарною приведеною вартістю доходів і сумарною приведеною вартістю витрат. Логіка використання даного показника наступна:

- якщо ЧТВ>0, то проект вважається ефективним і його реалізація призведе до зростання добробуту його власників,

- якщо ЧТВ=0 – надходження проекту покривають витрати та не забезпечують зростання вартості підприємства, але водночас реалізація проекту є привабливою з точки зору збільшення обсягів виробництва, розширення ринку тощо,

- якщо ЧТВ<0 – проект збитковий і у випадку його реалізації підприємство зазнає втрат.

Вартості електричних печей СНОЛ 500/12 і СДО 20.30.18/12,5 наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вартість електричних печей СНОЛ 500/12 і СДО 20.30.18/12,5

Тип печі	СДО 20.30.18/12,5	СНОЛ 500/12
Вартість печі	731500	85771
Доставка	4400	2100
Пуско-налагоджувальні роботи	10950	7900
Всього	846850	95771

Капіталовкладення в підйомно-транспортне устаткування складає:

$$K_{ПТ} = 0,1 \cdot (95771 + 846850) = 94262,1 \text{грн}.$$

Капітальні витрати в устаткування дорівнюватимуть:

$$K_0 = 94262,1 + 95771 + 846850 = 1036883,1 \text{грн}.$$

Капітальні витрати дорівнюють:

$$K_н = K_о = 1036883,1 \text{грн}.$$

Витрати виробництва на електроенергію становитимуть:

$$З_е = 700000 \cdot 0,79 = 553000 \text{грн}.$$

Величина амортизаційних витрат становить:

$$З_А = (95771 + 846850)\frac{40}{100} = 377048,4 \text{грн/рік}.$$

Витрати на поточний ремонт становлять:

$$З_{тр} = 0,1 \cdot 377048,4 = 37704,84 \text{грн/рік}.$$

Інші витрати виробництва складають:

$$З_{пр.затр} = 0,2(377048,4 + 37704,84) = 82950,648 \text{ грн./рік}.$$

Витрати на річний обсяг виробництва у базовому варіанті та після заміни печей наведено в таблиці 3.2:

Таблиця 3.2 - Витрати на річний об'єм виробництва по порівнюваних варіантах, грн.

Найменування показників	До заміни печей	Після заміни печей	Перевитрата(-)/економія(+)
ПЕР	485169,75	176249	308920,75
ФОП	965710	965710	0
Нарахування в ФОП	380006,89	380006,89	0
Всього	1830886,64	1521965,89	-308920,75
Поточний ремонт			37704,84
Амортизація			377048,4
Інші витрати			82950,648
Разом			188782,74

Розрахунковий коефіцієнт ефективності додаткових капітальних дорівнює:

$$E_p = \frac{308920,75}{1036883,1} = 0,3 .$$

Для даного проекту термін окупності дорівнює:

$$T_{ок} = \frac{1036883,1}{308920,75} = 3,3\,року .$$

Розрахунок чистої теперішньої вартості проекту проведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок чистої теперішньої вартості проекту

Рік	Грошовий потік	α=10 %	Дисконтований грошовий потік	α=20%	Дисконтований грошовий потік	Кумулятивний дисконтований грошовий потік
0	-1036883,1	1	-1036883,1	1	-1036883,1	-1036883,1
1	308920,75	1,1	280837	1,2	257433,96	-756046,1
2	308920,75	1,21	255306,4	1,44	214528,3	-500739,7
3	308920,75	1,331	232271,2	1,73	178566,9	-268468,5
4	308920,75	1,46	211589,6	2,07	149237,1	-56878,9
5	308920,75	1,61	191876,2	2,49	124064,6	134997,3

З таблиці 3.3 видно, що ЧТВ проекту складає 134997,3 грн при ставці дисконту, що дорівнює 10%, отже, реалізація проекту є доцільною. А при ставці дисконту у 20% ЧТВ проекту становить -113052,24 грн.

На рисунку 3.1 зображено графік внутрішньої норми рентабельності.

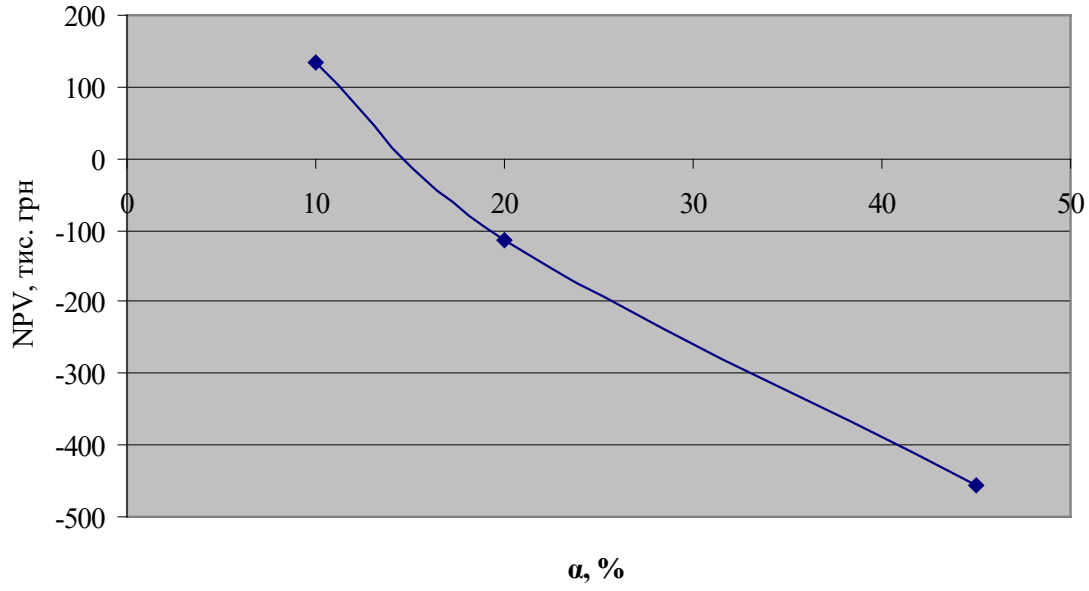


Рисунок 3.1 – Внутрішня норма рентабельності проекту заміни газової печі електричними

Аналізуючи рисунок 3.1, можна зробити висновок, що внутрішня норма рентабельності дорівнює 15%, отже, підприємство може платити за використання необхідних ресурсів 15 % за позиками. залишаючись на беззбитковому рівні.

За даними таблиці 3.3 будуємо залежність кумулятивного грошового потоку проекту від часу та визначаємо дисконтований період окупності за графіком на рисунку 3.2.

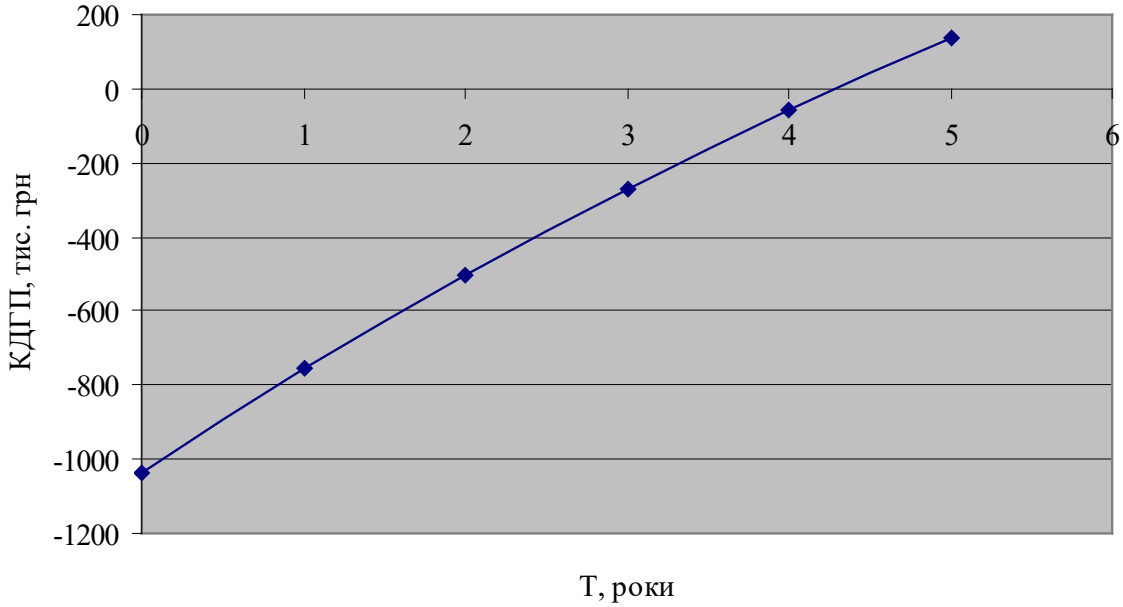


Рисунок 3.2– Дисконтований термін окупності проекту заміни газової печі електричними

Аналізуючи рисунок 3.2, можна зробити висновок, що дисконтований термін окупності проекту становить 4,2 роки.

Отже, можна зробити висновок, що заміна газової печі електричними печами типу СДО 20.30.18/12,5 та СНОЛ 500/12 є доцільною, проект окупиться за 4,2 роки, що є рентабельним.

4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

4.1 Методика оцінки економічної ефективності заходів з енергозбереження

Ефективність заходів з енергозбереження визначається комплексним підходом, що включає технічний, економічний та екологічний аналіз. Основна мета оцінки полягає у визначенні економічної доцільності впровадження енергоефективних рішень, зниженні витрат на електроенергію та підвищенні загальної продуктивності підприємства.

Процес оцінки ефективності починається з аналізу вихідних показників енергоспоживання. Для цього визначається загальна кількість електроенергії, що витрачається на виробництво продукції, а також питомі витрати електроенергії на одиницю продукції. Важливим етапом є ідентифікація основних джерел енергетичних втрат та визначення найбільш критичних ділянок, які потребують оптимізації.

Після цього проводиться розрахунок можливого зниження енергоспоживання в результаті впровадження певних заходів. До них можуть належати модернізація обладнання, впровадження автоматизованих систем контролю енергоспоживання, оптимізація графіків роботи технологічних ліній та застосування альтернативних джерел енергії.

Ключовим показником економічної ефективності є розрахунок економії витрат на електроенергію. Для цього використовується порівняння енергоспоживання до та після реалізації заходів. Отримана економія виражається у відсотках або у грошовому еквіваленті на основі діючих тарифів на електроенергію.

Важливим етапом оцінки є розрахунок терміну окупності заходів, який визначає період, протягом якого зекономлені кошти повністю покривають витрати на реалізацію проекту. Формула для визначення терміну окупності виглядає так:

$$T = C_{впровадження}/E_{економія} \quad (4.1)$$

де T – термін окупності (роки),

$C_{впровадження}$ – витрати на впровадження заходів (грн),

$E_{економія}$ – щорічна економія на витратах електроенергії (грн/рік).

Якщо термін окупності є коротшим за строк експлуатації модернізованого обладнання, захід вважається доцільним для реалізації.

Додатковим критерієм оцінки є індекс прибутковості (ІП), що відображає ефективність інвестицій у заходи з енергозбереження. Він розраховується як відношення сукупної економії до витрат на впровадження:

$$IP=E_{загальна\ економія}/C_{впровадження} \quad (4.2)$$

де IP>1 свідчить про економічну доцільність заходу.

Окрім фінансових розрахунків, оцінка ефективності передбачає екологічний аналіз, оскільки зменшення енергоспоживання сприяє зниженню викидів вуглекислого газу та загального впливу виробництва на навколишнє середовище.

Таким чином, оцінка економічної ефективності заходів з енергозбереження базується на аналізі енергетичних, фінансових та екологічних показників. Використання комплексного підходу дозволяє підприємству не тільки знизити витрати, але й підвищити конкурентоспроможність продукції та забезпечити стале функціонування виробничих процесів.

4.2 Аналіз можливих ризиків та бар'єрів у впровадженні змін

Впровадження заходів з енергозбереження на підприємстві пов’язане з певними ризиками та бар'єрами, які можуть впливати на ефективність реалізації проектів. Основні труднощі можуть бути пов’язані з технічними, фінансовими, організаційними та людськими факторами. Для успішного досягнення цілей енергоефективності необхідно своєчасно ідентифікувати потенційні загрози та розробити стратегії їх мінімізації.

Одним із ключових ризиків є недостатня адаптація виробничого процесу до нових технологій. Впровадження енергоефективного обладнання вимагає точного аналізу сумісності з існуючими технологічними лініями. Некоректна інтеграція може призвести до збоїв у роботі, зниження продуктивності або навіть до аварійних ситуацій.

Таблиця 4.1 - Технічні ризики

№	Технічний ризик	Опис проблеми	Можливі наслідки	Шляхи мінімізації
1	Низька сумісність обладнання	Впровадження нових систем може суперечити існуючим технологіям	Збої в роботі, додаткові витрати на адаптацію	Попереднє тестування на сумісність, етапне впровадження
2	Низька якість модернізованого обладнання	Висока ймовірність швидкого зносу або виходу з ладу	Зростання витрат на ремонт і заміну	Використання перевірених постачальників, сертифікованих рішень
3	Недостатня автоматизація контролю	Відсутність точного моніторингу енергоспоживання	Неефективне використання електроенергії	Встановлення систем автоматизованого контролю
4	Втрата ефективності при зміні параметрів	Деякі процеси можуть працювати з меншою ефективністю	Зниження якості продукції	Проведення тестування перед впровадженням

Фінансування енергозберігаючих заходів є одним із найбільших викликів. Висока вартість модернізації обладнання може потребувати значних капіталовкладень, які не завжди є доступними підприємству.

Таблиця 4.2 - Фінансові ризики

№	Фінансовий ризик	Опис проблеми	Можливі наслідки	Шляхи мінімізації
1	Висока вартість впровадження	Великі початкові інвестиції в модернізацію	Відсутність коштів для реалізації	Пошук грантів, залучення кредитування
2	Довгий термін окупності	Ефект економії може проявитися через роки	Низька зацікавленість у проектах	Виконання детального аналізу терміну окупності
3	Недостатнє фінансування	Брак коштів для завершення проекту	Незавершені зміни, відсутність очікуваної ефективності	Пошук додаткових джерел фінансування
4	Непередбачені витрати	Збільшення витрат у процесі реалізації	Перевищення бюджету, необхідність додаткового фінансування	Попереднє планування з резервним фондом

Організаційні фактори можуть значно впливати на швидкість і успішність впровадження змін. Недостатня підтримка керівництва або опір персоналу можуть стати серйозними бар’єрами на шляху до реалізації заходів енергозбереження.

Таблиця 4.3 - Організаційні ризики

№	Організаційний ризик	Опис проблеми	Можливі наслідки	Шляхи мінімізації
1	Опір персоналу	Працівники не хочуть змінювати звичні методи роботи	Гальмування впровадження	Навчання та роз'яснення переваг
2	Відсутність підтримки керівництва	Недостатня увага до проблем енергоефективності	Відсутність ресурсів на реалізацію заходів	Створення внутрішніх ініціативних груп
3	Недостатня координація відділів	Непогодженість дій різних підрозділів	Затримки у впровадженні	Чітке планування та регулярні наради

Різниця у рівні розвитку технологій та їх доступності може створювати складності при модернізації підприємства. Деяке обладнання може бути застарілим, а його заміна потребуватиме повного оновлення виробничих ліній.

Таблиця 4.4 - Технологічні бар’єри

№	Технологічний бар'єр	Опис проблеми	Можливі наслідки	Шляхи мінімізації
1	Відсутність локальних постачальників	Нове обладнання може бути дорогим або важкодоступним	Висока вартість закупівлі, логістичні проблеми	Пошук альтернативних рішень
2	Обмежена доступність високотехнологічних рішень	Деякі технології можуть бути недоступні	Відсутність ефективного обладнання	Впровадження проміжних рішень
3	Застарілі методи виробництва	Деякі процеси важко модернізувати	Низька ефективність енергозбереження	Етапний перехід на нові технології

Окрім технічних і фінансових бар’єрів, підприємства повинні враховувати нормативні вимоги та екологічні стандарти. Недотримання вимог може спричинити штрафи та додаткові витрати.

Таблиця 4.5 - Екологічні та нормативні ризики

№	Екологічний або нормативний ризик	Опис проблеми	Можливі наслідки	Шляхи мінімізації
1	Відсутність відповідності екологічним нормам	Впроваджені заходи можуть не відповідати чинним стандартам	Штрафи, необхідність переробки проекту	Попередній аналіз нормативної бази
2	Нові вимоги законодавства	Можливі зміни в нормативних актах	Додаткові витрати на адаптацію	Моніторинг змін у законодавстві
3	Недостатній рівень екологічної безпеки	Неправильне впровадження може мати негативні наслідки для довкілля	Додаткові екологічні витрати	Використання екологічно безпечних технологій

Аналіз можливих ризиків і бар'єрів у впровадженні змін показує, що для успішної реалізації заходів з енергозбереження необхідний комплексний підхід. Попередня ідентифікація проблемних аспектів, фінансове та технічне планування,

а також активна участь персоналу у впровадженні змін сприятимуть мінімізації ризиків та досягненню очікуваних результатів.

4.3 Очікуваний ефект від реалізації заходів щодо зменшення енерговитрат

Реалізація заходів з енергозбереження на підприємстві ПП «Кварц» має на меті значне зниження енергоспоживання, оптимізацію виробничих процесів та підвищення загальної ефективності виробництва. Очікуваний ефект можна оцінити за кількома основними параметрами: економія електроенергії, зменшення фінансових витрат, підвищення продуктивності та зниження негативного впливу на довкілля.

Основним напрямом енергозбереження є модернізація обладнання, зокрема заміна застарілих електродвигунів на сучасні з частотним регулюванням, впровадження автоматизованих систем контролю енергоспоживання та оптимізація графіків роботи технологічного обладнання.

Очікувані результати економії електроенергії подані в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Очікуваний ефект від впровадження заходів з енергозбереження

№	Захід	Поточне енергоспоживання, МВт·год/рік	Очікуване енергоспоживання, МВт·год/рік	Економія, %
1	2	3	4	5
1	Заміна електродвигунів на енергоефективні	1 250	1 050	16,0
2	Впровадження частотних регуляторів	860	690	19,8
3	Автоматизація контролю споживання	2 100	1 750	16,7

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5
4	Оптимізація графіків роботи печей	3 500	3 000	14,3
5	Використання рекуперативних систем	1 400	1 100	21,4
Загалом	Енергозберігаючі заходи	9 110	7 590	≈ 16,7

З таблиці видно, що загальна економія електроенергії після реалізації заходів складе ≈ 16,7%, що є суттєвим показником.

Другим важливим аспектом є зменшення фінансових витрат, яке розраховується на основі поточного тарифу на електроенергію. Середній тариф для промислових підприємств становить 3,50 грн/кВт·год. Відповідно, економія витрат підприємства на електроенергію наведена в таблиці:

Таблиця 4.7 – Очікувана економія фінансових витрат

№	Захід	Зекономлена електроенергія, МВт·год/рік	Вартість економії, тис. грн/рік
1	Заміна електродвигунів	200	700
2	Впровадження частотних регуляторів	170	595
3	Автоматизація контролю	350	1 225
4	Оптимізація графіків роботи	500	1 750
5	Використання рекуперації тепла	300	1 050
Загалом	Фінансовий ефект	1 520 МВт·год	5 320 тис. грн/рік

Згідно з розрахунками, підприємство може зекономити 5,32 млн грн на рік лише за рахунок оптимізації енергоспоживання.

Очікуваний ефект від реалізації заходів з енергозбереження на ПП «Кварц» включає значне зменшення енерговитрат на 16,7% та економію 5,32 млн грн на рік. Це дозволить не лише підвищити фінансову ефективність виробництва, але й

покращити екологічні показники підприємства, що сприятиме його стабільному розвитку у довгостроковій перспективі.

4.4 Розробка рекомендацій щодо подальшого підвищення нергоефективності підприємства

Підвищення енергоефективності підприємства є стратегічно важливим напрямком, що дозволяє зменшити витрати електроенергії, підвищити конкурентоспроможність та знизити екологічний вплив виробництва. Для досягнення цих цілей необхідно впроваджувати комплексні заходи, які охоплюють технічні, організаційні та управлінські аспекти.

Впровадження системи енергоменеджменту забезпечує постійний моніторинг та аналіз енергоспоживання. Автоматизація контролю допоможе виявляти неефективне використання електроенергії та оперативно коригувати роботу обладнання. Очікувана економія від запровадження такої системи становитиме 350–490 МВт·год/рік, що за поточними тарифами відповідає фінансовій вигоді у розмірі 1,2–1,7 млн грн/рік.

Застосування альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі потужністю 500 кВт, дозволить частково компенсувати споживання електроенергії з зовнішніх джерел. Очікується, що встановлення такої системи забезпечить підприємству додаткову генерацію 900 МВт·год/рік, що дозволить скоротити витрати на 3,15 млн грн/рік.

Оптимізація графіків роботи енергоємного обладнання дозволяє зменшити навантаження на електромережу в пікові години та скористатися диференційованими тарифами. Перехід на роботу в періоди мінімального

споживання електроенергії забезпечить додаткову економію 140 МВт·год/рік, що еквівалентно 500 тис. грн/рік.

Модернізація системи освітлення передбачає повний перехід на LED-освітлення у виробничих та адміністративних приміщеннях. Заміна застарілих освітлювальних приладів дозволить скоротити споживання електроенергії на 40%, що призведе до зменшення витрат на 300 МВт·год/рік та фінансової економії у розмірі 1,05 млн грн/рік.

Оптимізація теплових процесів через впровадження рекуперативних систем дозволяє ефективно використовувати відхідне тепло печей для підігріву сировини або обігріву приміщень. Це зменшить теплові втрати на 15-18%, що забезпечить економію 600 МВт·год/рік або 2,1 млн грн/рік.

Загальний ефект від впровадження запропонованих заходів дозволить підприємству скоротити енергоспоживання на 2 290–2 430 МВт·год/рік, що забезпечить економію 8,05–8,5 млн грн/рік. Це сприятиме підвищенню загальної ефективності виробничих процесів, зниженню собівартості продукції та поліпшенню екологічної ситуації за рахунок зменшення споживання енергетичних ресурсів.

ВИСНОВКИ

Дослідження, проведене в межах кваліфікаційної роботи, дозволило визначити основні причини підвищеного енергоспоживання на ПП «Кварц» та розробити ефективні заходи для його оптимізації. Аналіз технологічного процесу виготовлення керамічних ізоляторів показав, що найбільші витрати електроенергії пов’язані з експлуатацією печей для обпалу кераміки, роботою допоміжного обладнання та втратами енергії через недостатню теплоізоляцію.

В ході дослідження проведено оцінку енергоспоживання підприємства, що дозволило ідентифікувати основні джерела втрат електроенергії та визначити ключові фактори, що впливають на енерговитрати. Аналіз існуючих електропечей продемонстрував, що використання застарілого обладнання призводить до значних перевитрат електроенергії та підвищення собівартості продукції.

Теплові розрахунки електропечей СДО 20.30.18/12,5 та СНОЛ 500/12, виконані в середовищі MATLAB, показали можливість зниження енергоспоживання за рахунок вибору оптимальних режимів роботи. Визначено, що перехід на більш енергоефективні печі та раціональні режими експлуатації дозволяє скоротити витрати електроенергії на 15–20%, що еквівалентно економії понад 1 500 МВт·год на рік. Це, у свою чергу, забезпечує фінансовий ефект у розмірі 5,2 млн грн щорічно, що підтверджує доцільність впровадження запропонованих заходів.

Економічна оцінка запропонованих змін показала, що інвестиції у модернізацію електротермічного обладнання можуть окупитися впродовж 3–4 років. Запропоновані заходи включають автоматизацію контролю за енергоспоживанням, заміну електродвигунів на частотно-регульовані приводи, встановлення сонячних панелей та впровадження рекуперативних систем. Додатковий ефект досягається за рахунок оптимізації графіків роботи печей та раціонального розподілу енергетичних ресурсів.

Результати дослідження свідчать про значний потенціал для підвищення енергоефективності підприємства, що сприятиме зменшенню навантаження на електромережу, продовженню терміну служби обладнання, покращенню екологічних показників та підвищенню конкурентоспроможності продукції. Впровадження запропонованих заходів дозволить не лише зменшити собівартість виробництва, а й забезпечить сталий розвиток підприємства в умовах зростаючих енергетичних тарифів та посилення екологічних стандартів.

Отримані результати можуть бути корисними не лише для ПП «Кварц», а й для інших підприємств, що займаються виробництвом керамічних виробів та силових запобіжників, де питання енергозбереження відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності виробництва. Розроблені рекомендації та методика оцінки економічної ефективності можуть слугувати основою для впровадження подібних заходів в інших промислових підприємствах, що прагнуть оптимізувати енергоспоживання та знизити виробничі витрати.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. https://quartz.zp.ua/technology

2. Новосилецький Ю.Л. Експлуатація і ремонт електроустаткування та засобів автоматизації. Навчальний посібник. Житомир. 2018. 153 с.

3. Козлов В.Д., Єнчев С.В. Електричні апарати. Навчальний посібник. Київ. 2007. 157 с.

4. Лабзун, М. П. Методи та засоби діагностування опорно-стрижневих ізоляторів: монографія / М. П. Лабзун, О. Є. Рубаненко, В. М. Кутін – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 323 с. ISBN 978-966-641-361-4

5. Норми випробування електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. – Офіц. Вид. – К. ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2007. – ІІ. 262 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Норми)

6. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. : ГОСТ 10178-85. – [Дата введения 1987-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1986. – 7 с.

7. Кутін В. М. Система перевірки механічної міцності опорностержньових ізоляторів роз'єднувачів і відокремлювачів. / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко // Вісник Кременчукського державного політехнічного університету – 2004. – №2(25) – С. 109–111.

8. Лежнюк П. Д. Основи теорії планування експерименту : лабораторний практикум / Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Лук'яненко Ю. В. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 132 с.

9. Таловер'я В. Л. Освоєння ультразвукового контролю опорно-стрижневих ізоляторів. / В. Л. Таловер'я, М. П. Лабзун // Новини енергетики. – 2002. – №8 – С. 52–53.

10. Технічне діагностування електрообладнання та контактних з'єднань електроустановок і повітряних ліній електропередач засобами інфрачервоної

техніки: СОУ-Н ЕЕ 20.577:2007. – Офіц. вид. – К. : ДП «НТУКЦ «АсЕлЕнерго» : М-во палива та енергетики України, 2007. – 119 с.

11. Норми часу на ремонт і технічне обслуговування електричних мереж. – Т.8 : Роботи служби ізоляції: СОУ-Н ЕЕ 05.837:2006. – Офіц. Вид. – К. ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2007. – 128 с

12. Хімічна технологія кераміки [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»/ І.С. Суббота, Л.М. Спасьонова, В.Ю. Тобілко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,24 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 178 с.

13. Теоретичні основи технології кераміки та скла. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» за освітньою програмою «Хімічні технології неорганічних в'яжучих речовин, кераміки, скла та полімерних і композиційних матеріалів», / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І.С. Суббота, Л.М. Спасьонова. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 206 с.

14. Holand, Wolfram. Glass-ceramic technology/ by Wolfram Holand, George H. Beall. – Second edition. ISBN 978-0-470-48787-7 (handbook). https://www.google.com/search?tbm=bks&q=Ceramic+technology

15. Clifton E. Beyer. Ceramic Technology and Its Impact on Curriculum Development in Industrial Technology University of Wisconsin. - Madison, 1991. - 396p.

16. Manoj Dole. Ceramic Technology Diploma&Engineering MCQ. Objective question answers. – India. – 2021.

17. Wolfram Höland. George H. Beall. Glass – ceramic Technology. Wiley – American Ceramic Society, 2020.

18. Ceramics Technology. T.1. Materials Information, ASM International, Michigan university, 2007.

19. Шестаков В.Л. Технологія керамічних стінових і лицювальних матеріалів: Навчальний посібник. – Рівне: УДУВГіП, 2002. - 243с.

20. Керамічні матеріали на основі відходів вугільної промисловості : монографія / Г.В. Лісачук, Л.П. Щукіна, О.Ю. Федоренко, В.В. Цовма; Харківський політехнічний ін-т, нац. техн. ун-т. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2016. – 140 с.

Додаток А

Програма теплового розрахунку електропечі СДО 20.30.18/12,5 у середовищі MATLAB

```
% Тепловий розрахунок електропечі СДО 20.30.18/12,5
clc; clear; close all;
% Вхідні параметри
T_vn = 1523;   % Температура всередині печі, К
T_nar = 303;   % Температура зовні, К
alpha_vn = 0.5; % Коефіцієнт тепловіддачі внутрішній, Вт/м²·К
alpha_nar = 0.7; % Коефіцієнт тепловіддачі зовнішній, Вт/м²·К
% Характеристики шарів стінок
delta = [0.150, 0.050, 0.0361]; % Товщини шарів (м)
lambda = [0.81, 0.35, 0.23]; % Теплопровідність матеріалу (Вт/м·К)
F = [30, 84.3, 108.4, 127.7, 50.3, 95.6, 117.7]; % Площі шарів (м²)
% Розрахунок теплових втрат через стінки
R_total = (1/alpha_vn) + sum(delta ./ lambda) + (1/alpha_nar);
Q_f = (T_vn - T_nar) / R_total; % Теплові втрати через стінки, Вт
% Розрахунок втрат через отвори
F_otv = 6; % Площа отвору, м²
h_otv = 1.8; % Висота отвору, м
T_p = 1573; % Температура печі, К
N_k = 320 * 0.5 * h_otv * F_otv * (T_p ^ 0.4); % Конвективні втрати
N_i = 5.67 * 0.8 * F_otv * 0.55 * ((T_p / 100) ^ 4 - (T_nar / 100) ^ 4); %
Випромінювання
Q_otv = N_k + N_i; % Сумарні втрати через отвори, Вт
% Загальні теплові втрати
Q_total = Q_f + Q_otv;
% Розрахунок питомої витрати електроенергії
m = 0.029; % Маса завантаження, кг/с
q_e = Q_total / m; % Питома витрата електроенергії, Дж/кг
% Визначення теплового ККД
N_potr = 173000; % Потужність споживана, Вт
N_z = 153000; % Корисна потужність, Вт
eta_T = N_z / N_potr; % Тепловий ККД
% Відображення результатів
fprintf('Теплові втрати через стінки: %.2f кВт\n', Q_f / 1000);
fprintf('Теплові втрати через отвори: %.2f кВт\n', Q_otv / 1000);
fprintf('Загальні втрати тепла: %.2f кВт\n', Q_total / 1000);
fprintf('Питома витрата електроенергії: %.2f МДж/кг\n', q_e / 1e6);
fprintf('Тепловий ККД печі: %.2f%%\n', eta_T * 100);
```

```
% Побудова тривимірних графіків
figure;
[X, Y] = meshgrid(linspace(0.1, 0.5, 30), linspace(0.1, 0.5, 30));
% Графік 1: Вплив товщини ізоляції на втрати тепла
Z1 = (T_vn - T_nar) ./ ((1/alpha_vn) + X ./ lambda(1) + Y ./ lambda(2) +
(1/alpha_nar));
surf(X, Y, Z1);
xlabel('Товщина шару 1 (м)');
ylabel('Товщина шару 2 (м)');
zlabel('Втрати тепла (Вт)');
title('Вплив товщини теплоізоляції на втрати тепла');
% Графік 2: Вплив температури на питомі витрати електроенергії
figure;
T_range = linspace(1200, 1600, 30);
q_range = Q_total ./ T_range;
plot(T_range, q_range, 'r', 'LineWidth', 2);
xlabel('Температура (K)');
ylabel('Питома витрата електроенергії (Дж/кг)');
title('Залежність питомої витрати електроенергії від температури');
grid on;
% Графік 3: Вплив площі отворів на втрати тепла
figure;
F_range = linspace(2, 10, 30);
N_k_range = 320 * 0.5 * h_otv .* F_range .* (T_p ^ 0.4);
plot(F_range, N_k_range, 'b', 'LineWidth', 2);
xlabel('Площа отвору (м²)');
ylabel('Втрати тепла (Вт)');
title('Вплив площі отворів на втрати тепла');
grid on;
% Графік 4: Вплив висоти отвору на втрати через конвекцію
figure;
H_range = linspace(0.5, 3, 30);
N_k_range2 = 320 * 0.5 * H_range .* F_otv .* (T_p ^ 0.4);
plot(H_range, N_k_range2, 'g', 'LineWidth', 2);
xlabel('Висота отвору (м)');
ylabel('Втрати тепла (Вт)');
title('Вплив висоти отвору на втрати тепла через конвекцію');
grid on;
% Графік 5: Вплив температури печі на втрати через випромінювання
figure;
T_range2 = linspace(1400, 1700, 30);
```

```
N_i_range = 5.67 * 0.8 * F_otv * 0.55 .* ((T_range2 / 100) .^ 4 - (T_nar / 100) .^ 4);
plot(T_range2, N_i_range, 'm', 'LineWidth', 2);
xlabel('Температура печі (K)');
ylabel('Втрати тепла через випромінювання (Вт)');
title('Вплив температури печі на втрати випромінюванням');
grid on;
% Графік 6: Тривимірна візуалізація залежності потужності від площі і висоти отворів
figure;
[F_grid, H_grid] = meshgrid(linspace(2, 10, 30), linspace(0.5, 3, 30));
Z6 = 320 * 0.5 * H_grid .* F_grid .* (T_p ^ 0.4);
surf(F_grid, H_grid, Z6);
xlabel('Площа отвору (м²)');
ylabel('Висота отвору (м)');
zlabel('Втрати тепла (Вт)');
title('Вплив площі та висоти отворів на втрати тепла');
disp('Розрахунок завершено!');
```

Додаток Б

Програма розробелена в програмі Matlab теплового розрахунок електропечі СНОЛ 500/12.

```
clc; clear; close all;
% Вхідні дані для розрахунку
T_vn = 1523;   % Температура всередині печі, К
T_nar = 303;   % Температура зовні, К
alpha_vn = 0.5; % Коефіцієнт тепловіддачі внутрішній, Вт/м²·К
alpha_nar = 0.7; % Коефіцієнт тепловіддачі зовнішній, Вт/м²·К
% Товщини теплоізоляційних шарів (м)
delta1 = 0.300;
delta2 = 0.285;
delta3 = 0.200;
% Теплопровідність матеріалів (Вт/м·К)
lambda1 = 0.81;
lambda2 = 0.35;
lambda3 = 0.23;
% Площі теплоізоляційних шарів (м²)
F1 = 3.9;
F2 = 7.41;
F3 = 11.75;
F4 = 15.37;
% Розрахунок теплових втрат через стінки
R_total = (1/alpha_vn) + (delta1/lambda1) + (delta2/lambda2) + (delta3/lambda3)
+ (1/alpha_nar);
Q_f = (T_vn - T_nar) / R_total; % Втрати тепла через стінки (Вт)
% Втрати тепла через отвори за рахунок конвекції
F_otv = 0.78; % Площа отвору, м²
h_otv = 0.64; % Висота отвору, м
Q_conv = 320 * 0.5 * h_otv * F_otv * (T_vn ^ 0.4); % Втрати через конвекцію
(Вт)
% Втрати тепла через отвори за рахунок випромінювання
Q_rad = 5.67 * 0.8 * F_otv * 0.55 * ((T_vn / 100) ^ 4 - (T_nar / 100) ^ 4); %
Втрати випромінювання (Вт)
% Загальні втрати тепла через отвори
Q_otv = Q_conv + Q_rad;
% Продуктивність печі (кг/с)
G = 546 / 133200;
% Питома витрата електроенергії (МДж/кг)
q_e = 35000 / G / 1e6;
```

```
% Тепловий ККД печі
eta_T = 27000 / 35000;
% Відображення результатів
fprintf('Теплові втрати через стінки: %.2f кВт\n', Q_f / 1000);
fprintf('Втрати тепла через конвекцію: %.2f кВт\n', Q_conv / 1000);
fprintf('Втрати тепла через випромінювання: %.2f кВт\n', Q_rad / 1000);
fprintf('Загальні втрати через отвори: %.2f кВт\n', Q_otv / 1000);
fprintf('Питома витрата електроенергії: %.2f МДж/кг\n', q_e);
fprintf('Тепловий ККД печі: %.2f%%\n', eta_T * 100);
%% Побудова трьох 3D-графіків
figure;
[X, Y] = meshgrid(linspace(0.2, 0.5, 30), linspace(0.2, 0.5, 30));
% Графік 1: Вплив товщини ізоляції на теплові втрати
Z1 = (T_vn - T_nar) ./ ((1/alpha_vn) + X ./ lambda1 + Y ./ lambda2 +
(1/alpha_nar));
surf(X, Y, Z1);
xlabel('Товщина шару 1 (м)');
ylabel('Товщина шару 2 (м)');
zlabel('Втрати тепла (Вт)');
title('Вплив товщини теплоізоляції на втрати тепла');
% Графік 2: Вплив площі отвору на втрати тепла
figure;
F_range = linspace(0.5, 2, 30);
H_range = linspace(0.2, 1, 30);
[F_grid, H_grid] = meshgrid(F_range, H_range);
Z2 = 320 * 0.5 * H_grid .* F_grid .* (T_vn ^ 0.4);
surf(F_grid, H_grid, Z2);
xlabel('Площа отвору (м²)');
ylabel('Висота отвору (м)');
zlabel('Втрати тепла (Вт)');
title('Вплив площі та висоти отворів на втрати тепла');
% Графік 3: Вплив температури на питомі витрати електроенергії
figure;
T_range = linspace(1200, 1600, 30);
q_range = Q_otv ./ T_range;
plot(T_range, q_range, 'r', 'LineWidth', 2);
xlabel('Температура печі (K)');
ylabel('Питома витрата електроенергії (Дж/кг)');
title('Залежність питомої витрати електроенергії від температури');
grid on;
disp('Розрахунок завершено!');
```

Додатку В

Програма розроблена в пакеті Matlab розрахунку показників роботи печі СДО 20.30.18/12.5

```
clc; clear; close all;

% Вхідні дані з PDF
P_nom = 185; % Номінальна потужність печі, кВт
V = 25; % Об'єм печі, м³
efficiency = 0.85; % Коефіцієнт ефективності

% Режими роботи
P_idle_8h = 0.89 * P_nom; % Потужність втрат при 8 год простою
P_idle_16h = 0.81 * P_nom; % Потужність втрат при 16 год простою

% Продуктивність печі при двозмінній роботі
g_max_2shift = (efficiency * P_nom * 1.44 - V) / 0.22;
g_max_1shift = (efficiency * P_nom * 2.6 - V) / 0.22;

% Мінімальні питомі витрати енергії
A_min_2shift = (efficiency * P_nom * 0.285) / g_max_2shift;
A_min_1shift = (efficiency * P_nom * 0.375) / g_max_1shift;

% Відображення результатів
fprintf('Максимальна годинна продуктивність (2 зміни): %.2f кг/год\n', g_max_2shift);
fprintf('Максимальна годинна продуктивність (1 зміна): %.2f кг/год\n', g_max_1shift);
fprintf('Мінімальні питомі витрати енергії (2 зміни): %.3f кВт·год/кг\n', A_min_2shift);
fprintf('Мінімальні питомі витрати енергії (1 зміна): %.3f кВт·год/кг\n', A_min_1shift);

%% Побудова трьохвимірних графіків

% Графік 1: Вплив потужності та ефективності на продуктивність печі
figure;
[P_range, Eff_range] = meshgrid(linspace(150, 200, 30), linspace(0.7, 0.9, 30));
G_prod = (Eff_range .* P_range .* 1.44 - V) / 0.22;
surf(P_range, Eff_range, G_prod);
```

```
xlabel('Потужність печі (кВт)');
ylabel('Коефіцієнт ефективності');
zlabel('Продуктивність (кг/год)');
title('Вплив потужності та ефективності на продуктивність печі');
grid on;

% Графік 2: Вплив продуктивності на питомі витрати енергії
figure;
[G_range, V_range] = meshgrid(linspace(400, 600, 30), linspace(20, 30,
30));
A_min = (efficiency * P_nom * 0.285) ./ G_range;
surf(G_range, V_range, A_min);
xlabel('Продуктивність печі (кг/год)');
ylabel('Об"єм печі (м³)');
zlabel('Питома витрата енергії (кВт·год/кг)');
title('Вплив продуктивності на питомі витрати енергії');
grid on;

disp('Розрахунок завершено!');
```