

Запорізький національний університет
Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

на тему Підвищення енергоефективності ПрАТ «Укрграфіт»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1412-дн
Кузнецов Р П.

(прізвище та ініціали) (підпис)

спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва)

Керівник

Саблін О.І.

(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя

2023 рік

Запорізький національний університет

Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
(повна назва кафедри)

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

Спеціалізація _____
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 141.00.11 Електроенергетика,
електротехніка
(шифр і назва)
та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц.



В.Л. Коваленко

“ 07 ” грудня 2023 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Кузнецов Роман Павлович

1. Тема роботи: Підвищення енергоефективності ПрАТ «Укрграфіт»

Керівник роботи: Саблін О.І.

затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 639 - с




2. Строк подання студентом роботи: 01 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: поточний тариф вартості електроенергії; вихідні дані чисельної моделі; параметри та умови експлуатації кальценаторів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які рекомендовано розробити): вступ; загальні відомості про підприємство ПрАТ «Укрграфіт»; аналіз існуючих електрокальцинаторів; шляхи модернізації електрокальцинатора; економічне обґрунтування запропонованого заходу; висновки

5. Перелік графічного матеріалу: титульна сторінка; аналіз можливості скорочення обсягів споживання електричної енергії цехом № 2; споживання електроенергії ПрАТ «Укрграфіт» за підрозділами; схема електрична принципова; споживання електроенергії обладнанням цеху № 2; модернізація футеровки електрокальцинаторів

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Саблін О.І., професор		
Розділ 2	Саблін О.І., професор		
Розділ 3	Саблін О.І., професор		
Нормоконтроль	Бандуренко І.І., асистент		

7. Дата видачі завдання

01.06.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Відомості про підприємство ПрАТ «Укрграфіт»	01.10.2023	
2	Аналіз існуючих електрокальцинаторів	01.11.2023	
3	Аналіз можливих заходів для модернізації електрокальцинатора	01.12.2023	

Студент



Кузнецов Р.П.


Керівник дипломної роботи

 (підпис)

(прізвище та ініціали)

Саблін О.І.

Нормоконтролер

 (підпис)

(прізвище та ініціали)

Бандуренко І.І.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Проведено аналіз витрат електричної енергії з метою ідентифікації найбільш енергоємного обладнання. Були ретельно розглянуті різні варіанти модернізації енергозатратного устаткування. Для цього проведено детальний аналіз та розроблено чисельну модель, що дозволяє визначити тепло-електричні параметри обладнання. У результаті аналізу були виявлені недоліки в запропонованих варіантах модернізації, і був обраний найбільш оптимальний варіант. З метою подальшого удосконалення обраного варіанту модернізації, були розроблені та запропоновані додаткові технічні рішення. Доцільність проведення цього заходу підтверджена отриманими даними.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПИТОМА ВИТРАТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЕЛЕКТРОКАЛЬЦИНАТОР, ЧИСЕЛЬНА МОДЕЛЬ, ТЕПЛО-ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ, ФУТЕРУВАННЯ, ВОГНЕТРИВКІ МАТЕРІАЛИ.

ABSTRACT

An analysis of electrical energy consumption was carried out in order to identify the most energy-intensive equipment. Various options for modernization of energy-consuming equipment were carefully considered. For this, a detailed analysis was carried out and a numerical model was developed, which allows determining the thermal and electrical parameters of the equipment. As a result of the analysis, shortcomings were found in the proposed modernization options, and the most optimal option was chosen. In order to further improve the chosen modernization option, additional technical solutions were developed and proposed. The feasibility of this event is confirmed by the data obtained.

KEYWORDS: SPECIFIC CONSUMPTION OF ELECTRICAL ENERGY, ELECTROCALCINATOR, NUMERICAL MODEL, THERMAL-ELECTRIC PARAMETERS, LINING, FIREPROOF MATERIALS

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО ПРАТ «УКРГРАФІТ».....	11
1.1 Характеристика заводу	11
1.2 Виробництво електродної продукції.....	13
1.3 Аналіз споживання електроенергії ПраТ «Укрграфіт».....	20
1.4 Споживання електроенергії цехом №2	23
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЕЛЕКТРОКАЛЬЦИНАТОРІВ	27
3 АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОКАЛЬЦИНАТОРА	41
3.1 Розробка чисельної моделі	43
3.2 Модернізація електрокальцинатора для зменшення електровикористання	51
3.3 Економічне обґрунтування запропонованих заходів.....	54
3.4 Питання охорони праці	59
ВИСНОВКИ	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	71
ДОДАТКИ	75

ВСТУП

Енергозбереження – діяльність, спрямована на раціональне використання й економне витрачання первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів у національному господарстві, яка реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів. Відповідно до Закону України «Про енергозбереження.» (1994), енергозбереження повинна забезпечувати енергоощадна політика – адміністративно-правове та фінансово-економічне регулювання процесів видобування, перероблення, транспортування, зберігання, виробництва, розподілу та використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) [1]. Під раціональним використанням ПЕР розуміють досягнення максимальної ефективності їх використання за наявного рівня розвитку техніки та технології і одночасного зниження техногенного впливу на довкілля, а під економією – відносне скорочення їх витрат, тобто зниження питомих витрат ПЕР на виробництво продукції, виконання робіт і надання послуг визначеної якості. Політика енергозбереження об'єктивно зменшує обсяги споживання ПЕР і, як наслідок, шкідливий вплив на довкілля, проте найбільш ефективним є використання відновлюваних джерел енергії. У рамках суспільно-політичної категорії енергозбереження розглядають як оптимальне забезпечення життєдіяльності людини, що не дублюється чи заперечується базовим законом фізики. Тут мається на увазі збереження тієї складової в енергетичних процесах, що економічно доступна людині і може бути залучена до господарського обігу чи становить інтерес з інших, наприклад, екологічних, причин.

Україна має величезний невикористований потенціал енергозбереження. Починаючи з 2009 року динаміка підвищення енергоефективності погіршилася, але все ж рух зберігається, хоча й не такими темпами. За оцінкою, до 2015 року темпи зменшення енергоємності за відсутності скоординованої державної політики з

енергоефективності можуть різко сповільнитися. Це може привести до ще більш динамічного зростання попиту на енергоресурси всередині країни. Запасів нафти і газу в Україні достатньо, однак розвиток незалежності в цій галузі і розвиток транспортної інфраструктури вимагають значних інвестицій [1].

Підвищення енергоефективності може швидко принести користь підприємствам за рахунок максимального використання джерел енергії та пов'язаних з ними активами, що дозволить знизити як витрати, так і споживання енергії. Необхідна оптимізація структури енергоспоживання та переходу до енергоефективної економіки.

Актуальність теми. Металургійна промисловість зв'язана з необхідністю використання надійних і стійких до високих температур матеріалів. Такими незамінним інструментом при роботі із сталеплавильними печами являються графітовані електроди, які забезпечують введення електроенергії при виплавці металів і сплавів в електропечах. Виробництво електродів належить до тривалих та енергоємних процесів, тобто виробництв з високою долею витрат на паливо і енергію. Найважливішим завданням сучасних промислових підприємств є економне витрачання енергетичних ресурсів і підвищення ефективності їх використання на всіх стадіях виробництва, тому велика увага приділяється розробленню сучасних технологій і проведенню організаційно-технічних та економічних заходів щодо підвищення енергоефективності виробництва.

Мета магістерської роботи – зниження обсягів споживання електричної енергії шахтними печами опору шляхом створення оптимальної футеровки зсередини печі враховуючи теплові та електричні поля, геометрію печі, властивості матеріалу, електричні параметри, режими завантаження/вивантаження матеріалу.

Для досягнення вказаної мети поставлені такі основні задачі:

– проаналізувати споживання електричної енергії за підрозділами підприємства за останні 3 роки;

– проаналізувати технічні параметри обладнання цеху, виділити обладнання, яке являється споживає найбільше електроенергії;

– розглянути конструкції існуючих кальцинаторів для вирішення проблеми надмірного споживання електроенергії, проаналізувати їх переваги та недоліки;

– змоделювати варіанти модернізації футеровки, обрати оптимальний;

– удосконалити обраний варіант модернізації;

– обґрунтувати застосування даного варіанту за допомогою відповідних комп'ютерних програм;

– обґрунтувати заходи щодо зменшення обсягів споживання електричної енергії.

Об'єкт дослідження – електричні та теплофізичні процеси в електрокальцинаторі.

Предмет дослідження – тепло-електричні поля та напрями зниження обсягів споживання електричної енергії електрокальцинатором.

1 ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО ПРАТ «УКРГРАФІТ»

1.1 Характеристика заводу

Провідний виробник в Україні графітованих електродів для електросталеплавильних, руднотермічних і інших видів електричних печей, товарних вуглецевих мас для електродів Содерберга, футерувальних матеріалів на основі вуглецю для підприємств металургійного, машинобудівного, хімічного і інших комплексів промисловості [2].

Підприємство завжди одним з перших здійснювало розробку і впроваджувало у виробництво нові види технологій, сучасні агрегати і технологічні лінії. Багато зроблено за останні 10 років. У 1997 році здійснено введення в промислову експлуатацію нового цеху вугільних заготівель, що не має аналогів в країнах Східної Європи і Росії. Застосування електричних кальцинаторів для глибокої термічної обробки сировини дозволило створити єдине в СНД виробництво електрокальцинованих антрацитів, що значно поліпшило експлуатаційні властивості вироблюваної вуглецевої продукції - катодних блоків для футерування алюмінієвих електролізерів і блоків для футерування лещади і горна доменних печей. Освоєно виробництво матеріалів на основі електрокальцинованого антрациту з використанням до 70 % графіту.

У 2000-2001 рр. впроваджена технологія і освоєно в промислових масштабах виробництво графітованих блоків для виготовлення анодів магнієвих електролізерів, що відрізняються зниженим питомим електричним опором і підвищеною експлуатаційною стійкістю. У 2001 р. побудований цех і освоєно, що не має аналогів на електродних заводах країн СНД, виробництво анодів для магнієвої промисловості з просоченнями неорганічними компаундами на основі фосфорних з'єднань. У 2003-2004 рр. освоєно виробництво маси холоднонабивної вуглецевої теплопровідної для доменних печей і маси холоднонабивної череневої для алюмінієвих

електролізерів. Проведена велика робота по вдосконаленню технології і модернізації виробництва продукції, що серійно випускається. Нині підприємство має в розпорядженні перспективні розробки як в області вдосконалення продукції, що серійно випускається, так і в області створення нових видів продукції [2].

Особливу роль в розвитку підприємства зіграли розробка і впровадження системи управління якістю, яка дозволила розвинути і удосконалити технологію, виробництво і систему управління підприємства в цілому, дозволила підняти на більш високий якісний рівень конкурентоспроможність продукції. Сьогодні на підприємстві впроваджені міжнародні стандарти ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001. У сфері вдосконалення системи управління ПрАТ «Укрграфіт» має намір йти далі і впроваджувати концепцію управління якістю (TQM) з ще більш високим рівнем вимог до усіх аспектів функціонування підприємства.

Підприємство є дійсним членом Української Асоціації Виробників Чавуну, Асоціації ливарників України, Торгово-промислової Палати України і Української Асоціації Якості, Міждержавній Асоціації Титан, що дозволяє вирішувати конкретні питання і гнучко реагувати на умови роботи, що змінюються, на ринку.

Сьогодні виробнича марка ПрАТ «Укрграфіт» і продукція підприємства визнана споживачами, українськими і міжнародними організаціями. По асортименту і якості продукції, що випускається, ПрАТ «Укрграфіт» утримує провідні позиції серед виробників аналогічної вуглеграфітової продукції в країнах СНД, успішно конкурує на світовому ринку.

1.2 Виробництво електродної продукції

Існуюча технологія електродної продукції передбачає використання сполучного матеріалу і твердого вуглецевого наповнювача в якості

основної сировини. Цикл обробки сировинних матеріалів для отримання електродних виробів включає в себе декілька технологічних операцій, сутність яких визначається різними фізичними процесами [3].

Ефективність застосування того чи іншого сполучної речовини залежить від його властивостей. В цьому зв'язку одна з важкостворених удосконалення електродного виробництва є вишукування матеріалу з підвищеними властивостями спечення у поєднанні з доброю здатністю до переробки на різних переділах, зокрема з добрими пластичними властивостями.

В якості твердого вуглецевої сировини використовують нафтові, пекові, сланцеві, кам'яновугільні кокси, антрацит, повернення виробництва: «зелені», обпалені, графітовані.

У наш час при виробництві широкого асортименту електродних виробів використовують сполучні одного виду – середньотемпературний кам'яновугільний пек з температурою розм'якшення 65-75°C. Пек являє собою залишки при розгоні кам'яновугільної смоли [3].

Хімічним складом і структурою пеку зумовлені властивості, які дозволяють електродному сполучному виконувати на різних стадіях

виробництва такі суперечливі функції, як пластифікація електродної маси та спечення заготовок.

Кам'яновугільний пек має складний склад. За хімічною природою пек являє собою систему ароматичних та гетероциклічних з'єднань.

Для характеристики вмісту пеку використовують метод обробки і розділення його на змістовні різними розчинниками [4].

Пек – типовий термопластичний матеріал, структура і властивості якого різко змінюються в залежності від температури. Його пластифікуючі функції зумовлені наявністю дисперсної структури з комплексом фізико-механічних властивостей.

Поведінка сполучного на першій стадії виробництва визначається його реологічними властивостями – в'язкістю, температурою

розм'якшення. При одній температурі нагріву в'язкість пеку тим більша, чим вище його температура розм'якшення и чим більше в ньому міститься речовин, нерозчинних у толуолі. Зі зростанням температури нагріву в'язкість різко падає. Цим обумовлюється необхідність стабільності температурного режиму на всіх переділах.

Переробка електродного пеку температурою розм'якшення 65-75°C на переділах вистаювання, перекачування та змішення з наповнювачем проходить при 115-135°C. на цьому інтервалі температур середньотемпературний пек знаходиться у н'ютоновському стані, тобто має найбільшу рухливість і плинність. Здатність до текучості пеку в даному випадку визначається тільки в'язкістю. Рівномірний розподіл сполучного в процесі приготування електродної маси є одним з факторів, який визначає якість готових виробів. Останньою операцією пресування є охолодження заготовок. Для забезпечення зберігання «зелених» заготовок без деформації пек повинен знаходитися у склоподібному стані. Необхідність зберігання заготовок без деформації і створення умов для зняття внутрішніх напружень, охолодження заготовок слід здійснювати при температурах, близьких до нижньої межі пружно-пластичного стану сполучного.

Для виробництва широкого асортименту графітованих виробів наповнювачем служать малозольні малосірчасті нафтові кокси. Застосування їх дозволяє отримувати електродний графіт з хорошою електропровідністю.

Термоантрацит є основним компонентом вугільних виробів. Він покращує термостійкість, міцність та електропровідність вугільної продукції. В якості доповнення до шихти електродної продукції використовують повернення виробництва – «зелені», обпалені, графітовані. Застосування повернень дозволяє створити маловідходну технологію електродного виробництва. Використання повернень в оптимальних кількостях і раціонального гранулометричного складу в ряді випадків покращує якість готових виробів. Пружний кокс крекінгового залишку має

найменшу релаксацію напружень, а піролізний кокс найбільшу. З крекінгового коксу входить графіт з високою електропровідністю і густиною, а з піролізного коксу графіт з меншою електропровідністю і щільністю [5].

Щоб отримати вугільні вироби високої якості, необхідно мати максимальний вміст вуглецю в антрациті при найменшій кількості баласту у вигляді золи, сірки і вологи. Цьому сприяє попереднє прожарювання антрациту при високих температурах.

Властивості термоантрациту істотно впливають на електропровідність готової електродної продукції. Питомий електроопір термоантрациту залежить не тільки від рівня досягнутої температури прожарювання, але і від швидкості її підйому, часу витримки при кінцевій температурі. Підвищена механічна міцність термоантрациту, хороша міцність спікання його з сполучним матеріалом за умови достатнього прожарювання дозволяють отримувати вугільні вироби з високими характеристиками міцності [5].

Підготовка вуглецевих сировинних матеріалів в значній мірі визначає стабільність технологічного процесу виробництва електродної продукції і виходу придатного на переділах пресування, випалу, графітації і механічної обробки. При підготовці сировини здійснюється ряд технологічних операцій: витримування пеку при температурі, сушка прокаленого вуглецевого наповнювача або прожарювання наповнювача, дроблення, розмелювання на сортові фракції вуглецевого наповнювача. Сушінню піддається прокалений вуглецевий наповнювач, який поставляється на електродні заводи, що містить більше 0,5% вологи [6].

Прожарювання або термічна обробка наповнювача при високій температурі одна з вирішальних технологічних операцій. Основна мета прожарювання полягає в попередній підготовці структури і властивостей наповнювача до подальшої термічної переробки. Для отримання сортових фракцій вуглецевий наповнювач дроблять, розмелюють і класифікують.

Зазвичай дробленням прийнято називати процес зменшення розмірів крупнокускового матеріалу. Основне завдання процесу розмелювання отримати сортову фракцію 71 мкм.

Багаторічна заводська практика показує, що постійне технологічне налаштування дробильно-розмельного і розсівного обладнання дозволяє забезпечити виробництво електродної продукції необхідними сортами фракціями. Це створює передумови для ведення стабільного технологічного процесу і високих виходів придатного на всіх переділах.

На переділі пресування електродних заготовок закладаються в основному всі спадкові властивості, що визначають якість готових виробів. В цілому, на властивості електродних пресованих заготовок впливають фактори технологічного і конструктивного характеру, які супроводжують процес підготовки і пресування вуглецевих мас. До технологічних факторів належать енергосилові умови змішування і пресування мас, температурно-швидкісний режим змішування підготовки пресування мас, пластичні властивості мас. Конструктивні фактори відображають тип і стан робочих органів основного технологічного обладнання змішувачів, міксерів-охолоджувачів, пресів і пресового інструменту, спосіб прийому і передачі заготовок на охолоджувальний пристрій, пристрій і спосіб нарізки електродних заготовок, особливості конструкції і спосіб обігріву пресового інструменту [7].

Найбільше поширення отримав спосіб гідравлічного пресування, здійснюваного видавлюванням маси через мундштук у виробництві вугільних і графітованих електродів, футеровочних блоків і багатьох видів конструкційних виробів для різних галузей промисловості. Випал заготовок

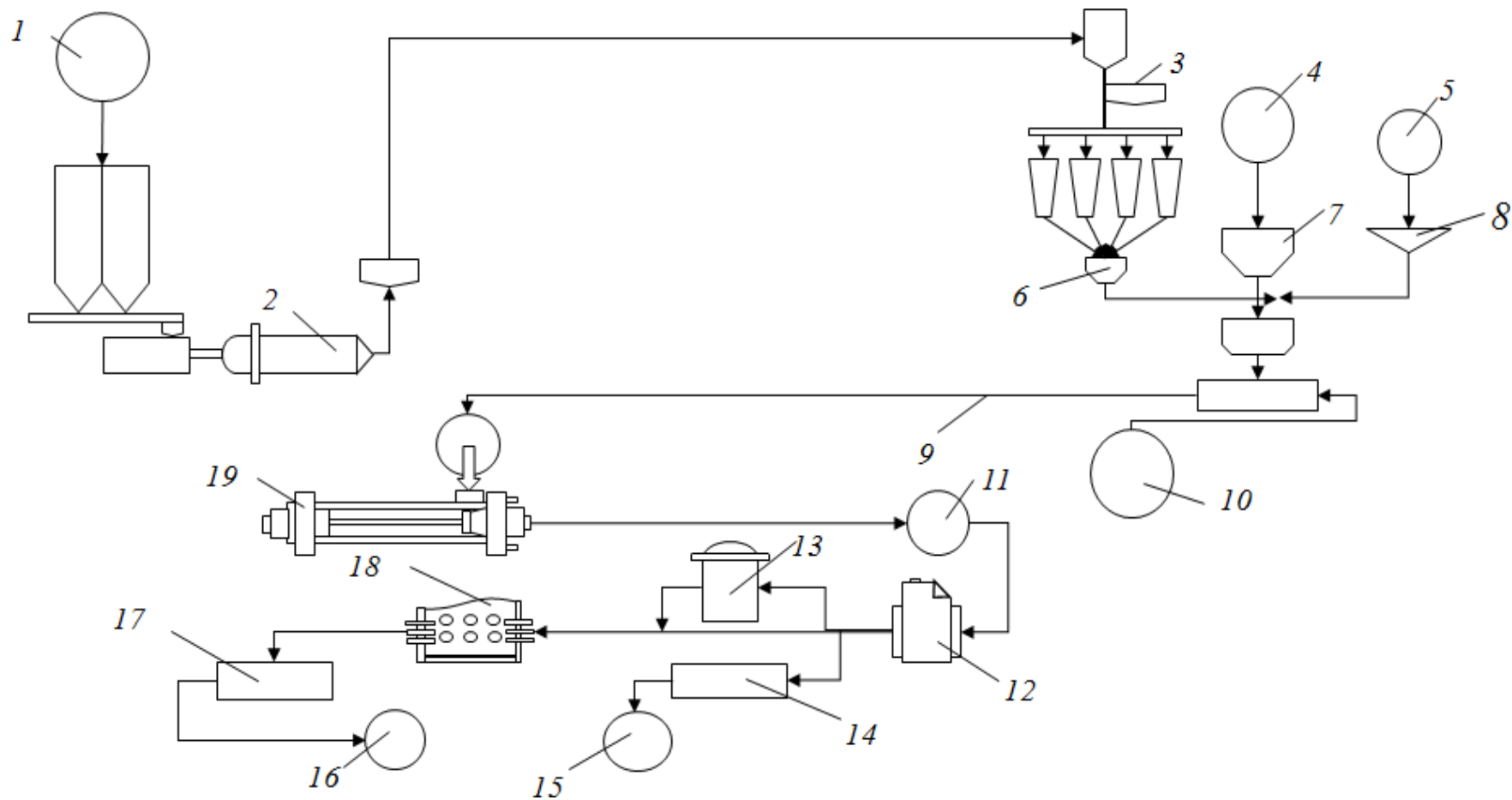
Під випалом розуміють процес термічної обробки пресованих заготовок, який приводить до спікання часток порошку наповнювача коксом сполучного. Як видно з визначення, основним при випалі вуглецевих пресованих заготовок є формування з сполучного цементуючої

коксової решітки. Утворений в результаті спікання матеріал являє агломерат вуглецевих часток, зв'язаних коксом сполучного. Цей новий стан забезпечує такі цінні властивості виробів, як міцність, термічна і хімічна стійкість, висока електропровідність, завдяки яким вуглецеві матеріали широко застосовуються в різних галузях промисловості [7].

Виходячи з призначення операцій випалу вуглецевих формованих заготовок, головними завданнями при випалі вважають забезпечення максимального виходу коксового залишку із сполучного, що обумовлює міцність спікання частинок наповнювача і кінцеву механічну міцність заготовок, які випалюються, і готових виробів; отримання матеріалу з однорідною по всьому об'єму заготовки бездефектною структурою.

В процесі випалу в вуглецевих заготовках внаслідок їх складного вихідного складу протікають різні фізико-хімічні процеси, які супроводжуються зміною агрегатного стану (заготовка спочатку розм'якшується внаслідок розплавлення сполучного пеку, потім знову твердіє в результаті коксування останнього); зміною розмірів (розширенням і усадкою); втратою маси. Результатом різноманітних впливів являються напруги в заготовках, які при несприятливому поєднанні технологічних параметрів можуть привести до спотворення форми заготовок або до їх розтріскування [8].

Весь технологічний процес займає 3 місяця. Схема технологічного процесу приведена на рисунку 1.1



1 – склад сировини; 2 – дроблення; 3 – розсів; 4 – склад пеку; 5 – склад добавок; 6 – дозування шихти; 7 – дозування пеку; 8 – дозування добавок; 9 – змішування; 10 – товарні маси; 11 – склад «зелених» заготовок; 12 – випал; 13 – насичування; 14 – механічна обробка вугільної продукції; 15 – склад вугільної продукції; 16 – склад графітованої продукції; 17 – механічна обробка графітованої продукції; 18 – графітація; 19 – пресування.

Рисунок 1.1 – Технологічний процес виробництва продукції

1.3 Аналіз споживання електроенергії ПрАТ «Укрграфіт»

Виробництво вуглеграфітової продукції характеризується споживанням різноманітних видів енергії, таких як природний газ, пара, електрична енергія. Для зручності аналізу енергетичної ефективності роботи в наступних періодах розраховані обсяги:

- динамічний – відображає зміни енергетичної ефективності роботи підприємства з урахуванням сезонних коливань обсягів споживання енергії;
- статичний – усереднені дані за результатами роботи щоквартально та за результатами року.

Енергетична ефективність ПрАТ «Укрграфіт» (динамічний обсяг) представлена в таблицях 1.1, 1.2.

Таблиця 1.1 – Зміни електроспоживання з урахуванням сезонних коливань обсягів споживання енергії (динамічний обсяг, МВт·год/т)

Місяць	Водяна пара, МВт·год/т	Природний газ, МВт·год/т	Електроенергія, МВт·год/т	Загальне споживання, МВт·год/т	Об'єм виробництва, т/добу
1	2	3	4	5	6
Січень	2,650	4,046	3,157	9,853	144,4
Лютий	2,153	3,267	2,886	8,306	185,9
Березень	1,538	2,413	2,788	6,739	204,6
Квітень	1,127	1,902	2,137	5,166	245,4
Травень	0,903	1,591	2,203	4,697	234,8
Червень	1,013	1,617	2,173	4,803	231,0
Липень	1,051	1,668	2,228	4,947	230,1
Серпень	1,098	1,628	2,351	5,077	213,5
Вересень	1,295	2,057	2,708	6,06	190,3
Жовтень	1,343	1,897	2,613	5,853	205,2
Листопад	1,449	2,047	2,662	6,158	208,1
Грудень	2,302	3,198	3,248	8,748	137,8

Таблиця 1.2 – Зміни електроспоживання з урахуванням сезонних коливань обсягів споживання енергії (динамічний обсяг, МВт·год/добу)

Місяць	Водяна пара, МВт·год/добу	Природний газ, МВт·год/добу	Електроенергія, МВт·год/добу	Загальне споживання, МВт·год/добу	Об'єм виробництва, т/добу
1	2	3	4	5	6
Січень	2,650	4,046	3,157	9,853	144,4
Лютий	2,153	3,267	2,886	8,306	185,9
Березень	1,538	2,413	2,788	6,739	204,6
Квітень	1,127	1,902	2,137	5,166	245,4
Травень	0,903	1,591	2,203	4,697	234,8
Червень	1,013	1,617	2,173	4,803	231,0
Липень	1,051	1,668	2,228	4,947	230,1
Серпень	1,098	1,628	2,351	5,077	213,5
Вересень	1,295	2,057	2,708	6,06	190,3
Жовтень	1,343	1,897	2,613	5,853	205,2
Листопад	1,449	2,047	2,662	6,158	208,1
Грудень	2,302	3,198	3,248	8,748	137,8

Енергетична ефективність ПрАТ «Укрграфіт» (статичний обсяг) приведена у таблицях 1.3, 1.4.

Таблиця 1.3 – Усереднені дані за результатами роботи щоквартально та за результатами року (МВт·год/т)

Місяць	Водяна пара, МВт·год/т	Природний газ, МВт·год/т	Електро- енергія, МВт·год/т	Загальне споживання, МВт·год/т	Об'єм виробництва, т/добу
1	2	3	4	5	6
I кв.	2,049	3,147	2,923	6,503	178,1
II кв.	1,015	1,706	2,171	4,241	237,1
I + II кв.	1,457	2,321	2,492	5,207	207,7
III кв.	1,138	1,769	2,410	4,606	211,6
I + II + III кв.	1,348	2,113	2,464	5,002	209,0
IV кв.	1,625	2,282	2,792	5,631	183,4
Базис	1,411	2,167	2,539	5,146	202,5

Таблиця 1.4 – Усереднені дані за результатами роботи щоквартально та за результатами року (МВт·год/добу)

Місяць	Водяна пара, МВт·год/добу	Природний газ, МВт·год/добу	Електроенергія, МВт·год/добу	Загальне споживання, МВт·год/добу
1	2	3	4	5
I кв.	964,8	560,3	520,4	2045,5
II кв.	240,6	404,3	514,6	1159,5
I + II кв.	302,5	482,0	517,5	1302
III кв.	240,8	374,1	509,9	1124,8
I + II + III кв.	281,7	445,7	514,9	1242,3
IV кв.	298,1	418,5	512,1	1228,7
Базис	285,9	438,9	514,2	1239

Споживання підприємством енергоносіїв за роками приведені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Споживання різних видів енергоносіїв за роками

Енергоносії	Споживання за роками					
	2020 р.		2021 р.		2022 р.	
	МВт·год	%	МВт·год	%	МВт·год	%
Природний газ	65006,7	19,3	105378	30,3	108246	27,6
Пара	96941,87	28,9	109586	31,5	94236	24,1
Електрична енергія	174097,8	51,8	132906	38,2	189132	48,3

Діаграми споживання пари, природного газу та електричної енергії представлені на рисунках 1.2 – 1.4.

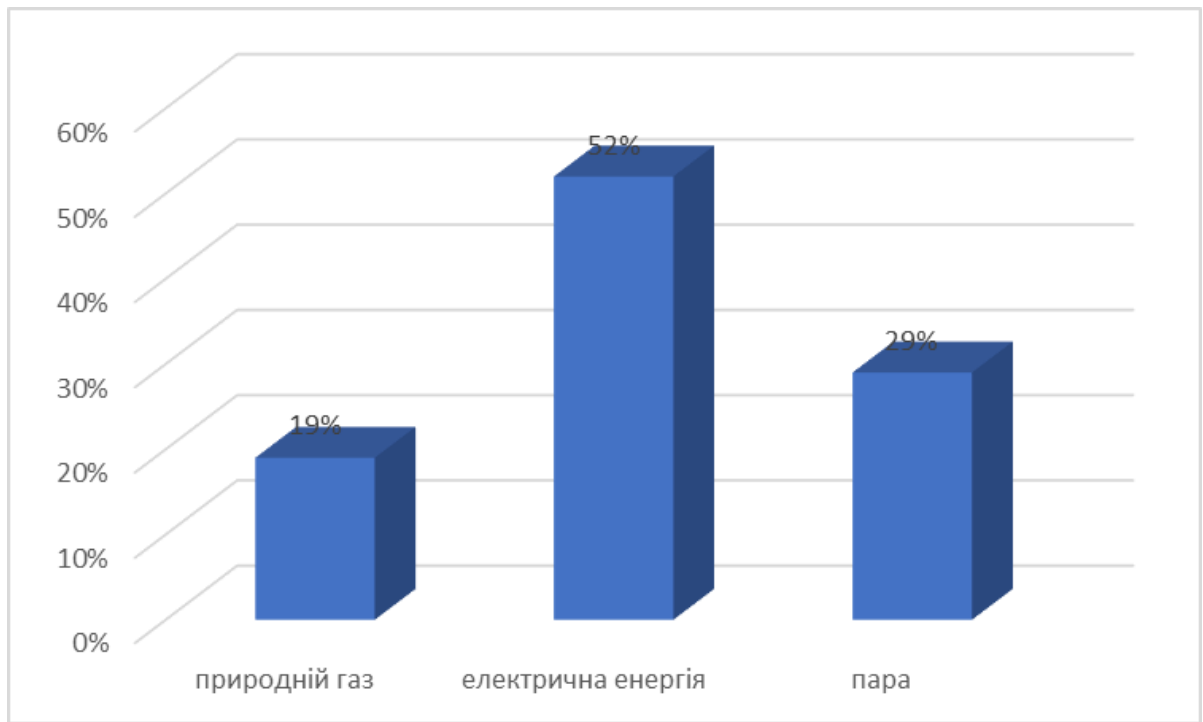


Рисунок 1.2 – Споживання енергоносіїв у 2020 р.

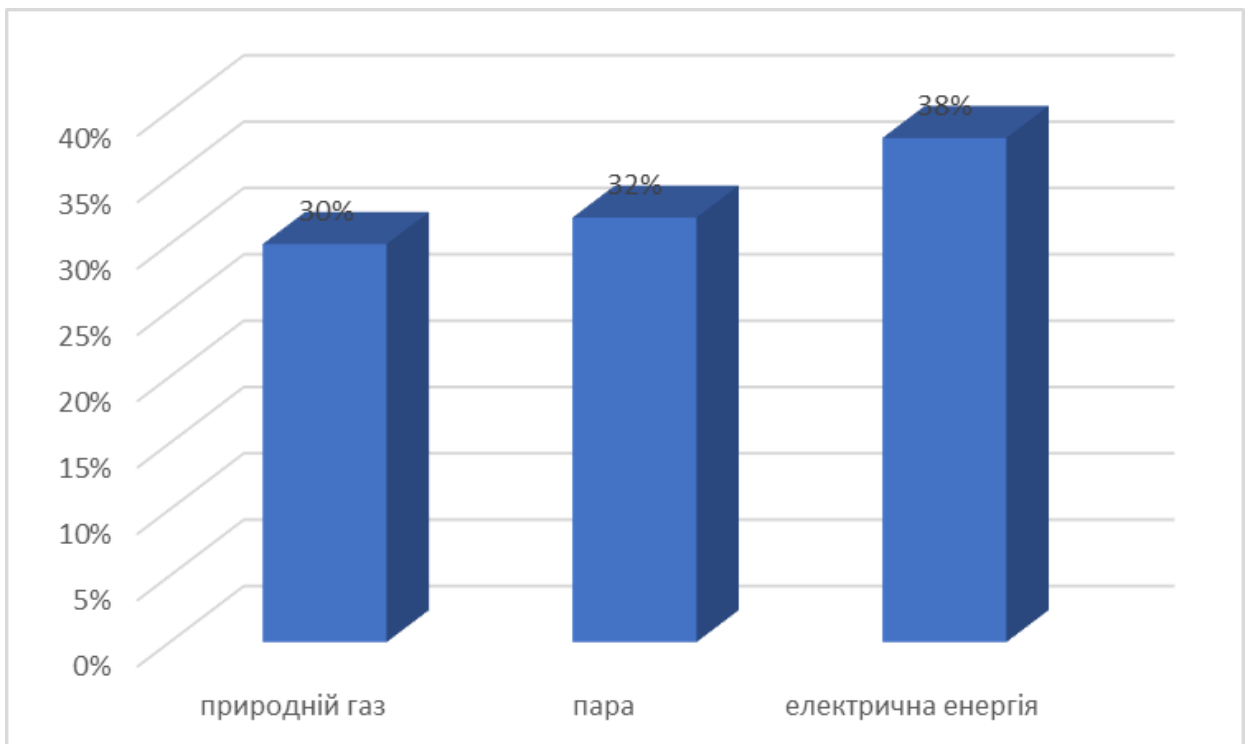


Рисунок 1.3 – Споживання енергоносіїв у 2021 р.

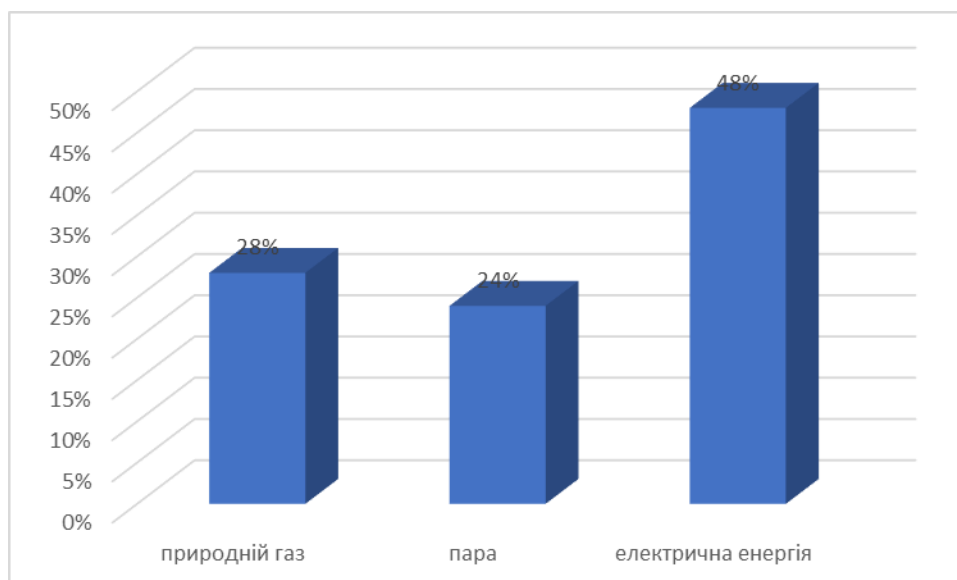


Рисунок 1.4 – Споживання енергоносіїв у 2022 р.

З діаграм видно, що при виробництві продукції найбільше споживається електричної енергії. Це зумовлено великою кількістю обладнання та його моральною застарілістю.

У таблиці 1.6 приведені споживання електричної енергії за підрозділами підприємства.

Таблиця 1.6 – Споживання електроенергії за підрозділами

Підрозділ	Споживання, МВт·год					
	2016 р.		2017 р.		2018 р.	
	МВт·год	%	МВт·год	%	МВт·год	%
Цех №2	75811	74,5	17968	44,9	30483	51,7
Цех №3	5847	6,2	5291	13,2	8643	14,6
Цех №5	5124	5,2	4211	10,5	5734	9,7
Цех №8	8211	7,8	7934	19,9	8478	14,4
Інше	2998	3,1	3149	7,9	3231	5,5
Опалення	811	0,8	75	0,2	74	0,1
Втрати	2245	2,1	1333	3,3	2330	3,9
Всього	100500	100	39961	100	58973	100

Діаграми споживання електроенергії за підрозділами наведені на рисунку 1.5, рисунку 1.6, рисунку 1.7.

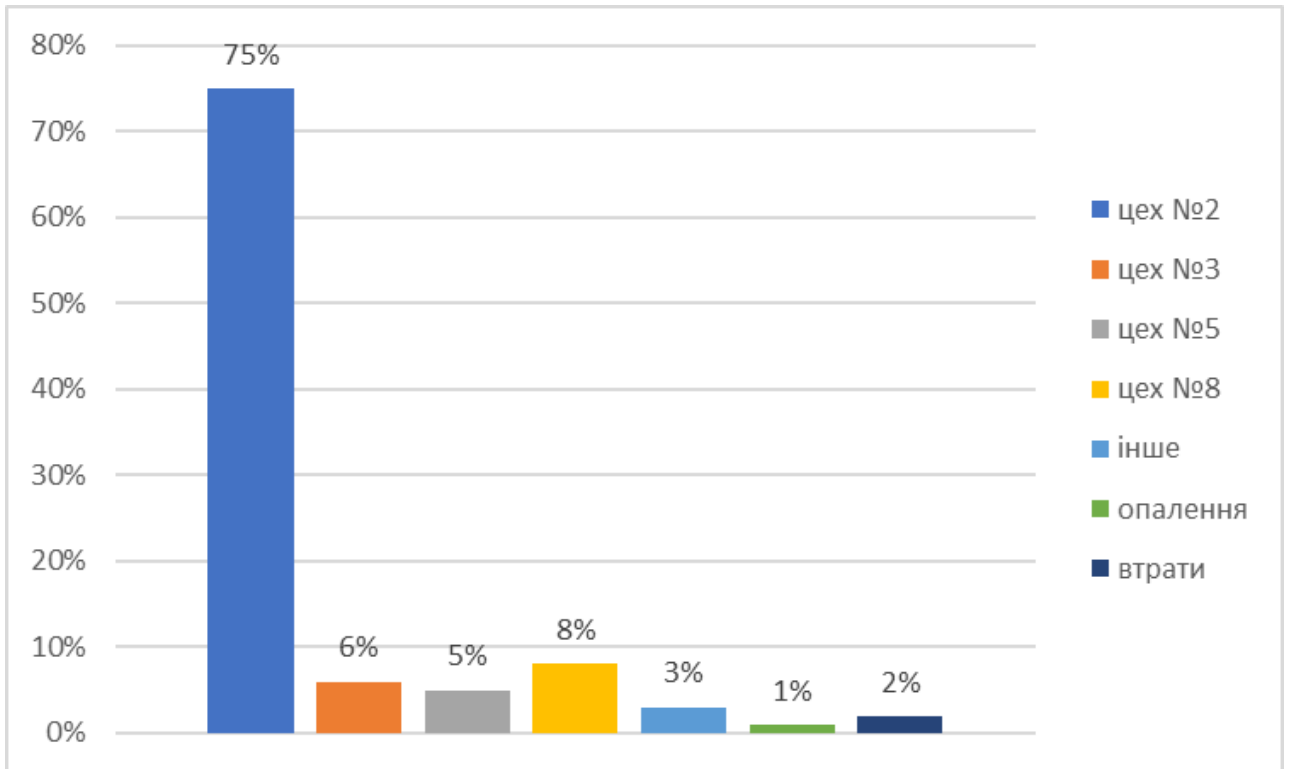


Рисунок 1.5 – Споживання електроенергії за підрозділами у 2020 р.

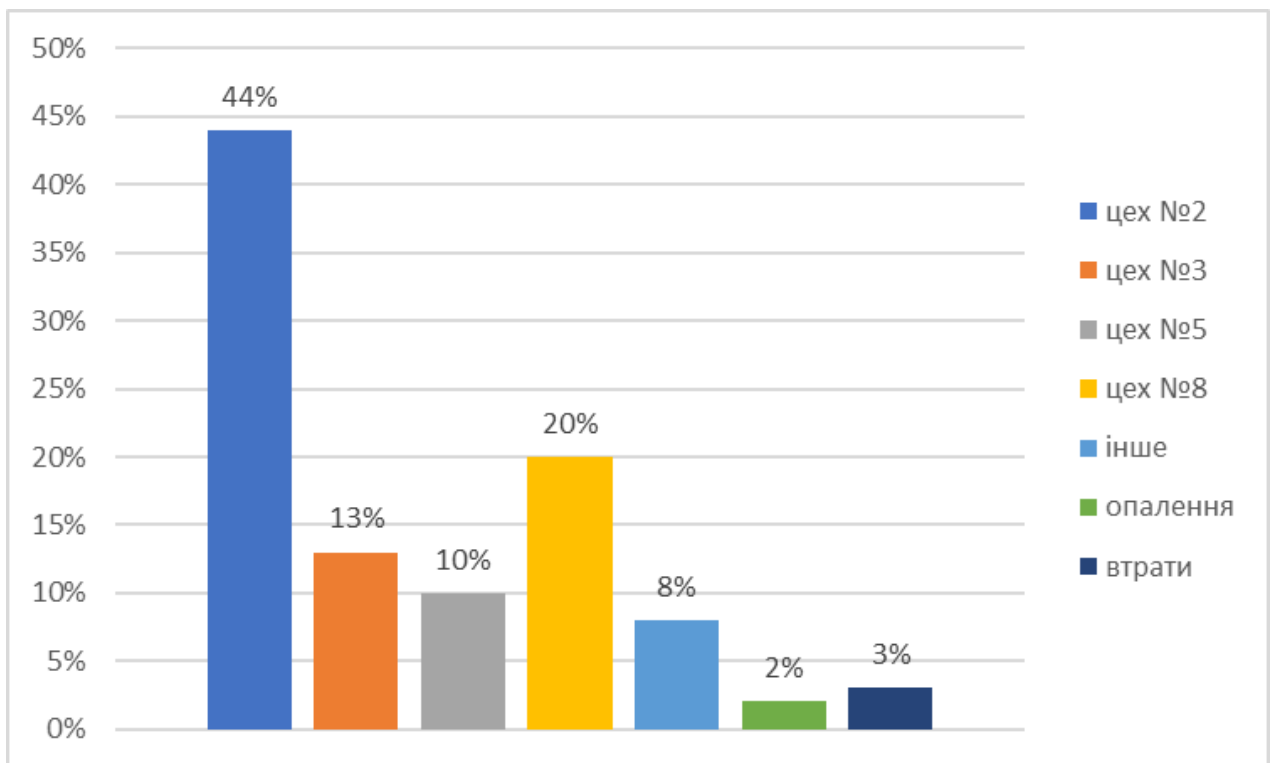


Рисунок 1.6 – Споживання електроенергії за підрозділами у 2021 р.

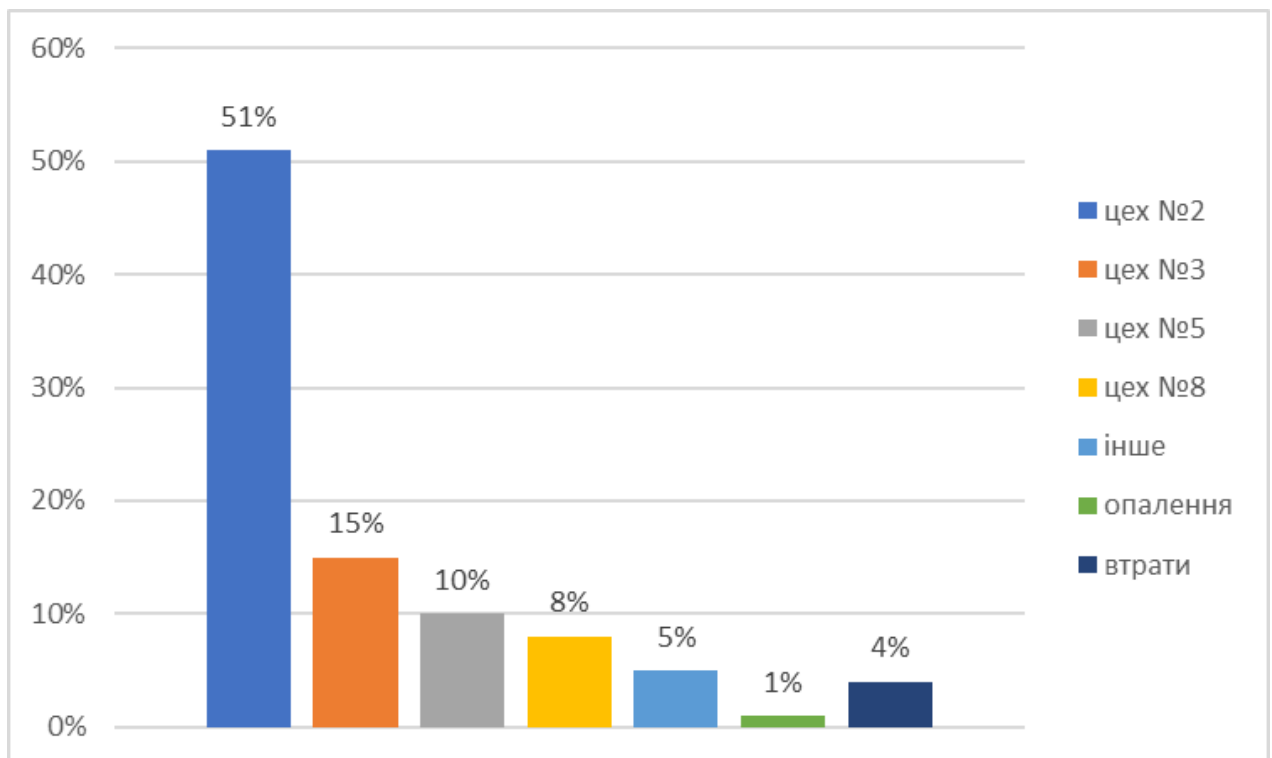


Рисунок 1.7 – Споживання електроенергії за підрозділами у 2018 р.

1.4 Споживання електричної енергії цехом №2

Проаналізував електроспоживання підприємства можна зробити висновок, що найбільш енергоємним об'єктом являється цех №2. Електрична схема живлення цеху представлена на рисунку А.1 у додатку А.

На виробництві 2/1 проводиться кальцинування антрациту для отримання термоантрацитів при високих температурах в умовах відсутності контакту з повітрям, що з точки зору нафтохімічних процесів являє собою процес піролізу твердого вуглецевого палива [9].

Загалом, основна ціль процесу відпалу антрациту для виробництва електродної продукції полягає у наступному:

- підвищити електропровідність вугілля;
- зробити його більш міцним, підвищити опір дробленню;
- добитися як можна більш істотної попередньої усадки вугілля для того, щоб при наступній термічній обробці вже готового електродного виробу,
- у склад якого входить пропечений антрацит, уникнути значних змін

розмірів окремих зерен термоантрациту;

– видалити звугілля основну масу легких летких речовин, щоб виключити спучування готового електродного виробу при його випалі;

– збільшити справжню та уявну щільність антрациту.

Нижче приведені діючі обладнання цеху №2 з його технічними параметрами.

Таблиця 1.7 – Характеристики обладнання цеху №2

Найменування	Кількість одиниць у цеху, шт	Номинальне споживання одиниці обладнання, кВт/год	Час роботи, год/добу	Коефіцієнт попиту	Коефіцієнт використання	Фактичне споживання кВт/год
1	2	3	4	5	6	7
Грохит 12-1	11	4	17	0,88	0,7	41,9
Дробарка 22-1	5	45	17	1,88	0,7	578,3
Елеватор стрічковий 52-1	36	15	17	0,41	0,7	73,2
Вентилятори В-4/15	12	3	19	1,1	0,8	50,2
Змішувальні машини	5	75	19	1	0,8	1 140,0
Електрообігрів контура	9	2,71	24	1	1	65
Конвеєр стрічковий	35	4	17	1	0,7	65,5
Насос пресу	18	5,5	19	0,92	0,8	1 048,0
Кран-балка	3	6,87	12	1	0,8	66,0
Таль електрична	6	8,37	19	1	0,8	104,4
Електрокальцинатор 1	1	1200	24	1,16	0,8	33 408,0
Електрокальцинатор 2	1	1200	24	1,1	0,8	31 680,0
Електрокальцинатор 3	1	1200	24	1,1	0,8	31 680,0
Електрокальцинатор 4	1	1200	24	1,1	0,8	31 680,0
Електрокальцинатор 5	1	1200	24	1,16	0,8	33 408,0
Електрокальцинатор 6	1	1200	24	1,16	0,8	33 408,0
Електрокальцинатор 7	1	1200	24	1,16	0,8	33 408,0
Водоохолоджуючий конвеєр	7	22	24	1,16	1	61,2

Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4	5	6	7
Водоохолоджуючий конвеєр	7	22	24	1,16	1	61,2
Нагрів диску тарілчастого живильника	1	45	24	1	1	1 080,0
Підігрів шихти	1	1144	19	1	0,8	17 388,0
Пекоплавитель	1	475	24	0,9	1	10 260,0

Проаналізував технічні характеристики обладнання, коефіцієнт використання та фактичне споживання електроенергії, можна визначити, яке обладнання є найбільш енергоємним.

Найбільш енерговитратне обладнання представлено у таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Основне енерговитратне обладнання цеху №2

Найменування	Кількість одиниць у цеху, шт	Фактичне споживання, кВт/год	Сумарне споживання кожного виду обладнання, кВт/год	Частка споживання електроенергії, %
Дробарка 22-1	5	578,3	2891,5	3,0
Елеватор стрічковий 52-1	36	73,2	2635,2	3,0
Змішувальні машини	5	1 140,0	5700	5,0
Електрообігрів контура	9	65	585	2,0
Конвеєр стрічковий	35	65,5	2292,5	1,0
Насос пресу	18	1 048,0	18864	6,0
Таль електрична	6	104,4	626,4	1,0
Електрокальцинатори	7	33 408,0	228672	78,58
Нагрів диску тарілчастого живильника	1	1 080,0	1 080,0	1,0
Підігрів шихти	1	17 388,0	17 388,0	1,0
Пекоплавитель	1	10 260,0	10 260,0	1,0

Діаграма споживання електроенергії обладнанням цеху №2 наведені на рисунку 1.8.

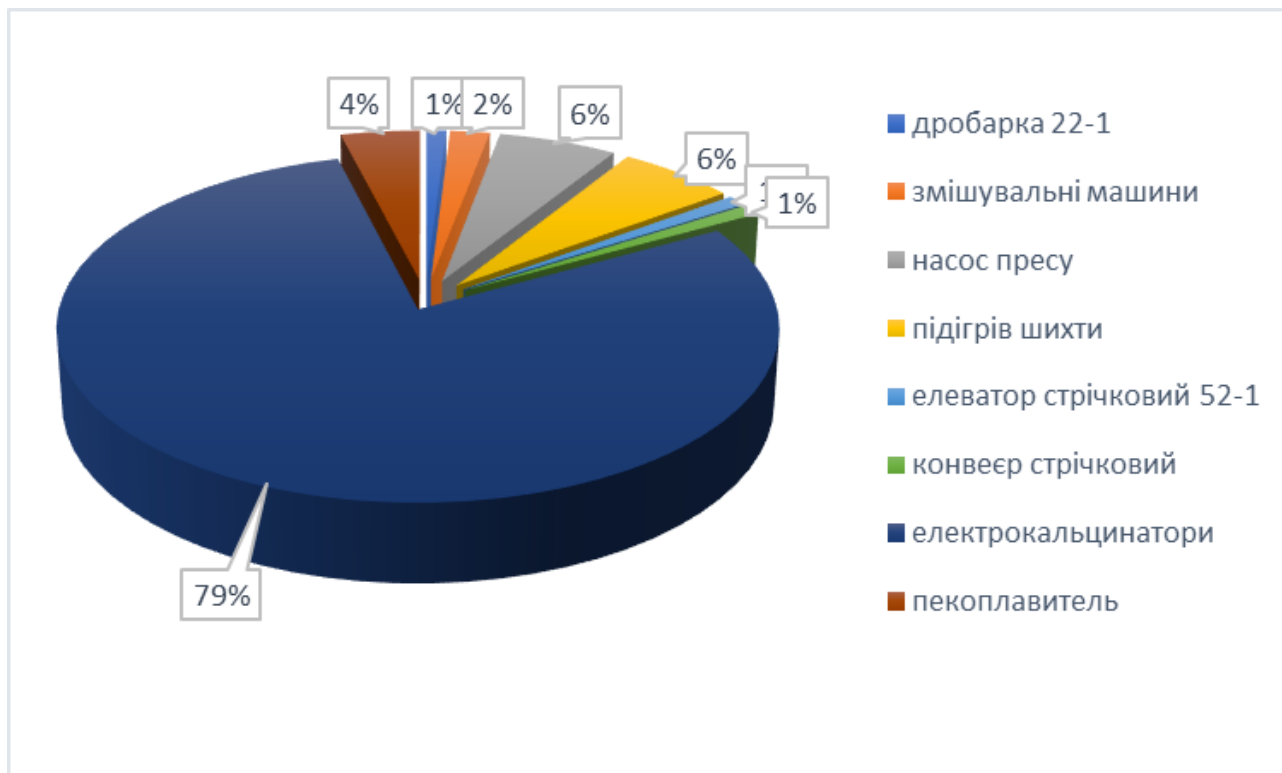


Рисунок 1.8 – Споживання електроенергії обладнанням цеху №2

Можна зробити висновок, що найбільш енергозатратним обладнанням є електрокальцинатори.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЕЛЕКТРОКАЛЬЦИНАТОРІВ

У свій час ці печі були спроектовані і виготовлені заводом «Сибелектротерм». Піч ІЕТ-10-УХЛ-4 (рисунок 2.1) являє собою електротермічний агрегат величезних розмірів.

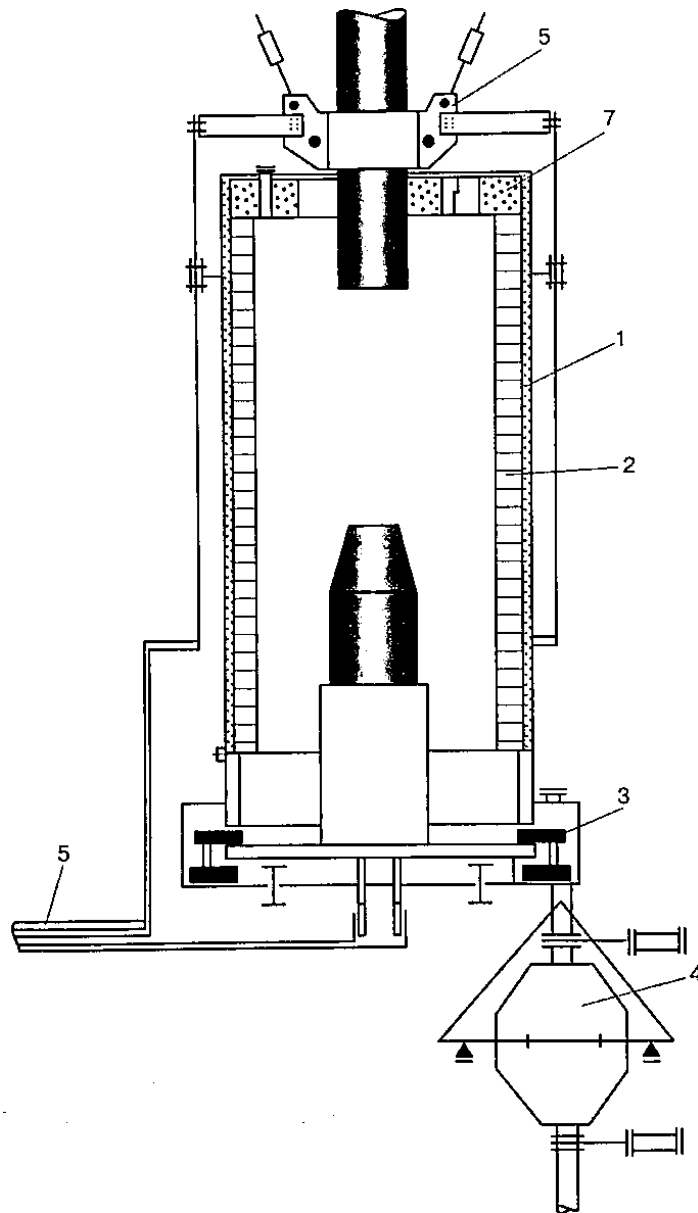


Рисунок 2.1 – Схема шахтної печі ІЕТ - 10 - УХЛ -4

Висота печі з допоміжними металоконструкціями досягає 18м. Встановлена електрична потужність однієї печі становить 1600 кВА [9]. Сила робочого струму печі, рекомендована заводом - виробником, не повинна

перевищувати 15 кА, але короткочасно вона може досягати 20 кА. Напруга на електродах печі 60..70 В. Таких печей в цеху сім. Це один з великих цехів заводу: будівля цеху, де розташовані ці печі, є найвищою промисловою спорудою м. Запоріжжя. Шахта печі представляє собою сталевий кожух 1 із зовнішнім діаметром 2300 мм. Внутрішня поверхня кожуха облицьована однорядною кладкою з вогнетривкої високоглиноземистої цегли 2, між цеглою і сталевим кожухом покладений шар мулітової вати. Діаметр футерованої шахти печі 1880..1900 мм, а висота власне шахти досягає 6м.

Електроди розташовані вертикально по осі печі. Верхній електрод діаметром 500мм виготовлений з високоякісного графітованого вуглецевого матеріалу, оскільки він працює в умовах досить високої щільності струму. Зазвичай в цьому випадку використовують електроди дугових сталеплавильних печей. Електрод підвішений на спеціальній пристрої, що дозволяє переміщувати його по вертикалі і тим самим змінювати міжелектродний проміжок печі в межах 1950..2350мм. Спеціальний механізм дозволяє також юстирувати електрод, встановлюючи його по осі печі. Струм до нього підводиться потужними мідними шинами. Нижній електрод з вуглеграфітового матеріалу діаметром 710 мм змонтований у подової частині шахти печі на сталевій обичайці, що водоохолоджується [10].

Верхня частина електрода конічна, Нижня – циліндрична. Коротка електромережа 5 печі у вигляді потужних мідних шин кріпиться зовні до кожуха печі на спеціальних ізоляторах. Корпус і металеві конструкції печі надійно заземлені. Колошник печі перекритий кришкою (пробкою) 7, що представляє собою сталевий каркас, заповнений жаротривким бетоном. На кришці колошника змонтована воронка для завантаження печі «сирим» антрацитом. Воронка і механізм завантаження печі електрично ізольовані від заземлених металоконструкцій печі, щоб виключити небезпеку перекидання по безрозривному потоку термоантрациту частини струму з верхнього електрода на «землю» при першому запуску печі після її зупинки. На кришці змонтований також патрубок для виходу з печі гарячих колошникових газів,

обладнаний шибером для регулювання потоку відхідних газів і термопарою для вимірювання їх температури.

У нижній частині кожуха печі розташовується механізм вивантаження 3 готового продукту – термоантрацитів, що представляє собою досить складний пристрій з водоохолоджуваним жолобом і дозатором 4, який автоматично підтримує встановлену оператором масу одноразової дози вивантаження термоантрациту і часовий інтервал між циклами вивантаження кожної порції. Управління піччю хоча і ведеться з головного пульта електрокальцинатора, але обмежена регулюванням лише струмового навантаження. В процесі прожарювання вугілля значення сили струму незалишається постійним, а, як правило, коливається після завантаження порції «сирого» антрациту в піч. Через збільшення електричного опору вугільної шихти в міжелектродному проміжку сила струму знижується, а напруга на електродах зростає. Через деякий час, протягом якого вугілля свіжої порції прогріється газами, відходять з печі, і набуває в результаті цього деяку електропровідність, електричний опір шихти на колошніку печі падає, а напруга короткої мережі відновлюється. Значення сили струму при цьому підвищується до попередніх показників. Така циклічність електричної напруги і сили струму є нормальною і свідчить про рівний хід процесу нагріву «сирого» антрациту в електрокальцинаторі [11].

Продуктивність печі встановлюють за завданням технолога цеху. По суті, це маса дози готового термоантрациту, яка вивантажується з печі автоматично кожні п'ять хвилин. Оператор печі при випалі вугілля не втручається в автоматичний процес.

Запуск печі в роботу проводиться на електропровідному вугіллі. Це або термоантрацит, отриманий в якій-небудь газової печі, або термоантрацит попереднього прожарювання в тому ж електрокальцинаторі. Піч працює у безперервному режимі: кожній порції вивантаженого з печі готового термоантрациту – відповідає майже одночасне завантаження такої ж кількості «сирого» вугілля, так що і печі завжди знаходиться практично постійна маса

вугілля. Маса кожної порції вивантаження чи, інакше, доза вивантаження термоантрациту коливається від декількох десятків кілограмів до 160 кг.

Принципово можливий безперервний режим завантаження і вивантаження вугілля з печі. Практично таким режимом не користуються, так як при цьому спостерігався б інтенсивне підсмоктування повітря в піч через постійно відкритий механізм вивантаження, що призводить до підвищеного угару термоантрациту [12].

Максимальна продуктивність печі згідно з проектом становить 2 т/год. Однак у процесі експлуатації печі з'ясувалося: щоб ПЕО (питомий електричний опір) одержуваного термоантрациту не виходило за межі вимог стандарту (ДСТУ 3408-96), годинна продуктивність печі повинна бути істотно знижена, і ні в якому разі не повинна перевищити 1 т/год. Найчастіше це 0,60..0,84 т/год. Регулювання продуктивності печі здійснюється автоматично шляхом установки масової дози вивантаження готового термоантрациту через кожні 5 хвилин.

Недоліком як заводських електрокальцинаторів конструкції «Сибелектротерм», так і усіх існуючих шахтних печей для прожарювання антрациту з вертикальним розташуванням електродів, є надмірна неоднорідність термоантрациту готової продукції печі. Говорячи про неоднорідність термоантрацитів, мається на увазі питомий електроопір термоантрациту окремих проб вугілля, що відбираються через годину або дві в процесі роботи електрокальцинатора. Значення ПЕО відрізняються один від одного мало не вдвічі. Істотно коливається також міцність термоантрациту на дробіння [12]. Такий термоантрацит непригідний для виготовлення на його основі катодних блоків алюмінієвих електролізерів одного з основних видів продукції заводу.

Щоб отримати в печі термоантрацит прийнятної якості, доводиться піддавати вугілля подвійному прожарюванню. Це призводить до перевитрати електроенергії і трудовитрат, до зниження продуктивності діяльності печі і інших техніко-економічних показників роботи потужного електротермічного

агрегату.

Питома витрата електроенергії, яка закладена в проектні дані печі, складає 1100 кВт·год/т, фактично ж при двоцикловій роботі печі навіть на половинній потужності витрата електроенергії становить 1400..1500 кВт·год/т.

У зв'язку з цим, другим недоліком зазначеної печі є висока питома витрата електроенергії на виробництво такого кальцинованого антрациту, властивості якого задовольняли б вимогам державного стандарту.

Третій, основний, недолік зазначених печей – низька стійкість вогнетривкої футеровки, через що утворюються неоднорідності температурного та електричних полів печі, що призводить до перевитрати електроенергії.

Перераховані вище недоліки роботи електрокальцинаторів роблять ці печі для ПрАТ «Український графіт» енергетично збитковими. Щоб отримати в цих печах термоантрацит прийнятної якості ($\rho < 100$ мкОм·м) завод змушений двічі обробляти один і той же антрацит. Хоча це і виконується на половинній потужності печі, питома витрата електроенергії все ж досить висока і досягає 1450..1500 кВт·год/т і більше [13].

Електрокальцинування вуглевмісткого матеріалу полягає в його нагріві до певного рівня температур за рахунок теплоти джоуля, що виділяється при безпосередньому проходженні електричного струму через матеріал, що графітує. Час прожарювання матеріалу залежить від рівня температур високотемпературної зони, який залежить від електричної потужності печі. Тому швидкість подачі матеріалу в шахту електрокальцинатора і, відповідно, частота і маса дози його вивантаження (завантаження) визначається розмірами високотемпературної зони і часом прожарювання.

На практиці, час знаходження оброблюваного матеріалу в зоні прожарювання регулюється продуктивністю механізму розвантаження, а рівень температур в зоні прожарювання – рівнем електричної потужності, що підводиться до електрокальцинатора [13]. Мінімальний рівень температур в

зоні прожарювання визначає якісні характеристики вивантажувального матеріалу:

- понад 1300 °С – видалення летких з матеріалу (рядові електрокальцинатори);

- понад 1700 °С – видалення сірки з матеріалу;

- понад 2200 °С – часткова або повна графітизація матеріалу.

Відповідно, для ефективного впровадження технології здобуття в електрокальцинаторі графітованого наповнювача електродних виробів необхідно створити конструкцію електропечі, що дозволяє на шляху руху оброблюваного матеріалу сформувати зону прожарювання з рівнем температур не нижче 2200 °С. Необхідний рівень температури прожарювання матеріалу визначається шляхом лабораторних досліджень і залежить в фізичних властивостей матеріалу і його гранулометричного складу [14].

При створенні електрокальцинатора з конструкцією, що задовольняє вказаним вимогам необхідно вирішити наступні завдання, направлені на [15]:

- зменшення нерівномірності електричного, і, як наслідок цього, температурного поля в горизонтальних перерізах електрокальцинатора. Головною причиною такої нерівномірності полів є неоднорідність завантаженого в шахту матеріалу і його сегрегації при надходженні в приймальну воронку;

- створення надійної системи управління електроживлення кальцинатора, що забезпечує мінімізацію нерівномірності в розподілі електричного струму в матеріалі, що графітує;

- забезпечення однакової швидкості проходження частками матеріалу зони прожарювання в незалежності від їх геометричних розмірів;

- вирішення проблеми вигорання вогнетривкого неелектропровідного футерування в зоні її контакту з вогнетривким електропровідним футеруванням (у промисловості практично відсутні доступні вогнетривкі неелектропровідні матеріали з температурою застосування понад 1850°С);

- усунення нестабільності електричних характеристик процесу

електрокальцинування, пов'язаної з дискретністю роботи механізму завантаження/вивантаження.

Для вирішення поставлених завдань приведені конструкції електрокальцинаторів для прожарювання нафтового коксу.

Вертикальна піч з індукційним нагрівом для безперервної високотемпературної обробки матеріалу (рисунок 2.2) [16].

Переваги конструкції :

– в пристрої, за допомогою застосування осьового завантаження матеріалу, вирішено питання з неоднорідністю розподілу електричного і теплового навантаження по горизонтальних перерізах печі;

– вирішено питання з різною швидкістю проходження часток матеріалу через високотемпературну зону прожарювання;

– висока енергоефективність установки забезпечується за рахунок регенерації теплоти матеріалу того, що вийшов із зони прожарювання;

– можливість контролю рівня температури процесу оптичними методами.

Недоліки конструкції :

– застосування в установці складного і дорогого пристрою;

– індуктора, що має нижчий ККД в порівнянні з прямим нагрівом;

– швидке прогорання вогнетривкої футеровки;

– складність при вирішенні питання футерування камери нагріву.

Імовірно, камера футерується вугільними плитами, проте в цьому випадку необхідно вирішити питання з проміжним шаром теплоізоляції між вугільними плитами і індуктором.

Електрокальцинатор з двома потоками матеріалу (рисунок 2.3).

Переваги конструкції [16]:

– Вирішено питання із захистом вогнетривкого футерування електрокальцинатора;

– Відсутня електропровідна вогнетривка частина футерування електрокальцинатора.

Недоліки конструкції:

– не вирішено питання з нерівномірністю електричного і теплового поля по горизонтальних перерізах електрокальцинатора;

– не вирішено питання з різною швидкістю проходження часток матеріалу через зону прожарювання.

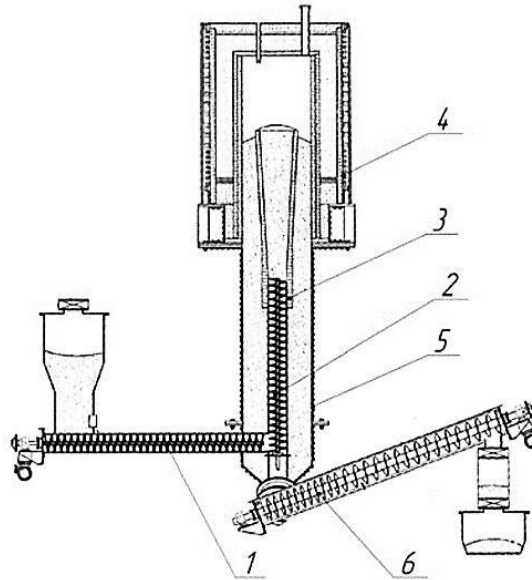


Рисунок 2.2 – Вертикальна піч з індукційним нагрівом для безперервної високотемпературної обробки матеріалу:

1 – шнек подання матеріалу; 2 – вертикальний шнек подання матеріалу; 3 – нагнітальне сопло; 4 – індуктивний нагрівач; 5 – охолоджувана стінка

Електрокальцинатор з нижнім електродом у вигляді змішувача(рисунок 2.4).

Переваги конструкції:

– вирішено питання з нерівномірністю електричного і теплового поля по горизонтальних перерізах електрокальцинатора за рахунок застосування осьового завантаження і перемішування матеріалу, що графітує;

– відсутність необхідності створення по усьому горизонтальному перерізу зони прожарювання ділянки температур понад 2200 °С.

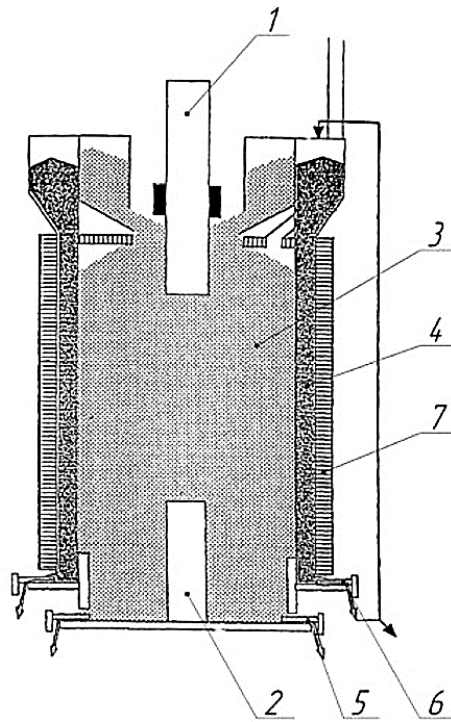


Рисунок 2.3 – Електрокальцинатор з двома потоками матеріалу:

1 – верхній електрод; 2 – нижній електрод; 3 – центральна шахта; 4 – бічна шахта; 5 – центральне вивантаження матеріалу; 6 – бічне вивантаження матеріалу; 7 – футерування

Електрокальцинатор з горизонтальним кільцевим розташуванням електродів, що поперемінно включаються (рисунок 2.5).

Переваги конструкції:

– вирішено питання з нерівномірністю електричного і теплового поля по горизонтальному перерізу електрокальцинатора;

Недоліки конструкції :

- наявність в конструкції складного конструкційного елемента;
- релейний комутатор на високу силу струму;
- необхідність створення по усьому горизонтальному перерізу зони прожарювання ділянки температур понад 2200°C;
- не вирішено питання із захистом вогнетривкого неелектропровідного футерування від високих температур;
- не вирішено питання з різною швидкістю проходження часток матеріалу через зону прожарювання.

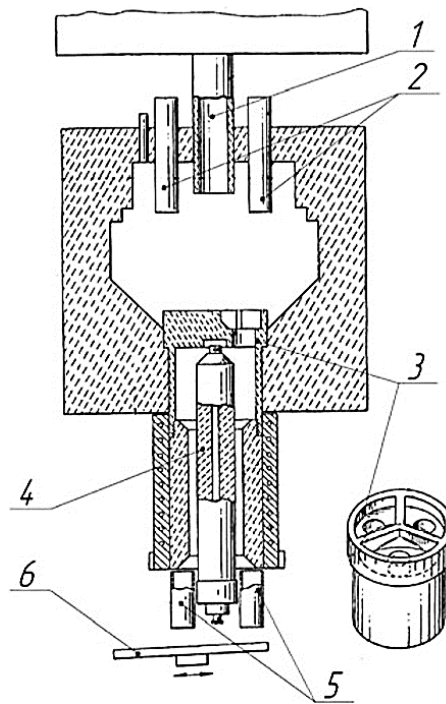


Рисунок 2.4 – Електрокальцинатор з нижнім електродом у вигляді змішувача:

1 – вхід матеріалу; 2 – електроди; 3 – змішувач-електрод; 4 – нерухомий циліндр з вогнетривкого матеріалу; 5 – вихід матеріалу; 6 – конвеєр

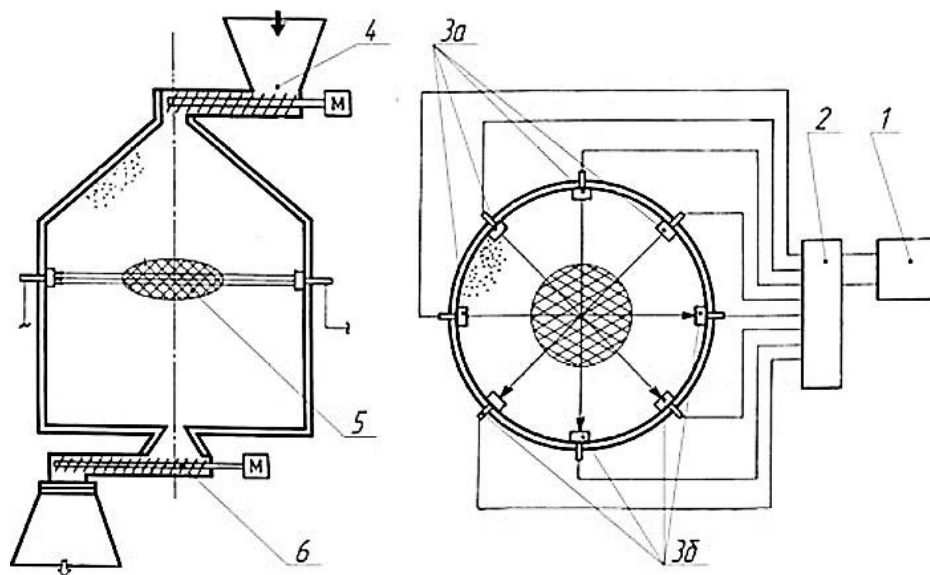


Рисунок 2.5 – Електрокальцинатор з горизонтальним кільцевим розташуванням електродів, що поперемінно включаються:

1 – живлячий трансформатор; 2 – релейний комутатор; 3 – пари електродів; 4 – подання матеріалу; 5 – зона графітування; 6 – вивантаження матеріалу

Електрокальцинатор з примусовим поданням в зону прожарювання інертного газу для утворення псевдозрідженого шару з метою поліпшення перемішування матеріалу (рисунок 2.6) [17].

Переваги конструкції:

- вирішено питання з нерівномірністю електричного і теплового поля по горизонтальних перерізах електрокальцинатора за рахунок перемішування в псевдозрідженому шарі;
- вирішено питання з різною швидкістю проходження часток матеріалу через зону прожарювання;
- наявність розігрівання матеріалу шляхом його сходу.

Недоліки конструкції:

- складність реалізації конструкції. Наявність складного конструкційного елемента;
- трубчастий електрод з системою газопідведення;
- необхідність в поданні інертного газу;
- складність при вирішенні питання футерування трубчастого електроду;
- підвищені вимоги до живлячого агрегату, із-за великої площі робочої поверхні трубчастого і осьового електродів.

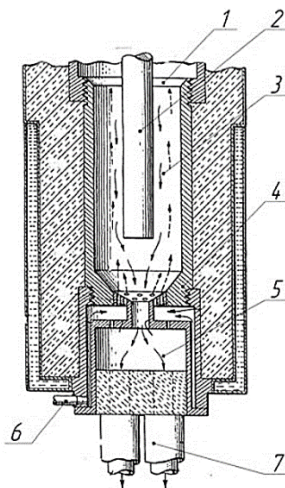


Рисунок 2.6 – Електрокальцинатор з примусовим поданням в зону прожарювання інертного газу:

- 1 – подання матеріалу; 2 – електрод; 3 – зона нагріву; 4 – трубчастий електрод; 5 – зона охолодження; 6 – подання газу; 7 – вивантаження матеріалу

Як видно з розглянутих видів – варіанти технічних рішень в конструкціях електрокальцинатора різноманітні і мають як переваги, так і істотні недоліки. Жодна з приведених конструкцій електропечей не є оптимальною. Тому подальший напрям робіт з цієї проблеми може бути наступним: створення конструкції електрокальцинатора, в якій мінімізовані усі відмічені недоліки розглянутих конструкцій; математичне моделювання фізичних полів нової конструкції з метою перевірки правильності прийнятих технічних рішень, відробітки режимних параметрів і при необхідності внесення конструктивних змін; створення промислової установки і проведення натурних експериментальних досліджень з метою перевірки реалізації проектних рішень [18].

3 АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОКАЛЬЦИНАТОРА

3.1 Розробка чисельної моделі

Основою технологічного процесу безпосереднього нагріву наповнювача в електрокальцинаторі є фізичний процес виділення джоулевої теплоти при протіканні змінного струму через наповнювач. Тепловий процес нагріву коксу супроводжується розсіюванням теплоти, що виділяється через конструкційні елементи печі в навколишнє середовище [19].

Математичним описом тепло-електричних полів в електрокальцинаторі є система диференціальних рівнянь теорії поля. Дана система рівнянь включає в себе нестационарне нелінійне неоднорідне рівняння теплопровідності і квазістационарне нелінійне рівняння безвихрового поля електричного потенціалу. Для замикання системи записуються відповідні початкові і граничні умови (Дирихле, Неймана і Фур'є) [20]:

$$\begin{cases} \frac{\partial H}{\partial \tau} = \nabla[\lambda(T)\nabla T] + \frac{1}{\gamma(T)}|\nabla u|^2, \tau > 0 \\ \nabla\left[\frac{1}{\tau}\nabla u\right] = 0, \\ H = \int_0^{\tau} c_p^*(T)\rho^*(T)dT, \\ q = -\lambda(T)\nabla T, \quad i = -\frac{1}{\gamma(T)}\nabla u \end{cases}$$

де H – ентальпія, Дж/м³;

c_p^* – питома ізобарна теплоємність, в якій для матеріалів, що містять вологу, врахована теплоємність води і теплота пароутворення шляхом введення температурного інтервалу згладжування, Дж/(кг К);

T – температура, К;

u – електричний потенціал, В;

q – щільність теплового потоку, Вт/м²;

i – щільність електричного струму, А/м².

Ентальпійна форма запису рівняння теплопровідності використовується для ефективного обліку вмісту вологи в сировині без вологи визначається за формулою [21]:

$$c_p^* = \underline{c_p}, \rho^* = \rho \quad \text{та} \quad H = \int_0^T c_p(T) \rho(T) dT$$

Перевага ентальпійного формулювання полягає в можливості використання найбільш простий і стійкою схеми наскрізного рахунку.

Початкові умови:

$$T = T(x, y, z),$$

Для поля електричного потенціалу початкові умови не задаються.

Граничні умови для рівняння теплопровідності при $x = 0$:

1) на межі системи з навколишнім середовищем (умова Фур'є) [22]:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha (T_{oc} - T_n)$$

де n – нормаль до поверхні (межі);

T – ефективний коефіцієнт тепловіддачі від поверхні (межі) до середовища, Вт/(м К);

T_{oc} – температура навколишнього середовища, К;

T_n – температура поверхні, К.

Граничні умови для рівняння електричного потенціалу при $y = 0$.

Для електрокальцинатора на верхньому торці верхнього електрода задається чинна електрична напруга (умова Діріхле):

$$u_{\text{верх.ел.}} = u_{\partial}(\tau) \cdot \cos\varphi,$$

тому при змінному струмі активна електрична потужність, що йде на нагрів антрациту, дорівнює:

$$P_a = u_{\partial} I_{\partial} \cos \varphi.$$

На нижньому торці нижнього електрода задається нульовий потенціал (умова Діріхле):

$$u_{\text{нижн.ел}} = 0,$$

а на інших поверхнях умова відсутності протікання струму (умова Неймана):

$$\frac{\partial u}{\partial n} = 0.$$

Постановка (3.1) – (3.6) дозволяє організувати наскрізний розрахунок тепло-електричних полів в електрокальцинаторі і застосувати для цього стандартне програмне забезпечення.

Розроблена чисельна модель електрокальцинатора для виконання розрахунків тепло-електричних полів [23]. До особливостей цієї моделі відноситься наступне:

- для обліку просідаючого матеріалу, що обумовлено вивантаженням наповнювача, розроблений оригінальний алгоритм, що імітує цей ефект;
- для обліку високоінтенсивного віднесення теплоти з кальцинатора з газами, що відходять, у високотемпературну зону (зону прожарювання) введено відповідне негативне джерело теплоти;

– для обліку ефекту теплоперенесення газами, що відходять, в моделі використовувалася ефективна теплопровідність антрациту (у 3-5 разів більше за істинну).

В процесі розробки чисельної моделі було виконано:

– побудова за допомогою сучасних комп'ютерних технологій 2d геометрії електрокальцинатора;

– підбір фізичних властивостей конструкційних матеріалів кальцинатора;

– визначення граничних умов для рівнянь теплопровідності і електричного потенціалу;

– розробка макросів для виконання автоматизованого розрахунку нестационарних температурних і квазістационарних електричних полів в електрокальцинаторі без і з урахуванням просідаючого антрациту.

Розроблені макроси включають наступні етапи:

– побудова геометрії кальцинатора, виділення областей з однаковими властивостями для завдання фізичних властивостей матеріалів;

– виділення ліній для завдання граничних умов;

– завдання на проведення розрахунків і запис результатів розрахунків із заданим інтервалом часу за заданими параметрами (час, напруга, сила струму, потужність, середня, мінімальна і максимальна температура і темп нагріву антрациту, температури характерних точок для зіставлення з натурним експериментом і так далі) [23].

Геометричні характеристики і розрахункова сітка вищеописаної чисельної моделі представлені на рисунку 3.1.

До початкових даних чисельної моделі відносяться: геометрія, фізичні властивості матеріалів, електричні параметри. Графік зміни напруги приведено на рисунку 3.2. Графік режиму вивантаження показано на рисунку 3.3.

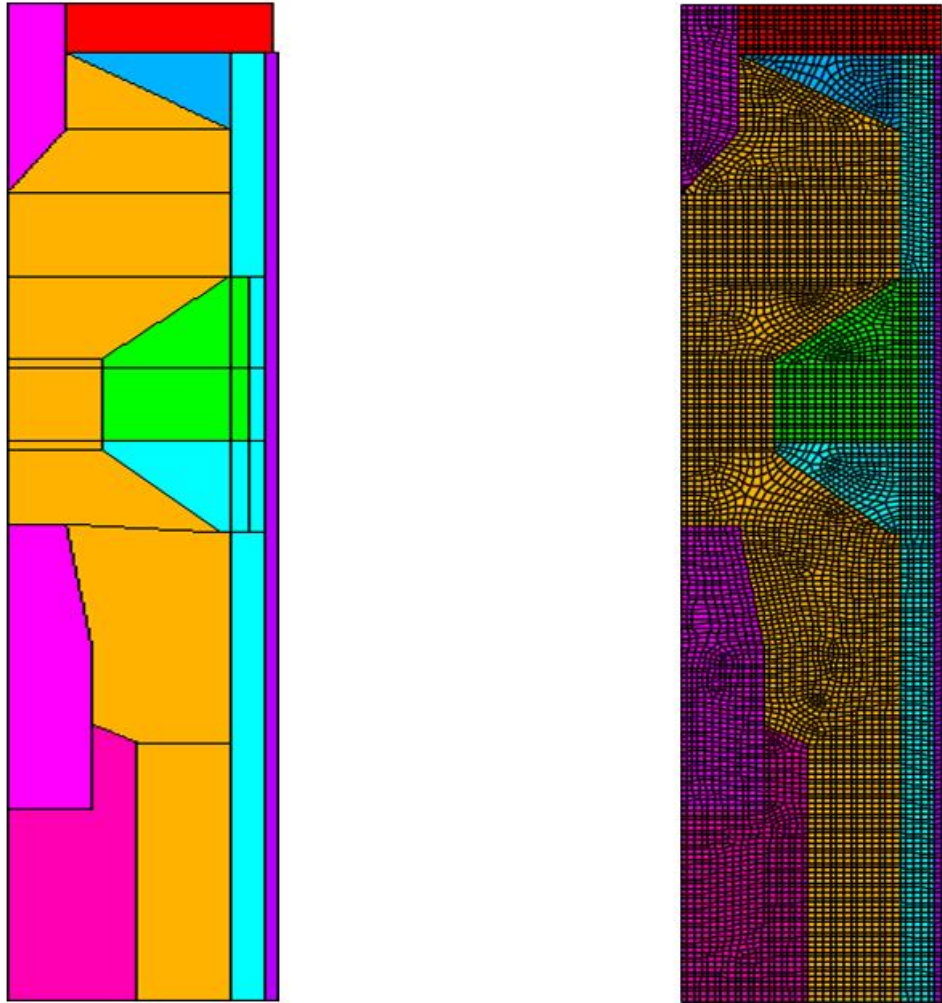


Рисунок 3.1 – Геометричні характеристики чисельної тепло-електричної моделі електрокальцилятора

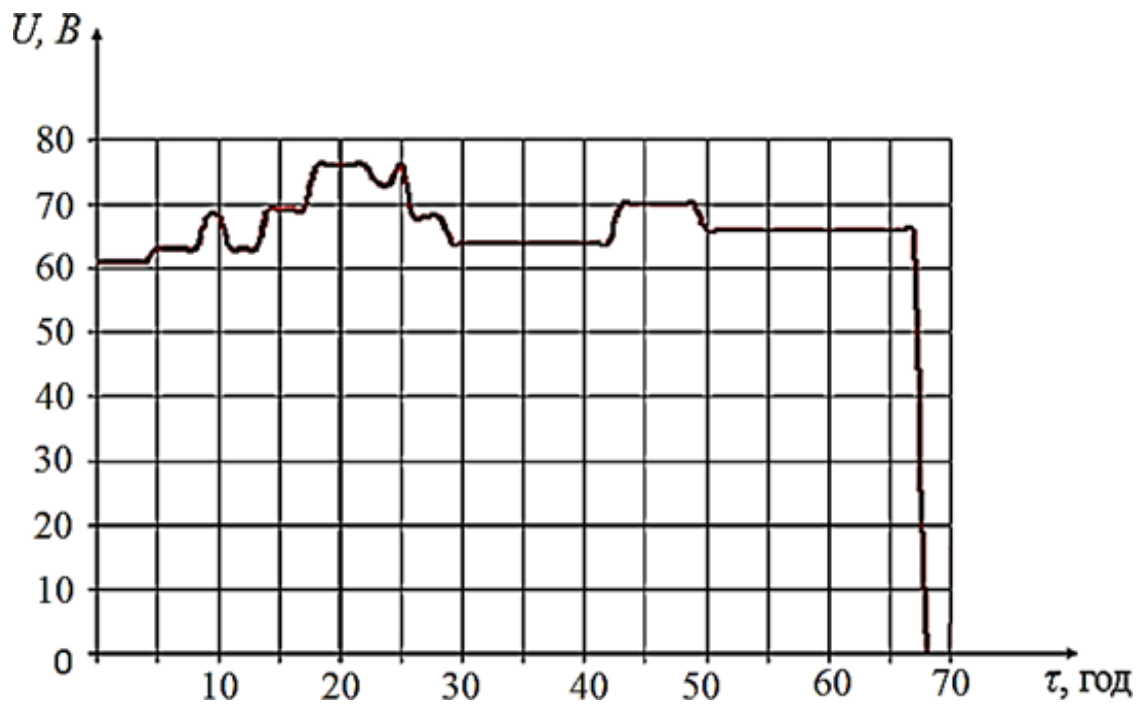


Рисунок 3.2 – Графік зміни напруги змінного струму

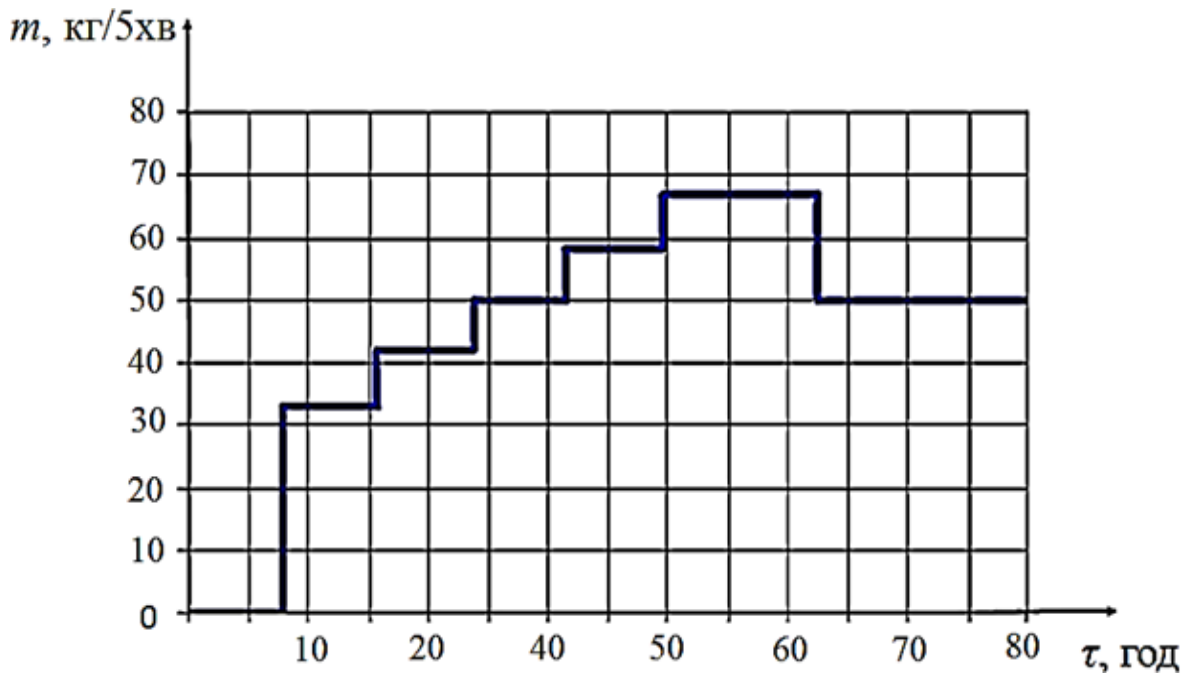


Рисунок 3.3 – Режим вивантаження коксу

3.2 Модернізація електрокальцинатора для зменшення енерговикористання

В температурному режимі роботи електрокальцинатора діючої конструкції наявні ряд її недоліків щодо нагрівання оброблюваного матеріалу до температур понад 2200 °С, а саме [24]:

- перегрів бічної вогнетривкої футеровки в зоні її контакту з нижньої вугільної частиною дросель шайби;
- перегрів кожуха електрокальцинатора від верху дросель шайби і до низу електрокальцинатора;
- перегрів вогнетривкої верхньої частини дросель шайби і бічний вогнетривкої футеровки над нею;
- недостатнім перекриттям зоною температур понад 2200 °С поперечного перерізу шляхи проходження матеріалу.

Основним недоліком являється те, що рівень температур в зоні прожарювання регулюється рівнем електричної потужності, що підводиться до електрокальцинатора. При перегріві футерування та окремих шарів матеріалу призводить до надмірного введення електричної енергії в піч, що є

енергозбитковістю даного переділу виробництва [25].

Відповідно до вищезазначеного сформовані вимоги до модернізації конструкції електрокальцинатора, які наводяться нижче.

Захист бічного вогнетривкого футерування використовує:

- вугільний захист товщиною 150 мм;
- шар сажі володіє низькою тепло-і електропровідністю товщиною 50 і 100мм;
- водоохолоджувальну обічайку низу електрокальцинатора;
- вермікулітову плиту.

При розробці модернізації конструкції чинного електрокальцинатора дозволяє проводити нагрівання оброблюваного матеріалу до температур понад 2200 °С і його витримку при цій температурі. Розроблені варіанти представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Варіанти можливих модернізацій

№	Опис варіанту
Варіант 1	діюча конструкція електрокальцинатора із захистом бічній вогнетривкої футеровки і зміненою формою нижнього електрода (рисунок Б.1).
Варіант 2	дросель шайба без центральної горловини із захистом бічній вогнетривкої футеровки і зміненою формою нижнього електрода (рисунок Б.3).
Варіант 3	дросель-шайба без центральної горловини зі зменшеним внутрішнім діаметром, захистом бічної футеровки і зміненою формою нижнього електрода (рисунок Б.5).
Варіант 4	без дросель шайби і з захистом бічної вогнетривкої футеровки (рисунок Б.7).
Варіант 5	дросель шайба з токопідводами, без нижнього електрода і захистом бічній вогнетривкої футеровки (рисунок Б.9).

Температурні поля в електрокальцинаторі на 100 годині роботи для варіантів 1-5 показана на рисунках Б.2, Б.4, Б.6, Б.8, Б.10 у додатку Б.

У таблиці 3.2 наведені розрахункові робочі характеристики кальцинаторів при різних варіантів модернізації [25]. При розрахунку температурних полів задається безперервна вивантаження по 30 кг в 5 хвилин, а електричний режим розраховується чисельною моделлю автоматично для забезпечення маси оброблюваного матеріалу нагрітого понад температури 2200 °С рівній 480 кг (1 год 20 хв безперервних вивантажень). Відстань від верхнього токопідвода до вугільної частини дросель шайби встановлюється близьким для всіх конструкцій з дросель шайбою.

Таблиця 3.2 – Робочі характеристики кальцинаторів при різних варіантах модернізації

	Максимальна температура зовнішньої поверхні кожуха, °С	Середня температура вихідного матеріалу, °С	Максимальна температура матеріалу, °С	Напруга робочого режиму, В	Сила струму робочого режиму, кА	Активна потужність робочого режиму, кВт
Варіант 1	243	973	3300	75	8	600
Варіант 2	245	950	3200	73	8,9	650
Варіант 3	248	940	3183	77	8,1	624
Варіант 4	152	870	3500	63,75	8,7	555
Варіант 5	600	868	3070	74,75	8,5	635

З наведених вище даних видно, що:

– всі запропоновані модернізації характеризуються руйнуванням вогнетривкої верхньої частини дросель шайби, а у варіанті 1 – частини основи нижнього електрода. Найбільш небезпечне руйнування вогнетривкого матеріалу у варіанті 4, так як може привести до обвалу футерування верху електрокальцинатора;

– варіанти 1, 2, 4 – не забезпечують перекриття шляху сходження оброблюваного матеріалу областю температур понад 2200 °С. Найменша на горизонтальному перерізі область температур понад 2200 °С належить варіанту 4;

– всі варіанти, за винятком 5, характеризуються температурою вихідного матеріалу 870...970 °С і температурою зовнішньої поверхні металевого кожуха до 300 °С;

– висока температура зовнішньої поверхні металевого кожуха у варіанті 5 пояснюється наявністю в чисельній моделі прямого контакту струмопідводу і кожуха;

– найменші витрати потужності для підтримки в матеріалі масою 480 кг температури понад 2200 °С у варіанті 5, що пояснюється відсутністю масивної дросель шайби з великою теплоємністю, цим же фактом пояснюється і найменша температура матеріалу на виході [26].

Зі сказаного вище очевидно, що найбільший інтерес представляють варіанти 3 і 5, так як забезпечують повне перекриття шляху сходження матеріалу областю температур понад 2200 °С. Тому подальшу модернізацію проводили саме для цих варіантів:

– для модернізації 3 – розроблена додаткова модифікація дросель шайби – облицювання верхньої частини нерухомим шаром вогнетривкого матеріалу, а нижньої – вугільним футеруванням, зменшено міжелектродну відстань, збільшена до 610 кг необхідна маса матеріалу нагрітого понад 2200 °С (модернізація 6). Схема модернізованої конструкції представлена на рисунку 3.4, температурне поле в електрокальцинаторі при експериментальному запуску на 100 годині роботи показано на рисунку 3.5.

– змінена висота вугільної захисної футеровки, зменшено міжелектродне відстань, збільшена до 610 кг необхідна маса матеріалу нагрітого понад 2200 °С (модернізація 7). Схема модернізованої конструкції представлена на рисунку 3.6, температурне поле в електрокальцинаторі при експериментальному запуску на 100 годині роботи показано на рисунку 3.7.

Розрахункові робочі характеристики модернізованих варіантів 3 і 5 представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахункові робочі характеристики модернізованих електрокальцинаторів

	Максимальна температура зовнішньої поверхні	Середня температура вихідного матеріалу, °С	Максимальна температура матеріалу, °С	Напруга робочого режиму, В	Сила струму робочого режиму, кА	Активна потужність робочого режиму,
Модернізація 6	240	1245	2950	50	12,5	625
Модернізація 7	141,6	928	3490	38	15,8	600,4

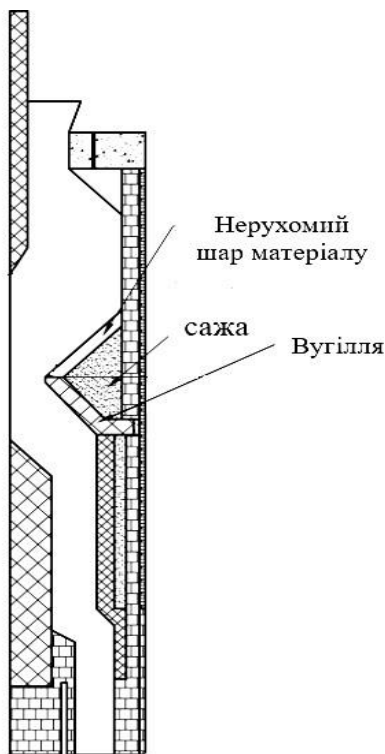


Рисунок 3.4 – Схема конструкції для модернізації 6

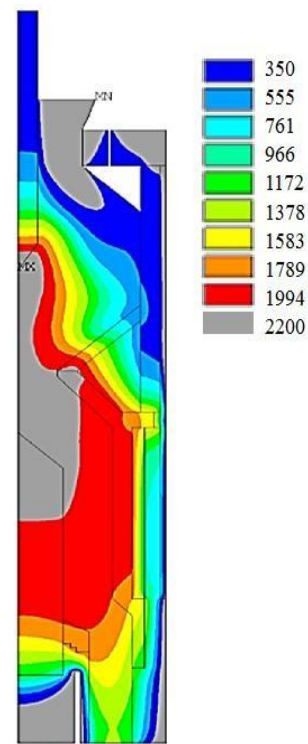


Рисунок 3.5 – Температурне поле на 100 год (модернізація 6)

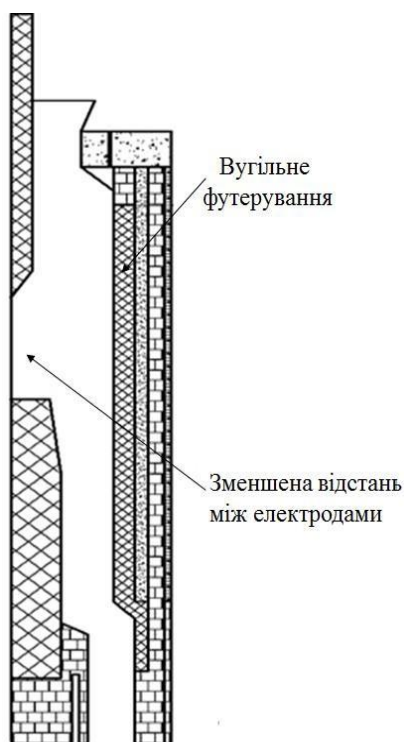


Рисунок 3.6 – Схема конструкції для модернізації 7

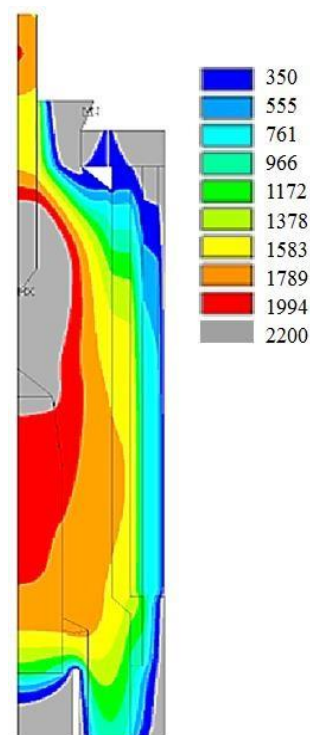


Рисунок 3.7 – Температурне поле на 100 год (модернізація 7)

З наведених на рисунках даних видно, що внесені зміни в конструкції дозволяють уникнути руйнування бічної вогнетривкої футеровки і розширити область високих температур, однак при цьому:

- для модернізації 7 – стала неприпустимо високою температура верхнього електрода – його зовнішньої частини;
- модернізація 7 як і раніше не забезпечує перекриття шляху сходження оброблюваного матеріалу областю температур понад 2200 °С;
- в обох модернізації можливо часткове руйнування матеріалу основи нижнього електрода [26].

Виходячи з вищесказаного видно, що в даний момент найбільш повно поставлена задача вирішується за допомогою модернізації б, при якій:

- мінімальний час перебування матеріалу при температурі понад 2200 °С становить ~ 20 хв;
- вогнетривка бічна футеровка знаходиться в зоні температур до 1850°С;
- температура зовнішньої поверхні металевого кожуха не перевищує 300°С;
- температура матеріалу на виході складає 1250 °С (підвищення

температури матеріалу на виході щодо варіанту 3 пояснюється утримуванням при високій температурі більшої маси матеріалу 610 кг проти 480 кг);

– за рахунок зменшення прохідного перерізу весь матеріал проходить через зону підвищеної температури, через що зменшується неоднорідність характеристик матеріалів. Через велику швидкість проходження матеріалу футерування нагрівається повільніше, що подовжує строк служби кальцинатора.

Аналіз результатів порівняльних розрахунків показує, що застосування конструкції, описаної в модернізації 6 повинно не тільки підвищити надійність роботи і термін експлуатації електрокальцинатора, але і призводить до:

– зміни і перерозподілу параметрів електричного поля електрокальцинатора. Так, наприклад, зменшується ефективний опір робочого простору печі, а відповідно підвищується напруженість електричного поля і щільність електричного струму, що у свою чергу призводить до збільшення внутрішнього джерела теплоти, викликаного протіканням електричного струму через антрацит.

– збільшення рівня температур в робочій зоні електрокальцинатора більш, ніж на 120°C , що пов'язане із збільшенням щільності електричного струму.

Таким чином, зникає необхідність введення надмірної кількості електричної енергії до електрокальцинатора, так як при вибраній конструкції не відбувається перегрів футерування та окремих шарів матеріалу, електричний струм нагріває безпосередньо оброблюваний матеріал.

Адаптація чисельної моделі проводилася шляхом зіставлення результатів розрахунку з даними діючої чисельної моделі прямої графітації, так як при кальцинуванні коксів і графітуванні заготовок виконується одна задача – витримка матеріалу певний час при заданій температурі, відбуваються однакові процеси проходження струму через матеріал, враховуються одні і ті ж технологічні характеристики [27]. Результати зіставлення наведені на рисунках 3.8 – 3.10.

Як видно з рисунків 3.8 – 3.10, отримані результати розрахунків полів температур і електричних параметрів узгоджуються з даними діючої чисельної моделі. При введенні заданих параметрів у чисельну модель обраної модернізації було отримано наступні значення питомої витрати електроенергії та годинної продуктивності. Дані наведені у таблиці 3.4.

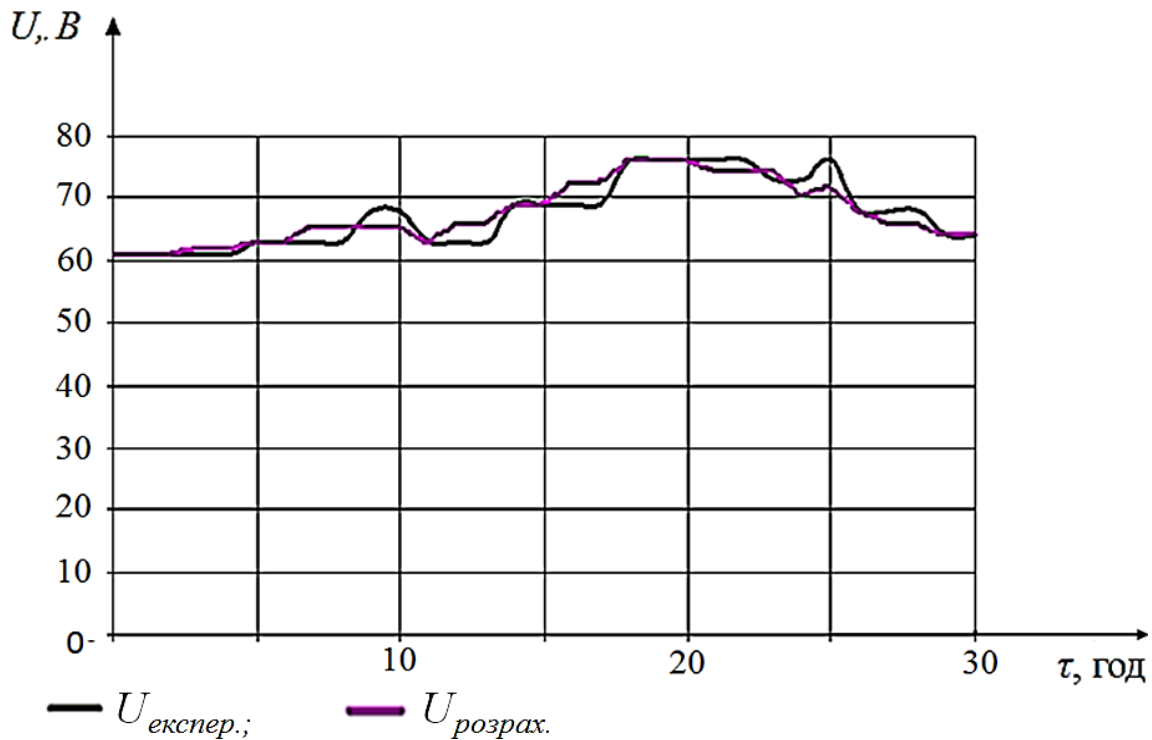


Рисунок 3.8 – Зміна напруги робочого режиму електрокальцинатора

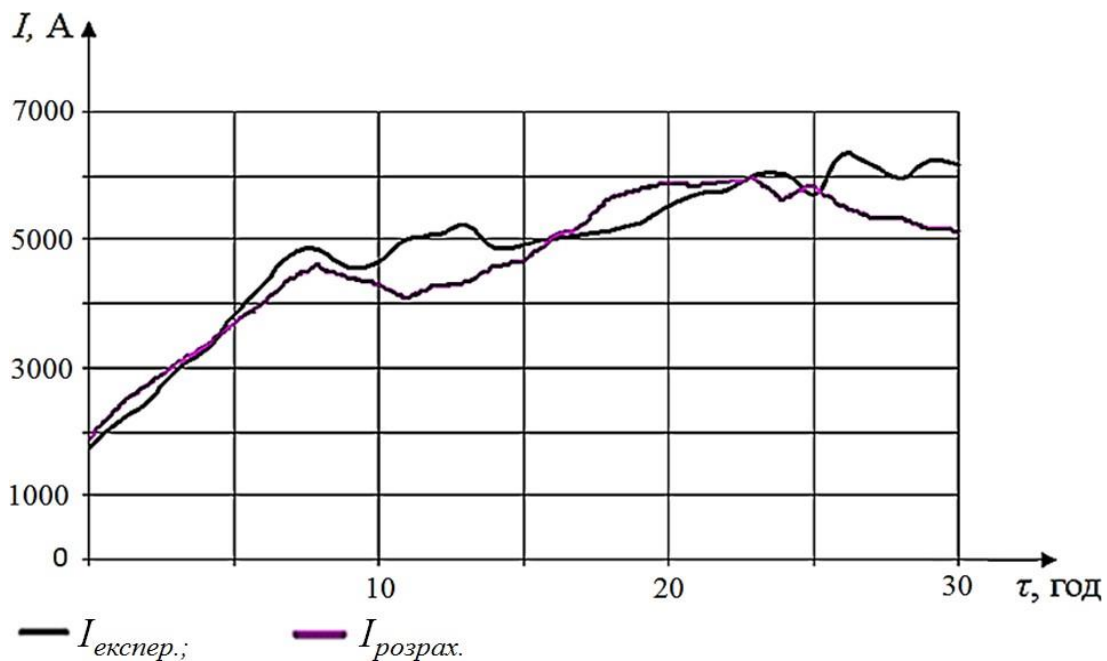
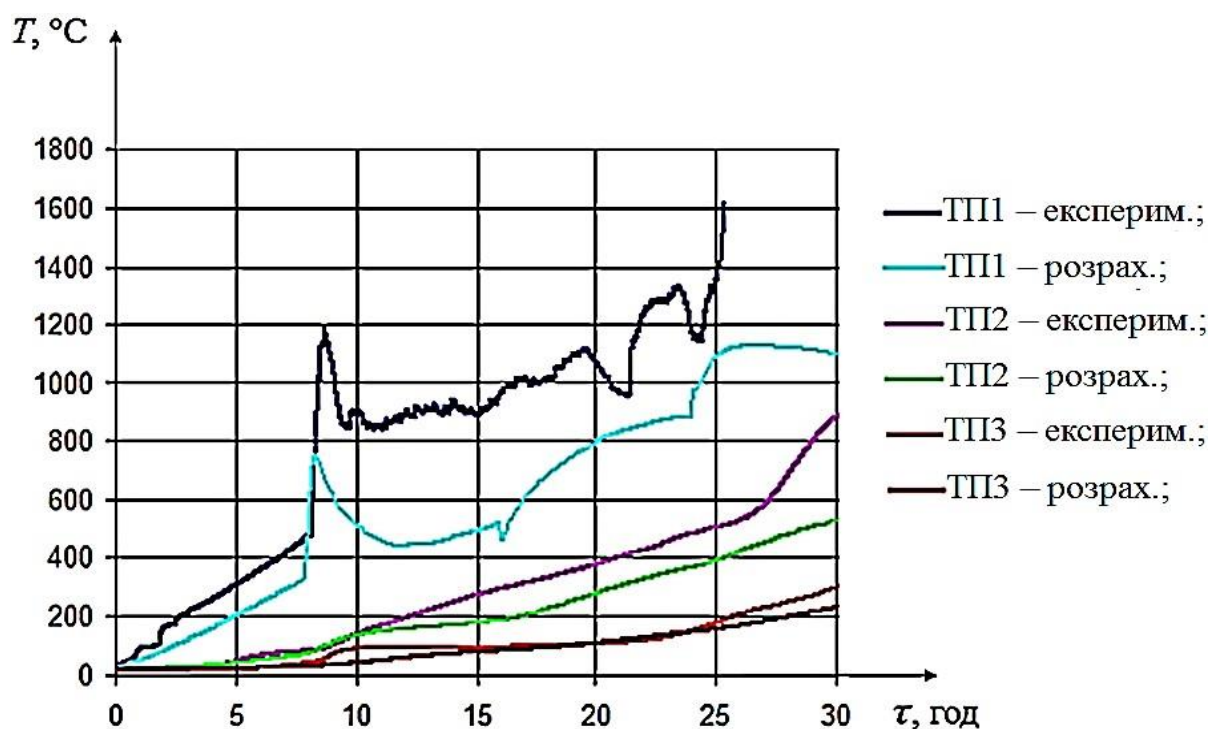


Рисунок 3.9 – Зміна сили струму робочого режиму електрокальцинатора



де ТП1, ТП2, ТП3 – точки виміру температури дросель-шайби

Рисунок 3.6 – Зміна температури у футеруванні по середині висоти дросель-шайби

Таблиця 3.4 – Отримані експериментальні дані

	Діюча конструкція	Модернізована конструкція
Питома витрата електроенергії, кВт·год/т	720	650
Годинна продуктивність, т/год	0,75	0,53

Як видно з графіків, дані, отримані при перевірці модернізації б узгоджуються з даними діючої чисельної моделі, що доводить правильність вибору даної модернізації. Графік температур у точках виміру показує, що при впровадженні заходу зафіксовані менші температури на критичних ділянках дросель-шайби. Таким чином, можна зробити висновок, що обраний варіант конструкції та модернізації дросель-шайби дозволяє створити рівномірність електричного та теплового полів для досягнення температури $2200\text{ }^\circ\text{C}$ в зоні прожарювання з мінімальним руйнуванням футеровки. Завдяки цьому не

відбувається перевитрата електроенергії, що доказано отриманими експериментальними даними.

3.3 Економічне обґрунтування запропонованих заходів

Проведені розрахунки економічного ефекту від впровадження заходу. Розрахунки проводяться для одного електрокальцинатора, але ці розрахунки можливо застосувати для всіх інших кальцинаторів.

Розрахунок фонду часу роботи кальцинатора:

$$\tau = h \cdot d \cdot \eta,$$

де h – годин на добу, год;

d – дні на місяць, дн;

η – коефіцієнт використання, %.

$$\tau = 24 \cdot 30 \cdot 0,8 = 576 \text{ год.},$$

Розрахунок випуску матеріалу на місяць:

$$V = \tau \cdot \nu,$$

де ν – продуктивність, т/год.

1) для діючої моделі:

$$V_1 = 576 \cdot 0,75 = 432 \text{ т/міс.},$$

2) для модернізованої моделі:

$$V_2 = 576 \cdot 0,53 = 305 \text{ т/міс}$$

Далі для розрахунків використовуємо випуск продукції для діючої

моделі – 305 т/міс.

Витрата електроенергії на випуск:

$$W=V_2 \cdot w,$$

де w – питома витрата електроенергії, кВт·год/т.

1) для діючої моделі:

$$W_1 = 305 \cdot 720 = 219,6 \text{ тис. кВт·год/міс,}$$

2) для модернізованої моделі:

$$W_2 = 305 \cdot 650 = 198,25 \text{ тис. кВт·год/міс.},$$

Економія електроенергії:

$$\Delta W = W_1 - W_2,$$

$$\Delta W = 219,6 - 198,25 = 21,35 \text{ тис. кВт·год/міс.},$$

Тариф на електроенергію для підприємств 1 класу напруги (за даними НКРЕ від 26.0.2017р):

$$T = 1,58 \text{ грн/кВт·год (без ПДВ),}$$

Тариф на електроенергію з врахуванням ПДВ:

$$T_w = 1,58 \cdot 1,2 = 1,90 \text{ грн/кВт·год,}$$

Витрата електроенергії в грошовому еквіваленті:

$$B_W = W \cdot T_w,$$

$$B_{W1} = 219,6 \cdot 1,9 = 417,24 \text{ тис. грн/міс.},$$

$$B_{W2} = 198,25 \cdot 1,9 = 376,68 \text{ тис. грн/міс.},$$

Економія електроенергії у грошовому еквіваленті:

$$E = 417,24 - 376,68 = 40,57 \text{ тис. грн/міс.},$$

Економія електроенергії у відсотках (розраховується за питомою витратою електроенергії):

$$E' = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \cdot 100\%,$$

де w_1 – питома витрата електроенергії діючої конструкції, кВт·год/т;
 w_2 – питома витрата електроенергії модернізованої конструкції, кВт·год/т.

$$E = (72 - 650)/720 = 9,72 \%$$

Термін окупності:

$$T = K/E$$

де K – витрати на реконструкцію.

В таблиці 3.5 приведені основні статті витрат на придбання та монтаж футеровки.

Таблиця 3.5 – Основні статті витрат

Стаття витрат	Витрати, тис. грн	
	Послуги сторонньої організації	Послуги допоміжних цехів
Розробка конструкції та регламенту роботи	166,9	
у т.ч.		
послуг сторонньої організації	166,9	
зміна вогнетривкого футерування		325,4
у т. ч.		
матеріали, запчастини, комплектуючі		254,8
заробітна платня		43,1
загальновиробничі витрати		18,1
Всього	492,3	

$$T = 492,3/40,57 = 12,1 \text{ місяців}$$

Порівняльна таблиця до та після впровадження заходу представлена таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Порівняльна таблиця

	Діюча конструкція	Модернізована конструкція
Питома витрата електроенергії, кВт·год/т	720	650
Годинна продуктивність, т/год	0,75	0,53
Фонд часу, год	576	
Випуск в місяць, т	432	305
Споживання в місяць, тис. кВт·год	219,6	198,25
Споживання в місяць (в грошовому еквіваленті) тис. грн	416,24	376,68
Економія, %	9,7%	
Економічний ефект, тис. грн/міс	40,6	
Термін окупності, міс	12,1	

На рисунку 3.7 представлена різниця питомої витрати електроенергії до та після впровадження заходу щодо зниження споживання електричної енергії.

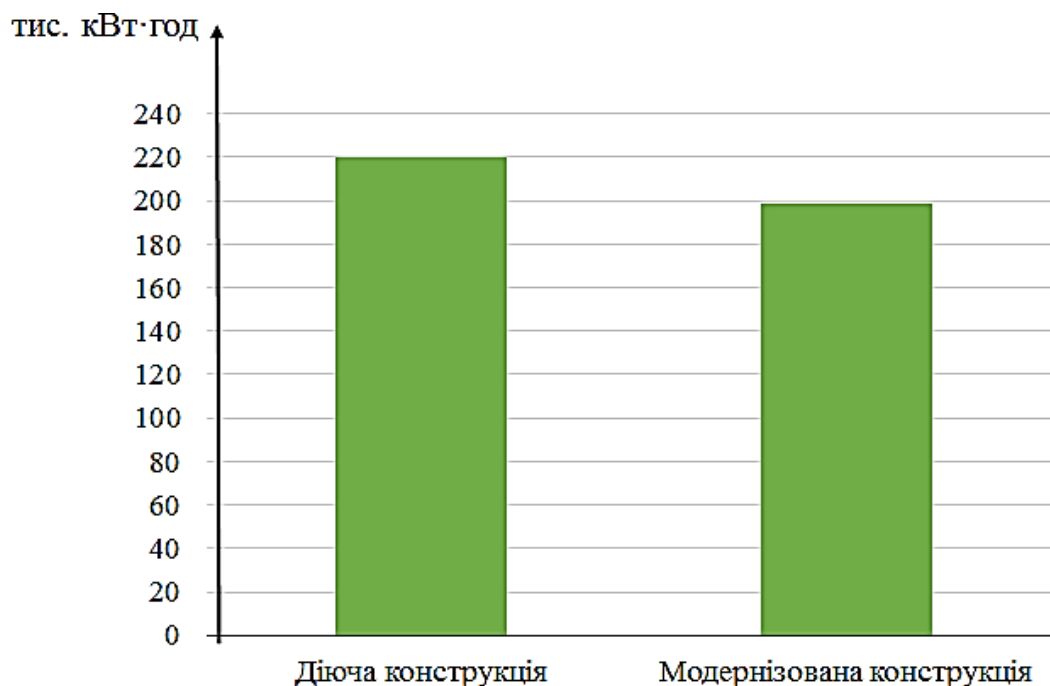


Рисунок 3.7 – Різниця питомої витрати електроенергії

На рисунку 3.8 представлена різниця витрати електроенергії в грошовому еквіваленті до та після впровадження заходу щодо зниження споживання електричної енергії.

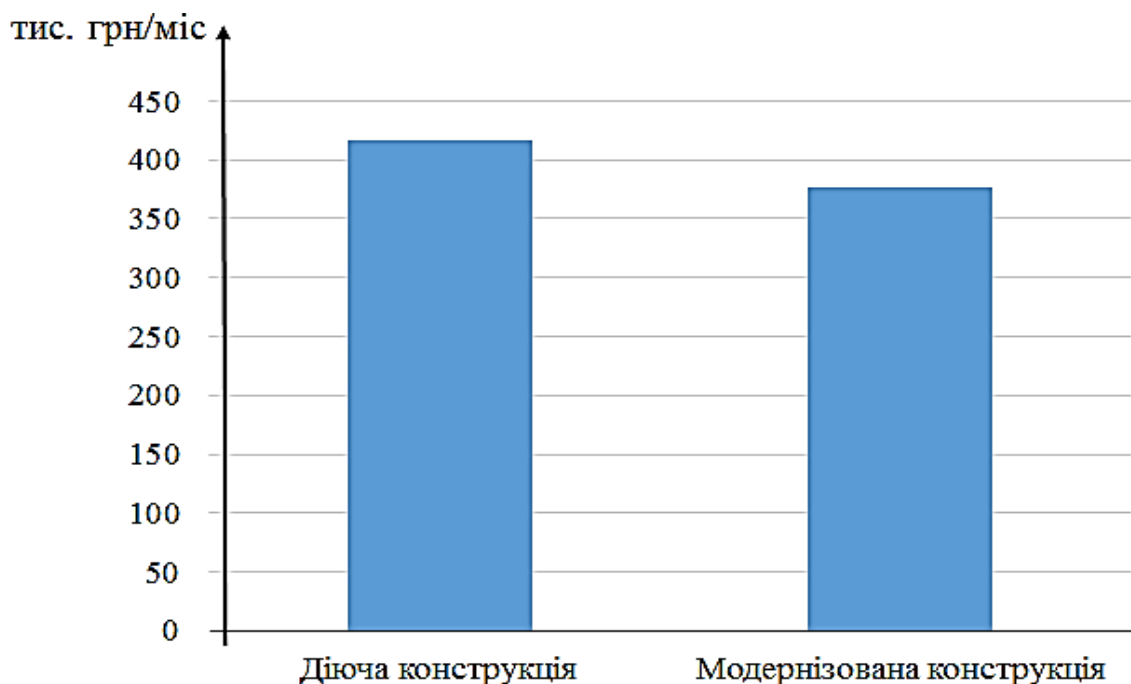


Рисунок 3.8 – Різниця питомої витрати електроенергії у грошовому еквіваленті

Доцільність запропонованого заходу підтверджена економічним ефектом, чим являється зменшення обсягів споживання електричної енергії кальцинаторами на 9,7%, що дозволить економити до 41000 гривень на місяць на одному кальцинаторі. Термін окупності становив 12.1 місяців.

3.4 Питання охорони праці

Уведення в експлуатацію нових і реконструйованих об'єктів, впровадження нових технологій без дозволу органів державного нагляду за охороною праці, державного пожежного нагляду та органів державної санітарно-епідеміологічної служби не дозволяється.

Машини, механізми, устаткування, транспортні засоби та технологічні процеси, що впроваджуються у виробництво, на які є стандарти з вимогами щодо забезпечення безпеки праці, життя та здоров'я працівників, повинні мати паспорти або сертифікати, що погоджені з державною санепідемслужбою та видаються в установленому порядку заводом-виробником і які засвідчують безпеку їх застосування [28].

Технологічне устаткування, машини, механізми, транспортні засоби та технології, що виготовлені за кордоном, повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів [28].

Ураховуючи вимоги цих Правил, повинні бути складені або переглянуті відповідно до чинних нормативно-правових актів інструкції, що затверджуються роботодавцем:

- з охорони праці для працівників кожної професії;
- на всі види робіт;
- посадові для посадових осіб та для спеціалістів;
- з пожежної безпеки;
- з безпечної експлуатації та ремонту об'єктів газового господарства з обов'язковою схемою міжцехових газопроводів і розподілом їх між цехами.

У кожному структурному підрозділі підприємства повинен бути затверджений роботодавцем перелік чинних інструкцій з охорони праці та

пожежної безпеки.

Інструкції з охорони праці, пожежної безпеки і на види робіт повинні переглядатися не рідше одного разу на п'ять років, а у вибухо- та пожежонебезпечних виробництвах і роботах з підвищеною небезпекою - не рідше одного разу на три роки, а також переглядатися, якщо сталися зміни в технологічних процесах або схемах комунікацій і при застосуванні нових видів сировини та устаткування, у разі виявлення в інструкції вимог, що суперечать цим Правилам [28].

Інструкції на види робіт повинні містити вимоги, що забезпечують безпечне ведення технологічних процесів і відповідати ГОСТ 3.1120-83 «ЕСТД. Общие правила отражения и оформления требований безопасности труда в технологической документации».

Під час застосування нових технологічних процесів, агрегатів, машин та іншого устаткування (у тому числі розроблених самим підприємством за погодженням з відповідними спеціалізованими організаціями) необхідно розробляти та затверджувати роботодавцем у встановленому порядку інструкції, що забезпечують безпечне ведення технологічних процесів і безпечну експлуатацію устаткування.

Інструкції з охорони праці повинні видаватися працівникам кожної професії під особистий підпис безпосереднім керівником структурного підрозділу (керівником робіт) і вивішуватися на робочих місцях.

Комплект інструкцій з охорони праці за видами робіт необхідно постійно зберігати у відповідальній посадовій особі структурного підрозділу.

За рішенням керівника структурного підрозділу, крім інструкцій з охорони праці за професіями, працівники повинні ознайомлюватися з іншими інструкціями [29].

Усі працівники під час улаштування на роботу та періодично протягом трудової діяльності повинні проходити медичні огляди згідно з Порядком проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженим наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21.05.2007 N 246, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 23.07.2007 за N 846/14113.

Одночасно всі працівники повинні бути проінформовані роботодавцем під особистий підпис про умови праці на підприємстві, наявність небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що ще не усунені, та можливі наслідки їх впливу на здоров'я, а також про їх права на пільги та компенсації за роботу в таких умовах.

У виробничому приміщенні (цех №2), де проводилися дослідження, вимірювання та спостереження, наявні такі шкідливі фактори як виробничий шум, вібрація, пил, електромагнітні поля, які негативно впливають на здоров'я працівників.

Виробничий шум - це сукупність несприятливих звуків, що передаються на людину і викликають неприємні суб'єктивні відчуття, знижують працездатність та, в окремих випадках, порушення стану здоров'я [30].

Шум становить собою безладне сполучення звуків різної частоти і інтенсивності.

За основні параметри, що використовуються для нормування шуму, прийняті:

- звуковий тиск, що вимірюється в Паскалях (Па);
- частота звукових коливань, яка характеризується числом коливань за секунду і вимірюється в герцах (Гц);
- рівень звукового тиску, що характеризує ступінь перевищення звукового тиску над певним порогом сенсорного сприйняття даного фактора.

Рівень звукового тиску (рівень шуму) вимірюється у спеціальних логарифмічних одиницях - белах (Б) або їх похідних - децибелах (дБ), які дорівнюють 0,1 Б.

Постійним називають шум, рівні звуку якого протягом робочого дня (робочої зміни) змінюються у часі не більше ніж на 5 дБ.

Непостійним вважається шум, рівні звуку якого протягом робочого дня (робочої зміни) змінюються у часі більше ніж на 5 дБ.

Непостійний шум поділяється на коливальний, перервний і імпульсний шуми. Коливальний – шум, рівень якого безперервно змінюється у часі.

Перервний – шум, рівні якого змінюються ступенево (на 5 дБ і більше), причому тривалість інтервалів, протягом яких рівень шуму залишається постійним, складає одну секунду і більше [30].

Імпульсний – шум, який складається з одного або декількох звукових сигналів, кожний тривалістю менше однієї секунди. Джерелом механічного шуму являються механічні вібрації поверхонь машин і обладнання, а також удари деталей, конструкцій тощо.

Джерелом вібрації є механічні, пневматичні й електричні інструменти ударної або обертальної дії, обладнання, встановлене без достатньої амортизації та віброізоляції, а також транспортні і сільськогосподарські машини. За характером впливу на організм розрізняють загальну та локальну вібрацію. Загальна вібрація викликає тремтіння всього тіла людини, локальна залучає до коливання лише окремі частини тіла (руки, передпліччя, ноги) [30]. Вібрація завдає великої шкоди здоров'ю людини — від перевтоми організму та незначних змін функцій організму до струсу мозку, розриву тканин, порушення серцевої діяльності і нервової системи, деформації м'язів та кісток, порушення чутливості шкіри і кровообігу тощо. Вібрації частотою понад 200 Гц перевантажують нервову систему людини, потребують підвищеного психічного напруження. Систематичний вплив на людину довготривалої та інтенсивної дії вібрації може стати причиною вібраційної хвороби. Локальні вібрації викликають деформацію та зменшення рухомості суглобів.

Швидкість осідання пилу залежить також від форми і пористості частинок. Округлі щільні частинки осідають швидше. Щільні, великі частинки з гострими гранями (частіше аерозолі дезінтеграції) більше травмують слизову оболонку дихальних шляхів ніж частинки з гладкою поверхнею. Однак легкі пористі частинки добре адсорбують токсичні пари і гази, а також мікроорганізми та продукти їх життєдіяльності. Такий пил набуває токсичні, алергенні та інфекційні властивості [31].

Виробничий пил служить причиною розвитку різних захворювань:

– захворювання шкіри і слизових оболонок (гнійничкові захворювання

шкіри, дерматити, кон'юнктивіти і ін.);

– неспецифічні захворювання органів дихання (риніти, фарингіти, пилові бронхіти, пневмонії);

– алергічні захворювання (алергічні дерматити, екземи, астматичні бронхіти, бронхіальна астма);

– професійні отруєння (від впливу токсичною пилю);

– онкологічні захворювання (від впливу канцерогенного пилю, наприклад, сажі, азбесту);

– пневмоконіози (від впливу фіброгенного пилю). Пневмоконіози займають перше місце серед профпатології у всьому світі.

Електромагнітні поля негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання. Можна вважати, що в діапазоні промислових частот (у тому числі 50 Гц) допустимо розглядати вплив на біологічний об'єкт електричної і магнітної складових поля роздільно (нарізно). В будь-якій точці ЕМП промислової частоти енергія магнітної складової поля, яка поглинається тілом людини, майже в 50 разів менша від енергії електричної складової цього поля, що поглинається тілом. Це дає змогу зробити висновок, що в діапазоні промислових частот дією магнітної складової поля на біологічний об'єкт можна знехтувати, а негативний вплив на організм обумовлений електричною складовою поля [28,29].

Ступінь впливу електромагнітних випромінювань на організм людини взагалі залежить від діапазону частот, тривалості опромінення, характеру опромінення, режиму опромінення, розмірів поверхні тіла, яке опромінюється, та індивідуальних особливостей організму.

У результаті дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Ці порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

Корпус електрокальцинаторів, димоходи необхідно герметизувати. Розвантажувальний отвір електрокальцинатора необхідно герметично з'єднувати з приймальними пристроями.

Для ліквідації пароутворення та запобігання полій узимку пари води у водоохолоджувальній оболонці приймального пристрою необхідно уловлювати аспіраційною системою.

Приймальні пристрої на виході кальцинатора необхідно закривати герметичними кожухами, а кожухи підключати до аспіраційної системи [32].

Гази, що виділяються з кальцинатора, необхідно знешкоджувати в апараті очищення або спалювати.

Встановлення електродів і їх переміщення у кальцинаторі, завантаження матеріалу в піч необхідно здійснювати за допомогою засобів механізації.

Проходи та робочі місця необхідно обладнувати не ближче ніж 1,5 м до кальцинатора.

Температура корпусу кальцинатора не повинна перевищувати 70° С, а доступні до дотику частини його необхідно огорожувати огорожею.

Ошиновку електрокальцинатора необхідно огорожувати згідно з вимогами чинних нормативно-правових актів. Над шинопроводами ошиновки необхідно встановлювати козирки, що запобігають осипанню пилю на електропровідні елементи.

Електрокальцинатор повинен бути обладнаний світловою сигналізацією подачі на нього напруги.

Для запобігання зависанням матеріалу в печі та можливим вибухам необхідно дотримувати гранулометричний склад матеріалу, що подається у піч.

Ліквідацію заторів на виході кальцинатора необхідно проводити металеву штангою через спеціальні отвори в захисному кожусі розвантажувального жолоба. Металева штанга повинна відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.30-01.

У разі припинення руху матеріалу в шахті кальцинатора завантаження його необхідно припинити.

З боку ошиновки необхідно контролювати ізоляцію шинопроводів відносно землі. Величина опору ізоляції кожного полюса повинна бути не менше 5 кОм (кОм).

Шинопроводи ошиновки періодично не рідше одного разу на тиждень необхідно обдувати від пилу. Під час обдуву напругу з шинопроводу необхідно знімати. Для зменшення запилення операцію обдуву від пилу необхідно проводити за допомогою пилососа з подальшою утилізацією зібраного пилу [32].

Водопостачання для охолодження електрокальцинаторів повинне здійснюватися відповідно до інструкції щодо взаємодії між працівниками з обслуговування електрокальцинатора і з обслуговування водообороту.

Гігієнічна класифікація призначена для [33]:

- гігієнічної оцінки існуючих умов та характеру праці на робочих місцях;
- атестації робочих місць;
- санітарно-гігієнічної експертизи виробничих об'єктів;
- санітарно-гігієнічної паспортизації стану виробничих підприємств;
- встановлення пріоритетності в проведенні оздоровчих заходів;
- розробки рекомендацій для профвідбору, профпридатності
- створення бази даних про умови праці на рівні підприємства, району, міста, регіону, країни.

Виробниче приміщення відноситься до 3 класу шкідливості – шкідливі умови праці – такі умови, що характеризуються наявністю шкідливих виробничих чинників, що перевищують гігієнічні нормативи і здатні чинити несприятливий вплив на організм працюючого.

Мікроклімат: до $+10^0\text{C}$ від верхньої границі і до -10^0C від нижньої границі.

Освітленість: нижче рівня санітарних нормативів на 26-75%.

Тривалість і чередування змін: робота з нічними змінами.

Максимальна вага переміщуваного вантажу: 11-30 кг.

Рухливість за зміну: до 15 км.

Наказ про призначення особи, що відповідає за справний стан і організацію безпечного виконання робіт з експлуатації та монтажу електрообладнання, видається після перевірки знань правил та інструкцій, присвоєння IV групи з електробезпеки в електроустановках з робочою напругою до 1000 В або V групи з електробезпеки в електроустановках з робочою напругою понад 1000 В [34].

Особа, що відповідає за справний стан і організацію безпечного виконання робіт з експлуатації та монтажу електрообладнання, несе відповідальність за правильний підбір електротехнічного персоналу.

Обслуговування діючих електроустановок, виконання оперативних перемикачів, організацію і проведення ремонтних робіт, налагоджування і випробування повинен виконувати атестований електротехнічний персонал. Електротехнічний персонал підприємства поділяється на адміністративно-технічний, оперативний та оперативно-ремонтний. Допуск до самостійної роботи працівників в електроустановках оформляється розпорядженням.

Кожна особа, що бере участь у виконанні робіт в електроустановках, несе відповідальність за їх безпечне проведення відповідно до своїх прав та обов'язків.

Для безпечного виконання робіт повинні виконуватися організаційні заходи:

Кожен працівник повинен мати посвідчення про перевірку знань з питань охорони праці, пожежної безпеки і технології виконання робіт.

Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилась виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для людей, які його оточують.

Усі працівники повинні знати про небезпечний вплив електричного струму. Працівники з групою з електробезпеки II-III повинні знати і чітко усвідомлювати небезпеку, пов'язану з роботою в електроустановках.

При виконанні робіт у приміщеннях з підвищеною небезпекою враження електрострумом або особливо небезпечних, застосування діелектричних засобів захисту обов'язкове [34].

За порушення вимог нормативно-правових актів з охорони праці кожен працівник несе відповідальність згідно з чинним законодавством України.

Під причинами електротравм слід розуміти:

- порушення вимог нормативно-правових актів з охорони праці та інструкцій з електробезпеки;
- не виконання вимог нормативно-правових актів з охорони праці та інструкцій;
- порушення технології виконання робіт.

Причини поділяються на технічні, організаційно-технічні, організаційні та організаційно-соціальні.

Основними заходами захисту від ураження електрострумом є:

- застосування робочої, подвійної, або підсиленої ізоляції;
- дотримання відповідної відстані до струмоведучих частин чи шляхом закриття, огороження струмоведучих частин;
- застосування блокуючих пристроїв та огорожувальних пристроїв для запобігання помилкових операцій та доступу до струмоведучих частин;
- надійного та швидкодіючого автоматичного відключення частин електро-обладнання, що потрапило під напругу і пошкоджених ділянок електромережі, в тому числі захисного відключення;
- захисне заземлення та занулення корпусів електрообладнання та елементів електроустаткування, що можуть потрапити під напругу внаслідок пошкодження ізоляції;
- вирівнювання потенціалів;
- застосування роздільних трансформаторів;
- застосування напруги 42В і нижче змінного струму частотою 50 Гц та 110В і нижче постійного струму;
- застосування попереджувальної сигналізації, написів та плакатів;
- застосування обладнання яке понижує напругу електричних полів;
- застосування засобів захисту та пристроїв, в тому числі для захисту від дії електричного поля в електроустановках, в яких його напруженість перевищує допустимі норми.

Наслідки ураження електричним струмом залежать від таких факторів:

- сили струму, що протікає через тіло людини, яка в свою чергу залежить від величини прикладеної напруги та опору тіла;
- шляху протікання струму крізь тіло людини;
- часу дії струму на організм;
- частоти струму;
- фізіологічного стану організму;
- умов навколишнього середовища.

Опір тіла людини залежить від зовнішніх та внутрішніх факторів.

Зовнішні фактори, що знижують опір тіла – це фактори, що впливають на шкіру людини [34]. Шкіра має найбільший опір. Негативні фактори навколишнього середовища: висока вологість, наявність у повітрі пилу, що проводить струм, висока температура (підвищене виділення поту).

Внутрішні фактори, що знижують опір тіла: алкогольне сп'яніння, хворобливий стан та фізична втома. Внутрішній фактор, що підвищує опір тіла на декілька порядків – це «фактор уваги». При небезпеці ураження електричним струмом персонал, що виконує роботи у діючій електроустановці, повинен свідомо перебувати у стані цілеспрямованої уваги бути готовим до небезпеки, при цьому опір тіла різко зростає. Вважається, що 85% усіх електротравм із смертельним наслідком сталися при відсутності «фактора уваги».

Дія електричного струму на організм людини, залежно від впливу, поділяється на:

- термічну – виражається в опіках від дії електричної дуги, або при тривалому протіканні струму через органічні рідини організму людини, що призводить до перегріву внутрішніх органів, рідин і крові, та подальше їх руйнування;

- біологічну – виражається у рефлекторному, судорожному та підсвідомому скороченні м'язів і подразненні або збудженні тканин організму.

ВИСНОВКИ

Основними результатами кваліфікаційної магістерської роботи є наступне:

1. При проведенні аналізу споживання підприємством енергоносіїв було встановлено, що частка споживання електричної енергії становить близько 45% з урахуванням сезонних коливань.

2. Проаналізувавши витрати електроенергії за підрозділами виявлено, що найбільшим споживачем електричної енергії являється цех №2, де проводиться кальцинування антрациту для отримання термоантрацитів при високих температурах в умовах відсутності контакту з повітрям.

3. В результаті аналізу характеристик обладнання цеху №2 – номінальне споживання одиниці обладнання, коефіцієнт попиту та фактичне споживання встановлено, що найбільш енергоємним обладнанням являється електрокальцинатори – шахтні печі опору.

4. При дослідженні існуючих конструкцій було виділено основні недоліки цих печей: проблема створення прийнятної температури 2200 °С в зоні прожарювання та руйнування вогнетривкої футеровки, обумовлені нерівномірністю електричного та теплового полів. Тому подальший напрям роботи був спрямований на вирішення даних проблем за допомогою створення оптимальної конструкції та модернізації футеровки.

5. Розроблена чисельна модель для розрахунку тепло-електричних полів, електричних та фізичних параметрів електрокальцинатора. Модель дозволить обрати оптимальний вибір модернізації модернізації електрокальцинатора.

6. Запропоновані 5 варіантів модернізації. При обчисленні отримані робочі характеристики при всіх варіантах модернізації електрокальцинатора та температурні поля на 100 годину роботи. Виділено 3 і 5 варіанти, які

представляють найбільший інтерес. Розроблена подальша модернізація (6 і 7) для цих варіантів.

7. Проаналізовані отримані дані обраних модернізацій, та виявлено, що в даний момент найбільш повно поставлена задача вирішується за допомогою модернізації 6.

8. Доцільність запропонованого заходу підтверджена економічним ефектом, чим являється зменшення обсягів споживання електричної енергії кальцинаторами на 9,7%, що дозволить економити до 41000 гривень на місяць на одному кальцинаторі. Термін окупності становив 12.1 місяців.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Энергозбереження [Електронний ресурс] / Енциклопедія сучасної України. – Режим доступу: <http://ukrgrafit.zp.ua/uk> - Загол. з екрану;
2. Про компанію [Електронний ресурс] / Український графіт. – Режим доступу: \WWW/ URL: <http://ukrgrafit.zp.ua/companу>. – Загол. з екрану.
3. Чалых, Е. Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий [Текст]: учеб. / Е. Ф. Чалых. – Москва: Издательство «Металлургия», 1972. – 432 с.
4. Санников, О. К. Производство электродной продукции [Текст]: учеб./ О. К. Санников. – Москва: Издательство «Металлургия» 1985. – 127 с.;
5. Фиалков, А. С. Углеродистые материалы [Текст]: учеб. / А. С. Фиалков. – Москва: Издательство «Энергия», 1972. – 319 с.
6. Улучшенное производство углеродного электрода [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://edrid.ru/rid/218.016.3922.html> - Загол. з екрану;
7. Шулепов, С. В. Физика углеродистых материалов [Текст]: учеб. / С. В. Шулепов. — Москва: Металлургия, 1972. — 256 с.
8. Сюняев, З. И. Производство, обогащение и применение нефтяного кокса [Текст]: / З.И. Сюняев. — М.: Химия, 1973. — 296 с.
9. Чалых, Е. Ф. Оборудование электродных заводов : Учебное пособие для ВУЗов [Текст] : учеб. / Е. Ф. Чалых. – Москва : Издательство «Металлургия», 1990. – 238 с.
10. Чалых, Е. Ф. Печи электродных заводов [Текст]: учеб. пособие / Е. Ф. Чалых, Л. Ф. Пащенко – Москва : МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1983. – 76 с.
11. Сучасна металургія 2005. Енергоресурсозбереження. Дослідження роботи електрокальцинаторів промислового підприємства ПрАТ «Український графіт»/ Б. Ф. Петров, С. В. Кутузов, О. Ю. Уразліна, В. В. Биковець. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.twirpx.com/file/1894902/> - Загол. з екрану.
12. Способы повышения качества термоантрацита для производства электродной продукции. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[https://sibac.info/archive/technic/1\(48\)](https://sibac.info/archive/technic/1(48)) - Загол. з екрану.

13. Современное состояние проблемы получения графитированного наполнителя электродных изделий в электрокальцинаторах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cpsm.kpi.ua/nauka/statti/ci_2011_1_49_55.pdf - Загол. з екрану.

14. Панов, Є. М. Моделювання графітування нафтового коксу в шахтній печі неперервної дії [Текст] : учеб. Пособие / Є. М. Панов, А. Я. Карвацький, С. В. Кутузов // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження: зб. наук. праць. – 2011. - №1.(7). – С.48. – 52.

15. Капелянов, В. Я. Об оптимизации температуры смешивания компонентов электродных и анодных масс [Текст] / В. Я. Капелянов // Цветные металлы. – 1990. – №7. – с. 75.

16. Петров, Б. Ф. Энергосбережение в производстве электродного термоантрацита/ Б. Ф. Петров [Текст]: монография. – К. «Экотехнология», 2006. – 144 с.

17. Physical processes modern investigation methods in power-intensive industrial equipments / E. N. Panov, A. Ya. Karvatsky, I. L. Shilovich [et al.] // Aluminium of Siberia – 2008: XIV Intern. conf. exhib., (Krasnoyarsk, Sept. 10—12, 2008) : proceedings of the conference. — Krasnoyarsk : «Verso», 2008.

18. Карзунова, Р. В. Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции [Текст] / Р. В. Карзунова // Цветные металлы. – 1973. – № 5. – с. 80-91.

19. Чалых, Е. Ф. Технология углеграфитовых материалов [текст]: учеб. пособие / е. Ф. Чалых, б. Н. Житов, ю. Г. Королев, – Москва: МХТИ, 1980. – 60 с.

20. Условия Дирихле. Справочник химика 21. Химия и химическая технология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chem21.info/info/881062/>. – Загол. з екрану.

21. Лыков, А. В. Теория теплопроводности [Текст] : учеб. пособие / А. В. Лыков — М.: Высшая школа, 1967. — 600 с.

22. Романовский, П. И. Ряды Фурье. Теория поля. Аналитические и специальные функции. Преобразование Лапласа [Текст]: учеб./ П. И. Романовский – М . : «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1973. — 338 с.

23. Калиткин, Н. Н. Численные методы. Кн. 1. Численный анализ [Текст]: учеб./ Н.Н. Калиткин, Е. А. Альшин, - М.: Академия, 2013. - 304 с.

24. Селезнева, А.Н. Производство углеродной продукции. Проблемы обеспечения углеродистым сырьем. Выпуск 1[Текст]/ А.Н. Селезнева - М.: РХТУ, 2002. — 182 с.

25. Мешков, Е. И. Развитие теории и совершенствование технологии производства графитированной электродной продукции на основе математических моделей массо- и теплопереноса[Текст] учеб. пособие/ Е. И. Мешков - Metallurgy чёрных, цветных и редких металлов. — Северо-Кавказский горно-металлургический институт. — Владикавказ, 2009. — 46 с.

26. Современная электрометаллургия 2005 №01[Текст]/ Киев, Международная ассоциация «Сварка». - 60 с.

27. Калиткин, Н. Н. Численные методы. Кн. 2. Методы математической физики [Текст]: учеб./ Н.Н. Калиткин, П. В. Корякин, М.: Академия, 2013. — 304 с.

28. Конык, О.А. Анализ безопасности и организация охраны труда на производстве[Текст]: учеб. пособие/ О. А. Конык, П. В. Мусихин — Сыктывкар: Сыкт. лесной институт (СЛИ), 2018. — 271 с.

29. Петрова, А.В. Охрана труда на производстве и в учебном процессе [Текст]: учеб. пособие/ А. В. Петрова, А. Д. Корощенко, Р. И. Айзман - Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2017. — 189 с.

30. Сокол, Т. С. Производственный шум. Охрана труда [Текст] : учеб./ Т. С. Сокол, Минск Дизайн Про - 2006г. - 309с.

31. Куренкова, Г.В. Пыль как вредный фактор производственной среды [Текст]: учеб. пособие/ Г. В. Куренкова, — Иркутск : ИГМУ, 2015. — 88 с.

32. Правила безпеки при виробництві вуглеграфітових матеріалів і

виробів. – Х.: Вид-во «Форт», 2008. – 100 с.

33. Катренко, Л.А., Охорона праці [Текст] : навч. посібник/ Ю. В. Кіт, І. П. Пістун. — С.: Університетська книга, 2003. — 496 с.

34. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Текст] : навч. посібник, - Х.: издательство «Индустрия», 2007. – 288 с.

35. Бадагуев, Б.Т. Пожарная безопасность на предприятии [Текст]: навч. посібник/ Б. Т. Бадагуев, - М.: Альфа-Пресс, 2014. — 720 с.