

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет	Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра	Хімічних технологій та інженерії
Спеціальність	161 Хімічні технології та інженерія
Форма навчання	Денна

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Гранкіна Ярослава Вікторівна

на тему Вибір та обґрунтування технології отримання термоантрациту з метою часткової заміни коксу в доменній плавці

науковий керівник к.т.н., доцент _____ Шмельцер К.О.

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри
від 12.06.2026 р. №16

Завідувач кафедри _____
к.т.н., доцент Шмельцер К.О.

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Хімічних технологій та інженерії
 доцент, к.т.н.
 Шмельцер К.О.
 (посада, вчене звання ,
 прізвище ініціали)
 « ____ » _____ 2026 року

Завідувач кафедри _____
 (підпис)

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Гранкіна Ярослава Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Вибір та обґрунтування технології отримання термоантрациту з метою часткової заміни коксу в доменній плавці»

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра _____
Шмельцер Катерина Олегівна, к.т.н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу № №228-ст від «6» квітня 2026 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2026

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Аналітична частина: Поняття та характеристика термоантрациту. Фізико-хімічні властивості термоантрациту. Аналіз перших конструкцій печей для отримання термоантрациту. Дослідна доменна плавка на термоантрациті

4.2 Основна частина: Технологія отримання термоантрациту. Сучасні дослідження з термообробки антрациту. Вплив властивостей антрациту на якість термоантрациту. Якісні показники антрациту до і після термообробки Екологічні аспекти роботи коксового цеху КХВ та заходи по захисту навколишнього середовища

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Завданням графічний матеріал не передбачений _____

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Шмельцер К.О., доцент		
2 Основна частина	Шмельцер К.О., доцент		

7. Дата видачі завдання «6» квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.26	
2.	Основна частина	26.05.26	
3.	Оформлення пояснювальної записки	30.05.26	
4.	Подання роботи до кафедри	02.06.2026	
5.	Захист роботи в ЕК	18.06.2026	

Здобувач

_____ Гранкін Я.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ Шмельцер К.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

*Примітка. Бланк друкується з обох сторін на одному аркуші.

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Гранкін Я.В. Вибір та обґрунтування технології отримання термоантрациту з метою часткової заміни коксу в доменній плавці. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». Державний університет економіки і технологій. Кривий Ріг, 2026.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці та науковому обґрунтуванню технології термічної обробки антрациту для використання його як часткового заміника доменного коксу, що дозволяє оптимізувати витрати паливних ресурсів у металургійному виробництві.

Об'єктом дослідження є фізико-хімічні процеси термічної деструкції та структурної перебудови вугільної речовини, а також зміни експлуатаційних характеристик антрациту в умовах високотемпературного прожарювання.

Предметом дослідження є технологічні параметри процесу електрокальцинації, вплив температури на реакційну здатність (CRI) та гарячу міцність (CSR) термоантрациту, а також ефективність заміни коксу в доменній плавці.

Метою даної бакалаврської роботи є вибір та обґрунтування оптимальної технології отримання високоякісного термоантрациту, яка забезпечує мінімізацію вмісту летких речовин, підвищення механічної міцності та стабільність властивостей, необхідних для ефективної доменної плавки.

В роботі обґрунтовано доцільність використання вертикального електрокальцинатора, який за рахунок прямого пропускання струму через шар матеріалу забезпечує рівномірне нагрівання до 2000 °С, що сприяє глибокій дегазації та впорядкуванню вуглецевої структури антрациту. Встановлено, що високотемпературна обробка забезпечує суттєве зниження питомого електричного опору та оптимізацію дійсної щільності матеріалу, що перетворює звичайний антрацит на високоефективний замітник коксу.

Експериментально доведено, що термічна обробка дозволяє досягти зниження показника реакційної здатності (CRI) на 3 % та підвищення показника гарячої міцності (CSR) на 13,5 %, що відповідає стандартам металургійної сировини.

Доведено технічну можливість заміщення до 150 кг дефіцитного коксу на одну тону чавуну, що сприятиме значному економічному ефекту для ПАТ «АМКР», зменшенню залежності від імпорту сировини та покращенню екологічної ситуації в регіоні.

Ключові слова: термоантрацит, доменна плавка, коксозамінник, електрокальцинатор, високотемпературне прожарювання, реакційна здатність (CRI), гаряча міцність (CSR), вуглецева структура, металургійна сировина, енергоефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Доменна плавка на сирому антрациті	10
1.2 Антрацит як вуглецева сировина для металургії	11
1.3 Поняття та характеристика термоантрациту	12
1.4 Фізико-хімічні властивості термоантрациту	17
1.5 Аналіз перших конструкцій печей для отримання термоантрациту	26
1.6 Дослідна доменна плавка на термоантрациті	29
1.7 Висновки до аналітичної частини	31
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	34
2.1 Технологія отримання термоантрациту	34
2.2 Сучасні дослідження з термообробки антрациту	38
2.3 Аналітичний огляд конструкцій сучасних електрокальцинаторів	41
2.4 Вплив властивостей антрациту на якість термоантрациту	52
2.5 Якісні показники антрациту до і після термообробки	56
2.6 Екологічні аспекти роботи коксового цеху КХВ та заходи по захисту навколишнього середовища	61
2.6.1 Основні шкідливості та небезпеки	61
2.6.2 Заходи щодо усунення шкідливостей та небезпек	64
2.6.3 Пожежна профілактика	67
2.6.4 Вплив запропонованої технології на навколишнє середовище	68
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75

ВСТУП

Чорна металургія є однією з базових галузей промисловості, що забезпечує виробництво конструкційних матеріалів для машинобудування, будівництва, транспорту та інших сфер економіки. Центральне місце у технологічному циклі отримання чавуну займає доменний процес, який протягом тривалого часу залишається основним способом виробництва первинного металу. Ефективність роботи доменних печей значною мірою визначається якістю та кількістю використовуваного палива, основним видом якого традиційно є металургійний кокс.

Кокс є найбільш дорогою складовою шихти для виплавки чавуну і завдання скорочення його витрати завжди актуальне. Рішення цього завдання здійснюється за двома напрямками: скорочення теплопотреби плавки, за рахунок підготовки шихти і поліпшення організації технології заміщення коксу менш дорогими енергоносіями. Ефективність другого з зазначених напрямків залежить від властивостей енергоносія, а його реалізація завжди пов'язана з необхідністю використання першого напрямку. В доменній плавці кокс виконує функцію комплексного енерготехнологічного матеріалу. В процесах його перетворень у фурмі виділяється основна частина необхідної для процесів плавки теплоти і утворюються основна частина відновного газу, до якого вище розташованих горизонтів додається додаткова частина газу від прямого відновлення. Крім зазначених енергетичних функцій кокс виконує функцію твердої насадки в зоні розм'якшення та плавлення залізовмісних матеріалів, що забезпечують протиток шихти і газу в печі, а також функцію регулятора газорозподілу по площі поперечного перетину агрегату. Разом із тим виробництво коксу є складним і енергоємним технологічним процесом, що потребує використання дефіцитних коксівних вугілля та супроводжується значними витратами енергоресурсів. Крім того, коксохімічне виробництво характеризується підвищеним техногенним навантаженням на навколишнє середовище, що

пов'язано з утворенням значної кількості газоподібних і твердих відходів. У сучасних умовах розвитку металургійної промисловості особливого значення набуває пошук шляхів зменшення витрат коксу та використання альтернативних вуглецевих матеріалів, які здатні частково виконувати його функції у доменному процесі.

Одним із перспективних напрямів у цьому контексті є застосування термоантрациту, продукту термічної обробки антрациту, що характеризується високим вмістом фіксованого вуглецю, низьким вмістом летких речовин та підвищеною термічною стійкістю. У результаті спеціальної термічної обробки структура антрациту зазнає змін, що сприяє покращенню його фізико-механічних і технологічних властивостей. Завдяки цьому термоантрацит може використовуватися як додатковий вуглецевий матеріал у металургійних процесах, зокрема для часткової заміни коксу у доменній плавці.

Використання термоантрациту дозволяє не лише зменшити споживання коксу, але й підвищити ефективність використання вуглецевої сировини, розширити паливну базу металургійних підприємств та знизити виробничі витрати. Крім того, впровадження технологій переробки антрациту має важливе значення для раціонального використання природних ресурсів та підвищення екологічної безпеки металургійного виробництва. В силу складності зазначених функцій заміщення коксу, в доменній плавці, іншими паливними компонентами, а саме термоантрацитом, не може розглядатися тільки з термохімічних позицій, а вимагає комплексного аналізу всієї технології з метою виявлення режимів, що забезпечують ефективне вирішення задачі [1]. Метою даної бакалаврської роботи є дослідження та розробка технології отримання термоантрациту з метою його використання для часткової заміни коксу у доменній плавці.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Доменна плавка на сирому антрациті

Переломним етапом розвитку доменного виробництва є застосування кам'яного вугілля та отриманого з нього коксу, замість деревного вугілля. З різних видів кам'яного вугілля найбільш широко застосовується в природний антрацит, так як він містить більше вуглецю при малій кількості летких речовин. Так в 1864 року у США 64,4 % всього чавуну було виплавлено на антрациті [2, 3]. Історичний хід подій, з використання антрациту в доменній плавці, більш докладно висвітлює академік М.А. Павлов [4]. Він зазначає, що на практиці застосовувався антрацит в Донецьком басейні, в Англії (Уельс), у Пенсільванії. У сімдесятих роках XIX століття на Сулінському заводі було проведено доменну плавку на антрациті з рудників Кошкина та Грушівського Шахтинського району. Далі М.А. Павлов зазначає, що в 1857 році було розпочато виплавку чавуну в Уельсі (Великобританія) на антрациті, який представляв найчистіше, в порівнянні з коксом, пальне. В ньому було дуже мало золи і сірки, а фосфору містилася незначна кількість. Тому антрацитовий чавун був чистіший коксового і міг конкурувати з коксом. Хоча виплавка його супроводжувалася частими неполадками та різкими скороченнями продуктивності доменних печей. Порушення в ході доменної плавки викликалися фізичними недоліками антрациту: його здатністю розтріскуватися при нагріванні та давати багато сміття в печі. З 1839 року було розпочато виплавку чавуну в США на антрациті, що добувався в Східній Пенсільванії. Цей антрацит різко відрізнявся від уельського за хімічним складом і за фізичними властивостями. Антрацит за своєю будовою представляв собою абсолютно щільну масу з характерним раковистим зламом, позбавлену пір та шаруватості; при нагріванні, він не розтріскувався; при звичайній температурі добре витримував перекидання, вивантаження з вагонів на високих естакадах, не утворюючи дрібниці. Хімічний склад

антрациту характеризувався досить високим для цього типу вугілля вмістом летких речовин близько 8 %, золи в ньому 7-10 % за вмістом сірки та фосфору він міг змагатися найкращим за частотою сортом коксу 0,5 % сірки та 0,01% фосфору. Нелетючого вуглецю цей антрациту сухому стані, містив стільки ж скільки його знаходилося у звичайному коксі 82-84 %, тобто за хімічним складом він був ніби природним коксом. Завдяки своїй щільності він не змочувався водою, а вміст вологи в ньому було зазвичай не більше 2 %.

Таким чином, використання сирого антрациту в доменному плавленні має ряд особливостей, пов'язаних з його фізико-хімічними характеристиками. Незважаючи на високий вміст вуглецю і достатню теплотворну здатність, наявність вологи, підвищена зольність і неоднорідність структури можуть негативно впливати на стабільність технологічного процесу. У зв'язку з цим виникає необхідність попередньої термічної обробки антрациту з метою поліпшення його експлуатаційних властивостей.

1.2 Антрацит як вуглецева сировина для металургії

Антрацит є найбільш метаморфізованим видом кам'яного вугілля з високим вмістом фіксованого вуглецю, який може перевищувати 90 %. Він має низький вміст летких речовин, високу теплотворну здатність та відносно низьку зольність. Завдяки цим властивостям антрацит широко застосовується у різних галузях промисловості. Його використовують: як паливо в енергетиці; у виробництві електродної продукції; у металургійній промисловості; у виробництві карбиду кальцію та інших матеріалів.

У металургії антрацит може застосовуватися як джерело вуглецю або як компонент паливних сумішей. Крім того, антрацит використовується як сировина для отримання різних вуглецевих матеріалів, зокрема термоантрациту. Антрацит це найвищий ступінь вуглефікації кам'яного вугілля і характеризується високим вмістом вуглецю, низьким вмістом летких речовин і високою теплотворною здатністю. В результаті тривалих

геологічних процесів відбувається перетворення органічної речовини рослинного походження, що супроводжується підвищенням ступеня метаморфізму вугілля і збільшенням вмісту вуглецю. Антрацит відрізняється високою щільністю, металевим блиском і значною твердістю. Вміст вуглецю в антрациті досягає 90–98 %, що робить його цінною сировиною для металургійної, енергетичної та хімічної промисловості. Основні родовища антрациту розташовані в Донецькому вугільному басейні, який є одним з найбільших вугільних регіонів Східної Європи. Антрацит, що видобувається в цьому регіоні, широко використовується як сировина для виробництва вуглецевих матеріалів, включаючи термоантрацит. Антрацит має ряд важливих технологічних властивостей: висока концентрація вуглецю; низький вміст летких компонентів; висока теплотворна здатність; стійкість до високих температур. Завдяки цим характеристикам антрацит використовується не тільки як паливо, але і як вихідний матеріал для виробництва різних вуглецевих продуктів.

1.3 Поняття та характеристика термоантрациту

Основною статтею вартості чавуну є вартість коксу. У зв'язку з цим фахівці доменного виробництва безперервно шукають шляхи зниження витрат дорогого і дефіцитного коксу. На даний момент економію коксу забезпечують його замітники:

- природний газ: в сучасних умовах, при його високій вартості і дефіцитності, використання є економічно недоцільним, так як коефіцієнт заміни коксу природним газом в реальних умовах зазвичай не перевищує значення 0,7;

- коксовий газ: його застосування в доменній плавці ускладнюється тим, що для вдування в піч необхідно підвищувати тиск в газодувках, робота яких ускладнена через вміст в ньому смолистих речовин, від яких необхідно

попередньо його очистити. Крім того, наявні обсяги коксового газу доцільніше застосовувати як паливо в прокатному виробництві тощо;

- пиловугільне паливо: для вдування ПУТа необхідна закупівля великої кількості додаткового дорогого обладнання, а також подальше його обслуговування, що є серйозним недоліком.

Всі перераховані вище методи передбачають подачу заміників коксу безпосередньо через фурми в зону горіння. В силу цього неможливо забезпечити витрату коксу нижче 250-300 кг/т чавуну. Це пояснюється тим, що кокс повинен виконувати ще й роль «розпушувача» стовпа шихтових матеріалів.

Ефективним напрямком коксозамісної технології є використання антрациту. Використання антрациту не призводить до істотної зміни основних технологічних параметрів процесу: продуктивність, вихід колошникового газу, утворення шлаку і його основність коливаються в межах, характерних для роботи печей. Чавун, за хімічним складом, відповідає стандарту. Крім того, перевага заміни коксу кам'яним вугіллям також у тому, що воно подається через колошник. В 1911 році на електродних заводах Європи та Америки застосовувалися методи прожарювання антрациту метою підвищення його властивостей міцності при високих температурах. Ґрунтуючись на цьому досвіді Г.К. Мірошніченко [5, 6] провів великий обсяг експериментальних досліджень та робіт зі зміни фізико-хімічних властивостей антрациту; отримання термоантрациту та розробки печей для його отримання. М.А. Павлов у передмові книги Г.К. Мірошніченка «Термоантрацит - як новий вид металевого палива» пише, що теплова обробка антрациту може дати матеріал, що не дробиться в дрібницю і зберігає форму кусків при послідовному нагріванні в печі, матеріал міцніший ніж кокс, позбавлений значної міри, своєї сірки і ще більш щільний ніж природний антрацит. Це дозволить ввести доменну плавку так само як її ввели на пенсільванському антрациті, тобто без засмічення печі, що постійно спостерігається при сирому Донецькому антрациті. Вперше в 1933 році було

організовано дослідне отримання термоантрацит на Сулінському металургійному заводі з метою випробування його в доменних печах заводу. Термоантрацит було отримано шляхом поступового підбору відповідних температурних умов обробки антрациту на печах напівпромислового типу. Експериментальні роботи проведені на Сулінському металургійному заводі стосовно розробки технологічного процесу показали, що термічна стійкість антрациту може бути досягнута за умови поступового прожарювання його за спеціальною кривою температурного режиму, яка була отримана в результаті ряду тривалих дослідів та спостережень. Тепловий режим печі повинен забезпечувати плавний хід нагріву антрациту в його критичних точках в інтервалі між 520-600 °С, в залежність від пластів антрациту в його критичних точках і максимального нагріву для металургійного палива 1150 °С, а для електронної сировини 1350 °С. На рисунку 1.1 приведена крива нагріву, де на осі абсцис показано відстань від пода печі, а на осі ординат - температури по висоті печі.

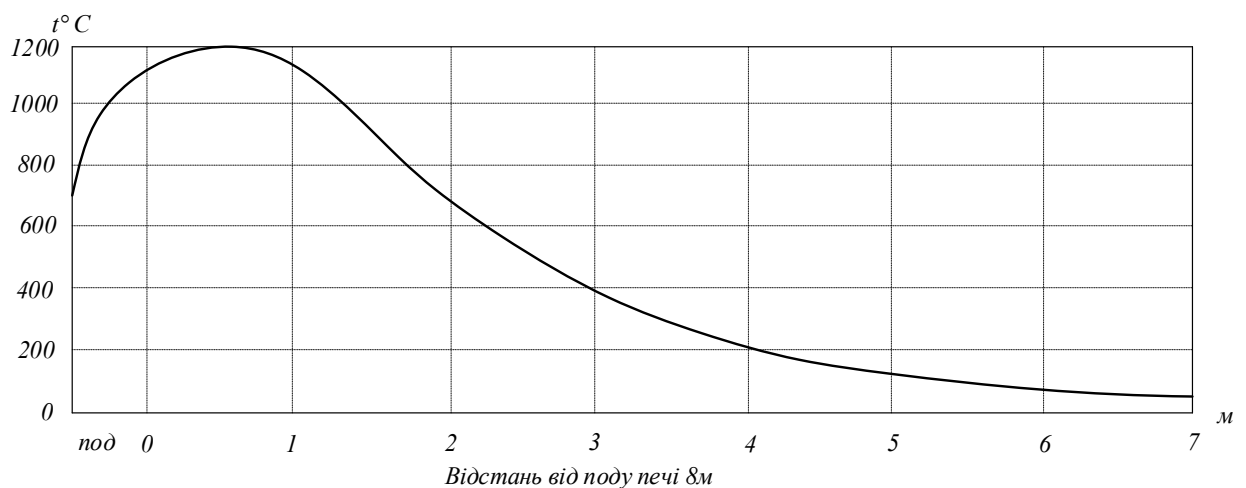


Рис. 1.1. Крива нагріву антрациту в малих печах

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5]

При дотриманні, протягом термічної обробки, даної кривої антрацит, внаслідок поліпшення своїх фізико-хімічних властивостей, повністю втрачає здатність руйнуватися, при різких змінах температурних впливів, набуваючи

підвищеної механічної міцності та пористості в результаті утворення макро та мікротріщин [5]. Подальше дослідження автора роботи [5,6] в галузі зміни фізико-хімічних властивостей антрациту було спрямовано на надання антрациту термічної стійкості. При повторному різкому нагріванні термоантрацит повинен зберігати свої механічні властивості. Нормальна крива температурного режиму при термічній обробці антрациту наводиться на рисунку 1.2.

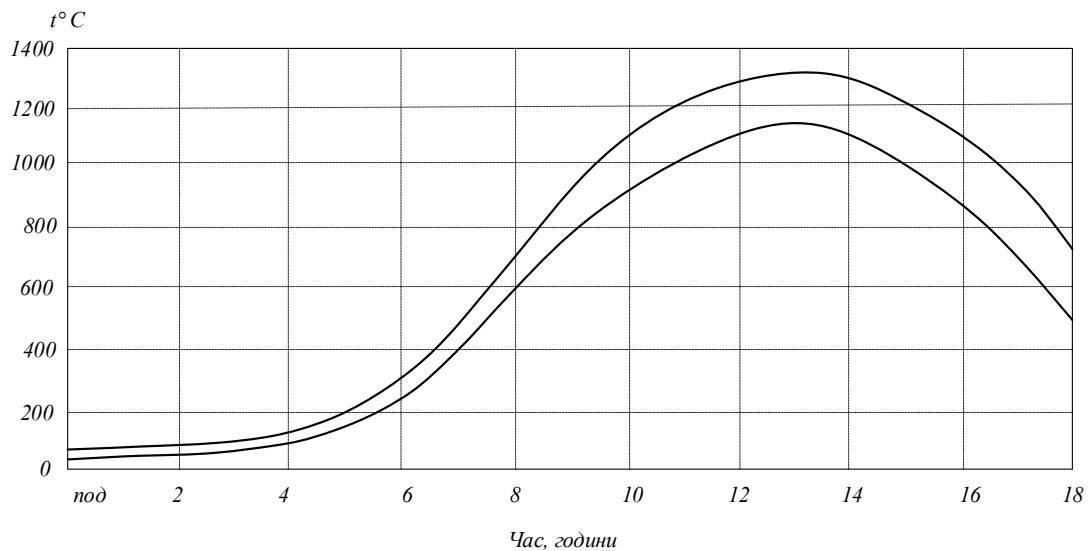


Рис. 1.2. Крива температурного режиму при термічній обробці антрацитів у печах на природній тязі

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5,6]

Як бачимо з рисунку, нагрівання антрациту відбувається плавно і поступово. Процес теплової обробки антрациту може бути розділений на чотири основні стадії: перша: попереднє прогрівання до 300° С завантаженого верхню частину шахтної печі антрациту. Цей процес супроводжується виділенням вологи і початком сухої перегонки складової органічної маси антрациту, що легко розкладається. Друга - це плавне нагрівання від 300 до 700 °С. Як показали досліди, в цих межах температур, антрацит проходить критичні точки для окремих пластів, що визначаються при різних температурах. При цих же температурах відбувається розкладання твердих вуглеводневих сполук перегонки їх у верхній частині печі. Третя

стадія - це нагрівання від 700 °С до вищої точки. Залежно від призначення готового продукту - це стадія супроводжується енергичним виділенням водню та летких речовин. Воно сповільнюється лише при температурі близько 1100 °С, із одночасною зміною структури з утворенням макро та мікропор. Це виявляється по помітному збільшенню справжньої питомої ваги (усадка) і одночасному збільшенню загальної пористості кусків антрациту. Остання стадія обробки - охолодження готового продукту, вона протікає по-різному залежно від конструкції печей. Охолодження можливе при швидкому падінні температури за методом мокрого гасіння і при повільному - за методом сухого повільнішого охолодження. При мокрому гасінні або при гасінні парам спостерігається додаткові зміни у складі термотрациту, подальше зменшенні вмісту сірки. При отриманні термоантрациту відбувається часткова газифікація вихідного антрациту. Вона коливається від 10 до 18 % залежно від типу та конструкції печі. За рахунок тепла, що виділяється при цьому, відбувається ряд фізико-хімічних змін в антрациті. Вони обумовлюють перехід антрацитів термоантрацит. процеси горіння йдуть у термоантрацитовій печі при нестачі повітря та при добавці водяної пари. Гази, що залишають термоантрацитову піч, мають наступний склад (табл.1.1)

Таблиця 1.1

Склад газів, що залишають термоантрацитову піч

Газ	CO ₂	O ₂	CO	CH ₄	H ₂	H ₂ S
Склад, %	8,7-10,2	0,2-0,8	11,9-16,0	0,4-1,2	11,2-22,5	0,1-0,6

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5, 6]

Вища теплотворна здатність відповідно до зазначених вище коливань у складі газу, в залежності від конструкції системи печі, що працюють на природній тязі або на примусовому пароповітряному дутті, також коливається. Її мінімум – 786 кал/м³ та максимум – 1126 кал/м³. На рисунку

1.3 представлено загальний вигляд антацита (зліва) та термоантраціта (зправа), у таблиці 1.2 - параметри форми антрацита та термоантрацита.



Рис. 1.3. Фото антацита (зліва) та термоантраціта (зправа)

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5, 6]

Параметри форми антрацита та термоантрацита

Показник	Антрацит	Термоантрацит
Середній еквівалентний діаметр, мм	$32,5 \pm 2,1$	$19,25 \pm 5,7$
Фактор форми ϕ	$0,443 \pm 0,047$	$0,369 \pm 0,182$
Середня поверхня, мм^2	835 ± 106	323 ± 166
Середній об'єм, мм^3	16722 ± 2980	3404 ± 2411
Питома поверхня куска, $\text{мм}^2/\text{мм}^3$ чи в $\text{м}^2/\text{кг}$	$0,050 \pm 0,003$ $0,036$	$0,125 \pm 0,070$ $0,067$

Таким чином, термоантрацит є продуктом високотемпературної обробки антрациту, в процесі якої відбувається видалення летючих компонентів, зниження вмісту води і часткове структурне впорядкування вуглецевої матриці. В результаті термообробки поліпшуються фізико-хімічні та технологічні характеристики матеріалу, що розширює можливості його застосування в металургійному виробництві.

1.4 Фізико-хімічні властивості термоантрациту

Термоантрацит є продуктом високотемпературної термічної обробки антрациту, який отримується в процесі його прожарювання в спеціальних печах. В результаті такої обробки відбувається видалення води, летючих

речовин і часткове впорядкування структури вуглецю. Згідно з міждержавним стандартом ГОСТ 4794-97, термоантрацит є вуглецевим матеріалом, що отримується з антрациту і застосовується для виробництва вугільних електродів, вуглецевих блоків доменних печей і футерувальних матеріалів для металургійної та хімічної промисловості.

Термоантрацит являє собою щільний вуглецевий матеріал з металевим блиском, який зазвичай має фракційний склад від 10 до 120 мм. Основний компонент речовини - вуглець, вміст якого досягає 96–98 %. Крім вуглецю, у складі присутні невеликі кількості водню, азоту, сірки та кисню.

Основними відмінними рисами термоантрациту є: висока електропровідність; низький питомий електричний опір; висока механічна міцність; термічна стійкість; низький вміст летких речовин. Завдяки цим властивостям термоантрацит широко застосовується в різних галузях промисловості, насамперед у металургії та електродному виробництві.

Фізико-хімічні властивості термоантрациту багато в чому визначаються ступенем прожарювання вихідного антрациту. У процесі високотемпературної обробки відбуваються значні зміни структури вуглецевого матеріалу.

Основні показники якості термоантрациту включають: вміст вуглецю; зольність; вологість; механічну міцність; питомий електричний опір.

Згідно з вимогами стандарту, зольність термоантрациту зазвичай не перевищує 4–5 %, а вміст води становить не більше 1,5 %.

Питомий електричний опір термоантрациту становить близько $(970-1000) \times 10^{-6}$ Ом·м, що свідчить про високу електропровідність матеріалу.

Типовий хімічний склад термоантрациту: вуглець 96–98 %; водень 0,2–0,5 %; сірка 0,5–1,5 %; азот 0,7–0,85 %; кисень 0,5–0,85 %.

Така висока концентрація вуглецю обумовлює високу теплопровідність і стійкість матеріалу до впливу високих температур.

В процесі термічної обробки антрацит різко змінює свої фізико-хімічні властивості.

Технічний аналіз

Аналіз результатів досліджень змін механічних і технологічних властивостей антрациту, в процесі його термічної обробки, показав, що антрацит втрачає вологу, зменшуються летючі речовини. Зменшуються вміст загальної сірки, різко підвищується механічна міцність і набувається термічна стійкість, утворюється пористість, відбувається усадка маси палива і нарешті спостерігається деяке збільшення зольності, як за рахунок видалення вологи та летких речовин, так і за рахунок чаду частини нелетючого вуглецю. При обробці термоантрациту до температури 1000 °C поглинальна здатність зростає, а при температурі 1100-1300 °C знижується. Крім того, термічна обробка після температури 1000 °C викликає зростання електропровідності та зменшення адсорбційної здатності, а також збільшення теплопровідності [5,6].

Зольність

Кількість золи в термоантрациті знаходиться в прямій залежності від зольності вихідних антрацитів. Дослідження показують, що склад золи при термообробці не зазнає суттєвої зміни. Досвід довів можливість з антрациту зольністю від 3,5 до 4,5 %, отримати термоантрацит зольністю не вище 4,2-5,0 %.

Вміст сірки

Сірка в антрацитах присутня у вигляді піритної, сульфатної та органічної форми. Загальне зменшення вмісту сірки в термоантрациті, порівняно з його сирим антрацитом, коливається в залежності від окремих пластів вихідного антрациту від 25 до 50 % до її первісного вмісту.

Елементний склад

Встановлено, що при термообробці антрацитів, збільшується відсоток паливної маси і в ній:

- а) збільшується вміст вуглецю;
- б) значно зменшується вміст водню;
- в) спостерігаються постійне хоча невелике зменшення вмісту азоту;

г) коливання у вмісті органічної сірки та кисню непостійні.

Теплотворна здатність

Теплотворна здатність органічної маси зменшується, а теплотворна здатність окремих зразків термоантрациту може залишатися близькою до теплотворної здатності сирого антрациту.

Середні дані по теплотворній здатності на робоче паливо антрацит 7483,4 ккал/кг термоантрацит 7674,7 ккал/кг і кокс 7270,0 ккал/кг. З цих даних бачимо, що теплотворна здатність у робочого палива термоантрацита вище ніж у антрациту та коксу.

Питома вага та пористість

Істинна питома вага антрациту коливається в межах від 1,36 до 1,84 г/см³ в залежності від ступеня їх вуглефікації та зольності. Справжні питомі ваги термічно обробленого антрациту завжди зростають за рахунок усадки та підвищення твердості у зв'язку із зміною молекулярної структури вуглецю палива. Гадана питома вага антрацитів тільки трохи менше ніж істина питома вага. Це пояснюється, порівняно з коксом, незначною кількістю внутрішніх порожнин. Пористість антрациту низька і становить 0,76 максимум 1,2 %.

Що стосується об'ємної ваги термічно обробленого антрациту то він залежить і від природи оброблюваного антрациту і від умов обробки. При цьому зростає пористість від 2,2 до 4,6 рази.

Механічна міцність

Механічна міцність антрацитів (опір роздавлюванню, стирання та стійкість по відношенню до ударів) зростає при його правильній термічній обробці. Термоантрацит, отриманий на овальних печах Червоно-Сулинського металургійного заводу давав такі показники механічної міцності: опір на роздавлювання для кубиків з ребром 45-50 мм дали в середньому для антрациту 220 кг/см³, для термоантрациту - 650 кг/м³ для 650 кг/м³ для - 26 кг/м³. Для термоантрациту, як для металургійного палива, набагато більше значення має опір на стирання і удар. Випробування на стирання проводилися у великому стандартному барабані при завантаженні 410 кг

термоантрацита та у малому барабані з пробою 20 кг. У першому випадку як середнє для великого числа валових проб, отриманий залишок в барабані від 298 до 320 кг, при нормальному для коксу залишку 300 кг. Результати випробувань на малому барабані, з наступним розсіванням на фракції за величиною кусків, наведених на рисунку 1.4, ще більшою мірою підкреслюють підвищення механічних властивостей термообробці.

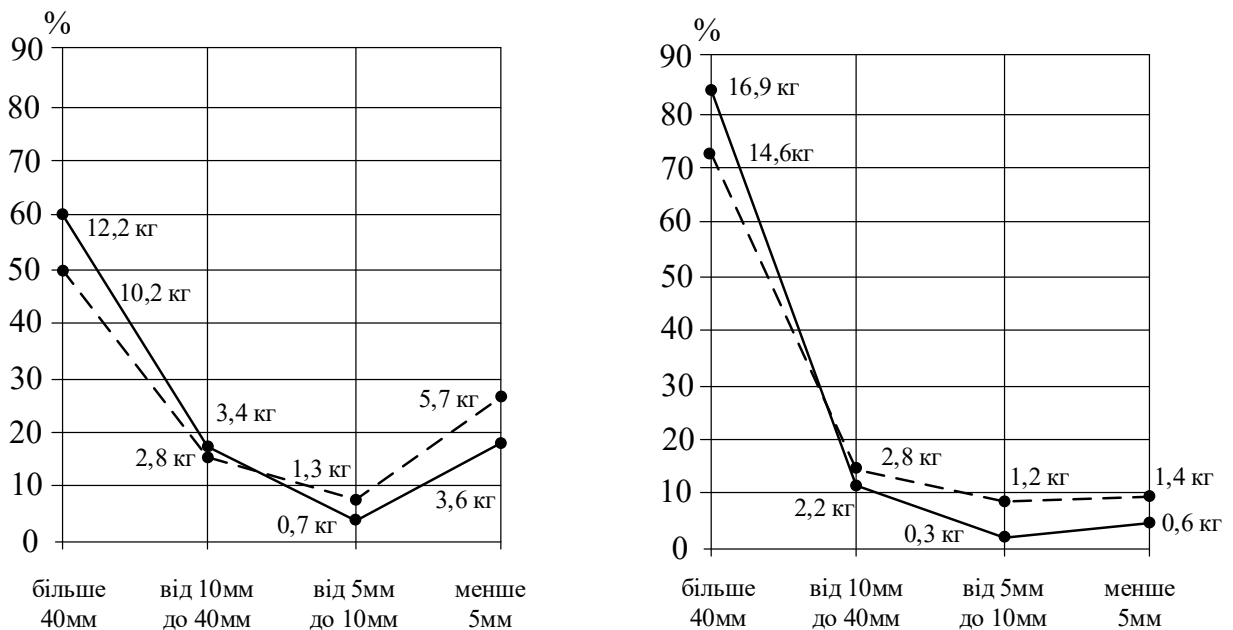


Рис. 1.4. Порівняльна механічна міцність термоантрациту та антрациту в барабані та в ящику на скидання
(----- антрацит; — термоантрацит)

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5,6]

Опір удару визначалося методом скидання зі стандартного ящика з висоти 2 м на чавунну плиту. Термоантрацит давав менше дрібниці та штибу, ніж сирий антрацит.

Термічна стійкість

Однією з важливих властивостей палива є його термічна стійкість. Для проведення випробувань на термостійкість у заводських умовах автором [5,6] було розроблено доступну методику. Випробовуване паливо підлягало різкому нагріванню до 1300 °С на горні протягом 8-10 хвилин. Після прогріву випробовувані зразки швидко охолоджуються і піддаються в малому

барабані випробуванню з наступним розсіванням і скидання з висоти 2 м протягом 4 разів. Результати випробувань наведено на рисунках 1.5 та 1.6.

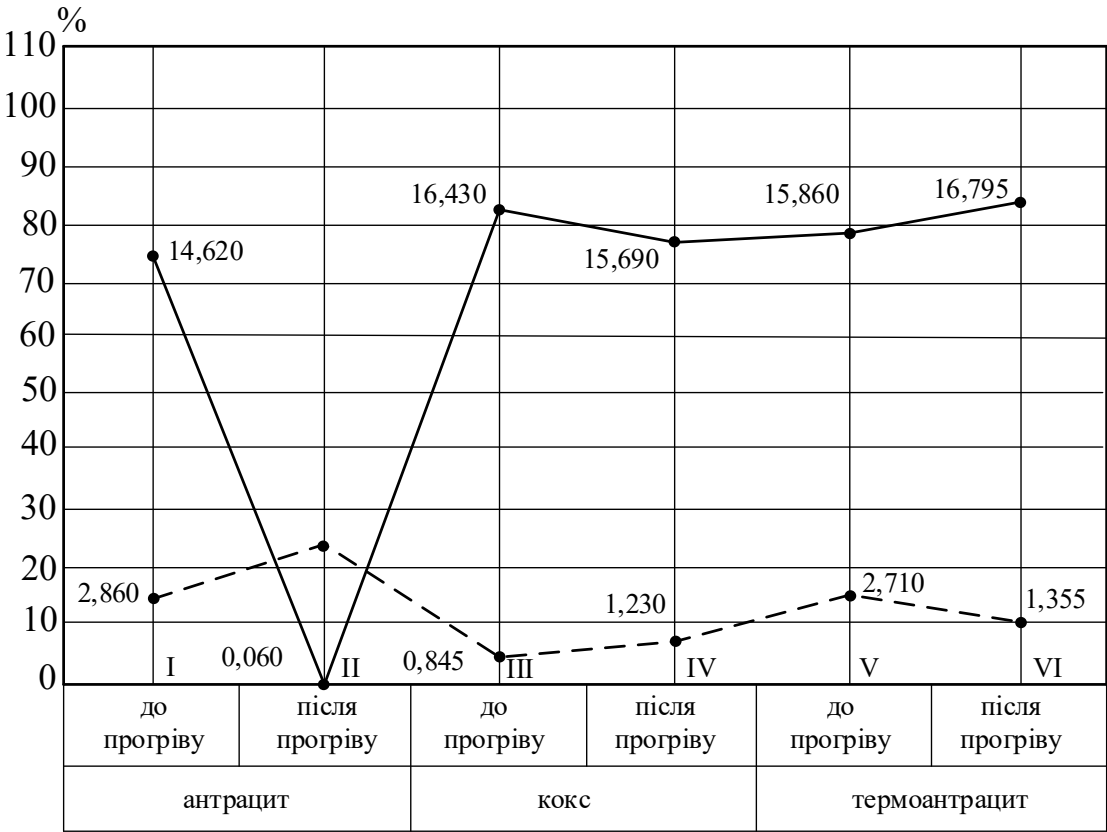


Рис. 1.5. Результати порівняльних випробувань термічної міцності термоантрациту та антрациту й коксу в барабані (----- штиб; _____ фракції > 40 мм)

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5,6]

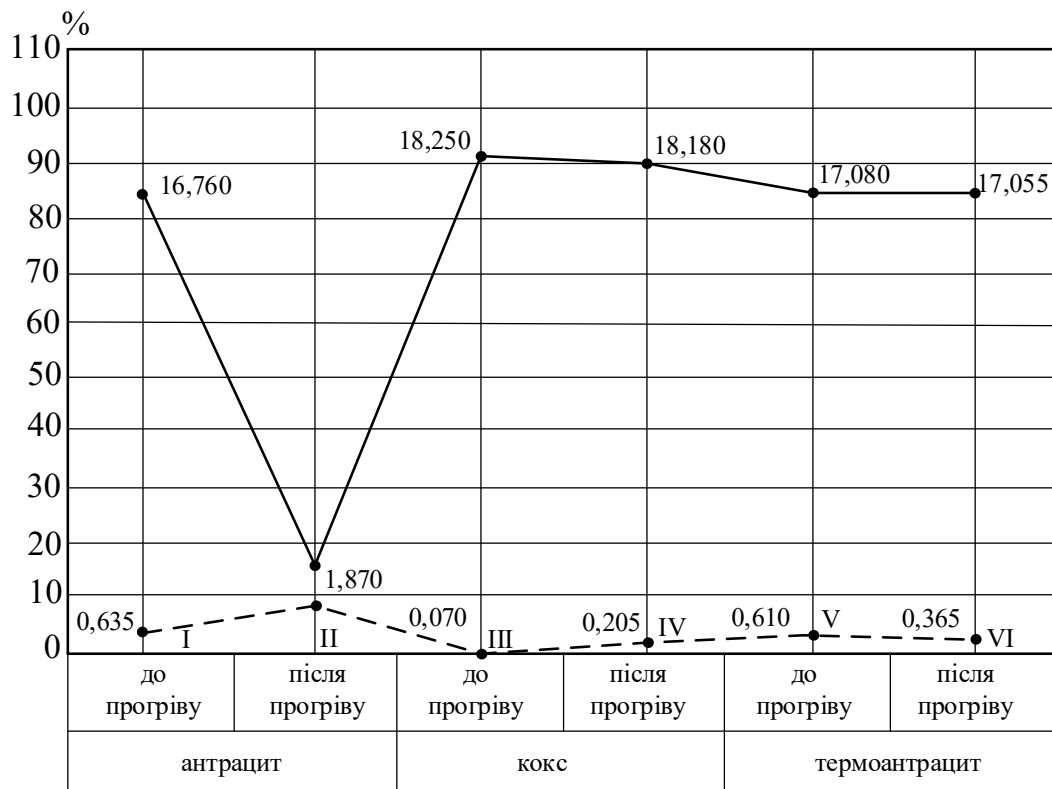


Рис. 1.6. Результати порівняльних випробувань термічної міцності термоантрациту та антрациту й коксу в барабані (----- штиб; _____ фракції > 40 мм)

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5,6]

Випробування підтверджують значну термостійкість термоантрациту. Характерною є і підвищення його твердості, що визначається за шкалою Мосса, що дорівнює 8-9, у той час як вихідні антрацити менш вуглефікування - від 3 до 5.

Горючість

Температури займання, що визначаються для зерен 3-5 мм в струмі повітря 15 л/год.: для антрацитів 538-545 °С, для термоантрацитів 631-640 °С і для коксу 649-700 °С. Таким чином, початкова температура займання термоантрацита займає проміжне місце між коксом і антрацитом. При підвищенні температури палне термоантрацита збільшується і стає більше горючості антрациту. На рис. 1.7 наведені криві швидкостей вигорання антрацита та термоантрациту при різних температурах.

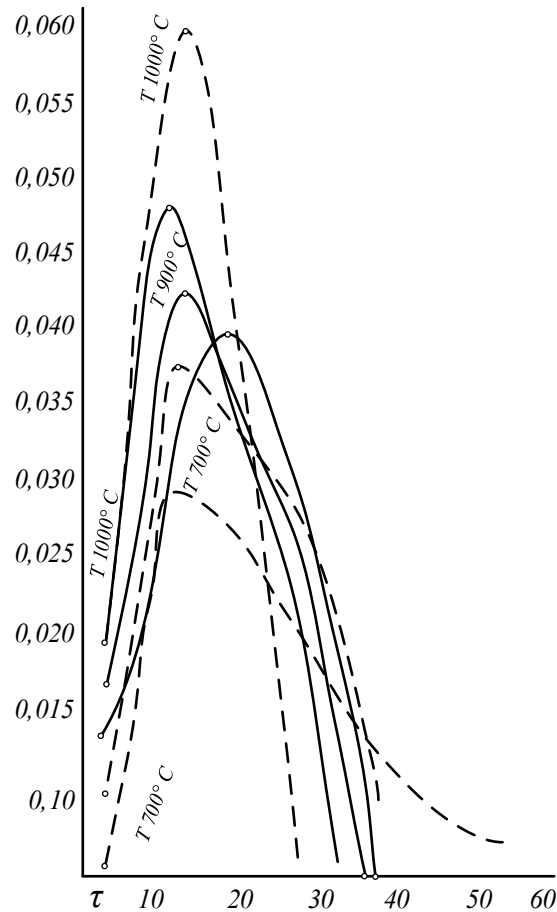


Рис. 1.7. Порівняльна горючість термоантрациту та його початкового антрациту в залежності від температури (----- термоантрацит; _____ антрацит)

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5,6]

Реакційна здатність

Реакційну здатність визначають як здатність палива відновлювати діоксид вуглецю за реакцією $C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$. Метод визначення реакційної здатності, прийнятий автором [5,6], полягає в тому, що шар подрібненого до 2-3 мм кусків випробуваного палива піддається, при постійній температурі, дії струменя CO_2 у укріпленій вертикально фарфоровій трубці діаметром 15-20 мм. У нижню частину трубки клали куски шамоту для забезпечення підведення підігрітого вуглекислого газу. Потік вуглекислого газу пропускали з розрахунком наповнення 100 cm^3 бюретки за 50-60 хв. У суміші відхідних газів, що утворюється при цьому, визначали вміст CO_2 та CO . За результатами аналізу обчислюється виражене у відсотках відношення

кількості кисню в монооксиді вуглецю до суми його кількості в диоксиді та монооксиді вуглецю, яке приймається за міру реакційної здатності палива. Отримані дані дозволили автору [5,6] зробити висновки про те, що найбільша реакційна здатність антрацитів, потім знижується у термоантрацитів з подальшим зменшенням у коксу (табл.1.3).

Таблиця 1.3

Реакційна здатність антрацитів, термоантрацитів та коксу

Найменування палива	При 600 °С вміст СО в %	При 700 °С вміст СО в %	При 770 °С вміст СО в %
Антрацит	4,6	13,1	15,4
Термоантрацит	1,9	3,1	5,1
Кокс	1,2	2,7	5,1

Усадка антрациту при термообробці

Виточена з антрациту куля після випалу в печі набуває форми еліпсоїда обертання. Це вказує на неоднорідність усадки в межах 9-18 %. Для з'ясування характеру усадки були зроблені макрорентгеноз'ємки зразків антрациту і термоантрациту, взятих від одного і того ж вихідного куска. Рентгенівське дослідження показало, що усадка відбувається перпендикулярно до ліній спайності антрациту.

Характер зольних включень

Вихідні антрацити класифікують на 3 типи: I, II, III за характером зольних включень. Тип структури I характеризується раномірним розподілом зольних включень. Тип структури II має різко виражені зольні включення у вигляді тонких безперервних прошарків. Тип структури III за своїм характером наближається до першого типу, відрізняючись від нього наявністю більш менш помітної кількості зольних включень, спрямованих перпендикулярно до основних шарів зольності. Оброблені термічно шматки термоантрациту мають більшу поглинання, ніж вихідні антрацити, незважаючи на усадку за загальною товщиною зразка. Загальне розташування зольних включень залишається незмінним. Порівняльний аналіз фізико-хімічних властивостей термоантрациту з сирим

антрацитом і коксом показало, що термоантрацит придатний у суміші з коксом для доменної плавки, у зв'язку з чим представляє інтерес конструкції печей для отримання термоантрациту. Термоантрацит отримують прожарюванням антрациту за високої температури $\approx 1200\text{--}1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ без доступу повітря. Такий процес видаляє леткі речовини, підвищує щільність та покращує електропровідність матеріалу.

Таким чином, аналіз фізико-хімічних властивостей термоантрациту показує, що даний матеріал характеризується високим вмістом вуглецю, низькою вологістю і зольністю, а також високою термічною стійкістю і електропровідністю. Сукупність цих властивостей забезпечує можливість ефективного використання термоантрациту в різних високотемпературних металургійних процесах.

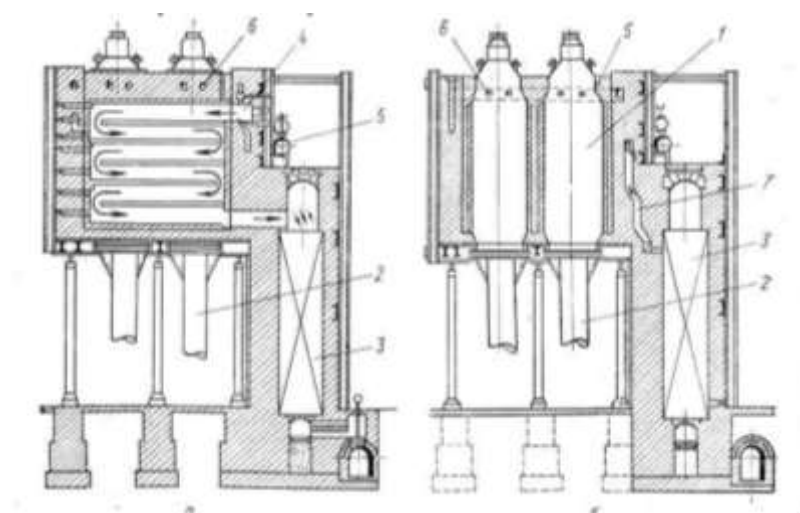
1.5 Аналіз перших конструкцій печей для отримання термоантрациту

Історично перші конструкції печей для отримання термоантрациту з'явилися разом із розвитком електродної та феросплавної промисловості на початку XX століття. Це були ретортні печі (перші конструкції) (рис.1.8). Це один з ранніх типів печей для отримання термоантрациту. Конструкція: герметична металева або шамотна реторта (камера); зовнішній обігрів газовими або вугільними пальниками; антрацит завантажується всередину реторти; продукти розкладання видаляються через газовідведення.

Особливості: нагрівання відбувається побічно через стінки реторти; забезпечується відсутність кисню; порівняно невелика продуктивність.

Недоліки: нерівномірне нагрівання; складність завантаження та вивантаження; обмежений обсяги виробництва.

Тому такі печі застосовувалися у ранніх лабораторних та невеликих промислових установках.

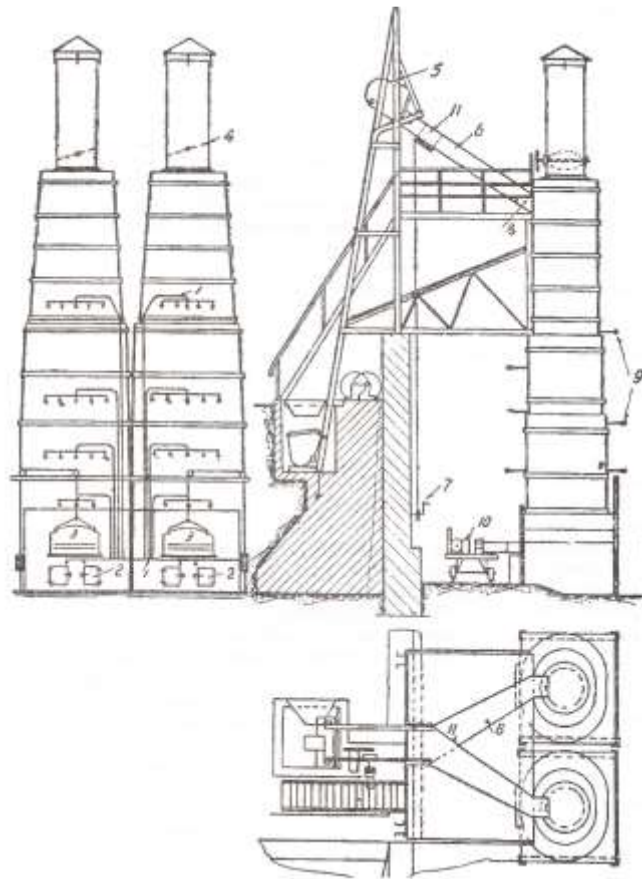


1 - реторта – герметична камера, де знаходиться антрацит; 2 - пальник – джерело тепла; 3 - канал гарячого повітря – підведення нагрітих газів; 4 - рекуператор - використовує тепло газів, що відходять; 5 - канал відведення летких речовин; 6 - вікно виходу газів піролізу; 7 - охолоджувач продукту

Рис. 1.8. Реторна піч для отримання термоантрацитів

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5, 6]

На Червоно-Сулінському металургійному заводі була побудована перша шахтна механізована піч, в якій джерелом теплоти є доменний газ, що згорає у спеціальній топці. Внутрішній діаметр печі – 2,5 м., а висота близько 5 м. Але при роботі не було можливості регулювання процесом горіння для забезпечення рівномірного проходження шихти. Це приводило до нерівномірної обробці антрациту. Антрацит був низької якості. Невдалий вибір конструкції печей, які були аналогом печей для обробки цементу. На рисунку 1.9 показано овальні термоантрацитові печі Сулінського заводу, системи Г.К. Мирошніченко [5, 6]. Антрацит проходить поступову теплову обробку та охолоджується у низу перед виходом з печі. Антрацит однорідний та високоякісний. Ця піч дає високу кінцеву температуру прожарювання.



1 – підведення пари; 2 - зольник; 3 - приймач; 4 – шибера; 5 – скип; 6 – стрічковий конвеєр; 7 – лебедка; 8 – приймач; 9 – термопари; 10 – штовхач; 11 – затвор

Рис. 1.9. Овальні термоантрацитові печі Сулінського заводу, системи Г.К. Мирошниченко

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5, 6]

Експериментальна піч з 4 зонами обробки антрациту була спроектована та побудована в Новочеркаському інституті (рис.1.10).

Піч – вертикальна шахтна з безперервним вантажопотіком. Антрацит завантажується у її верхню частину та проходжуючи усі зони обробки, вивантажується у низу у спеціальний бункер. Конструкція печі дає можливість мати розтягнуту зони випалення, що забезпечує рівномірний прогрів антрациту та збільшує швидкість процесу

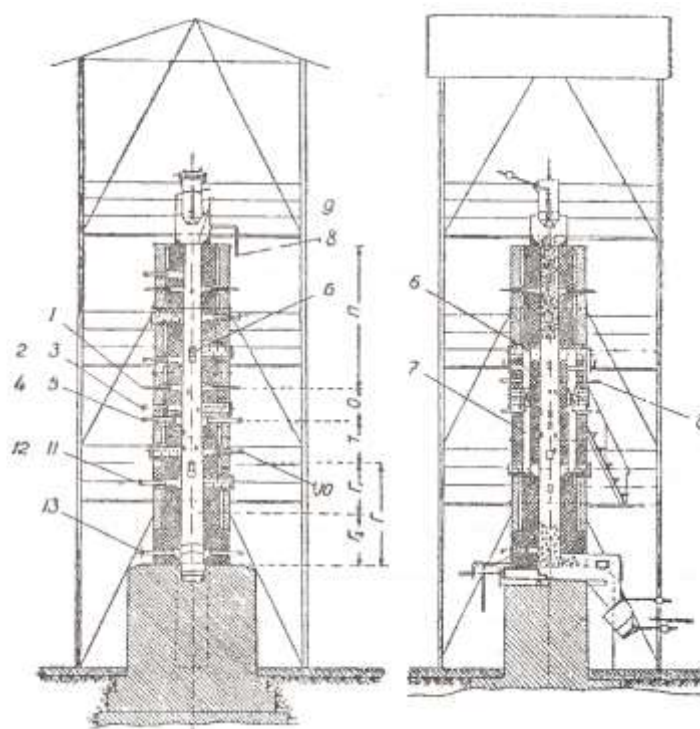


Рис. 1.10. Дослідна шахтна термоантрацитова піч з 4 зонами обробки системи Г.К. Мирошніченко

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6]

Таким чином, проведений аналіз технологічного обладнання показав, що для отримання термоантрациту застосовуються різні типи печей високотемпературного прожарювання, включаючи шахтні, обертові та електричні печі. Використання даних агрегатів дозволяє забезпечити рівномірний нагрів антрациту до необхідних температур і отримання продукту із заданими фізико-хімічними характеристиками.

1.6 Перша дослідна доменна плавка на термоантрациті

Перша дослідна доменна плавка на термоантрациті була проведена у 1935 році [5]. Було поставлено завдання підтвердити можливість заміни кокса термоантрацитом без порушення нормального режиму роботи доменної печі при умовах отримання якісного чавуну. Питання заміщення

коксу в доменних печах іншими видами палива завжди досліджувались в металургії. Середній склад сирих матеріалів шихти показаний у табл.1.4.

Таблиця 1.4

Середній залишок сирих матеріалів шихти, %

матеріали	зола	S	Волога	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	MgO	CaO	P	П.п.п.	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO
кокс	12,6	2,06	6,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Термоантрацит	5,35	1,34	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Аналіз золи коксу	-	1,02	-	39,85	19,85	19,82	1,04	1,09	3,66	0,081	-	-	-	-
Аналіз золи термоантраціту	-	0,27	-	33,00	20,00	25,00	0,29	0,72	2,10	0,20	-	-	-	-
Руда залізна 16/VI	-	0,08	-	12,6	0,41	57,79	0,14	сліди	0,99	0,08	3,02	-	-	-
Руда залізна 17/VI	-	0,05	-	13,88	3,53	54,75	0,27	0,08	0,29	0,09	2,7	-	-	-
Руда залізна 19/VI	-	0,06	-	11,82	1,59	57,19	0,26	сліди	0,23	0,102	3,04	-	-	-
Шлак мартезовський	-	0,21	-	25,00	4,49	10,0	8,0	7,93	34,74	0,87	-	3,83	6,97	12,28
Камінь вапняковий	-	0,07	-	1,8	0,19	-	0,08	0,55	52,50	0,04	-	0,7	-	-

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6]

Результатом першої дослідної доменної плавки на термоантрациті за думкою Г.К. Мирошніченка є наступне, отриманий матеріал в основному дозволяє характеризувати роботу доменної печі з постійним збільшенням участі термоантрацита до 75 %. Чавун був однорідним за хімічним складом з коливаннями вмісту кремнію 0,80-1,22 % та сірки 0,027-0,059 %. Сходження шихти вільне. Використання палива в доменній печі було значно краще, чим на коксі, - так при однаковій шихті при плавці на одному коксі витрата палива на 1 т чавуну була 1,183 т, а в період дослідної плавки на термоантрациті витрата знизилася до 1,000 т. При перерахунку на умовне паливо зниження витрати склало - 0,058 т або 5,8 %. Низький вміст сірки в термоантрациті від 0,6- до 1,0 % дозволив знизити основність шлаків. Це дозволило знизити витрату вапняку с 0,580 до 0,418 т/т чавуну.

Далі приводимо висновки автора роботи:

- розроблені технологічних процес та печі для отримання високоякісного металургійного палива – термоантрацита;
- доменна плавка зі заміщенням кокса термоантрацитом в кількості 50 % можлива. У табл. 1.5 наводиться склад шихти з 75 % термоантрацу.

Таблиця 1.5

Склад шихти з 75 % антрациту

Найменування матеріалів	Вага	Fe		Mn		SiO ₂		CaO+MgO		Al ₂ O ₃		S	
		%	Вага, кг	%	Вага, кг	%	Вага, кг	%	Вага, кг	%	Вага, кг	%	Вага, кг
Руда залізна	3300	57,0	1881	0,22	7,26	12,0	396,0	0,6	16,5	2,5	82,5	-	-
Руда марганцева	100	0,7	0,7	2,32	23,32	3,63	36,3	3,43	34,3	4,10	41,0	-	-
Мартеновський шлак	550	10,0	55,0	8,0	44	25,0	137,5	42,67	234,7	4,79	26,35	-	-
Вапняк	990	-	-	-	-	1,8	17,82	53,03	525,2	-	-	-	-
Зола коксу	82	19,82	32,68	-	-	39,85	32,68	4,75	3,90	19,85	16,28	-	-
Зола термоантрациту	104	25,0	26,0	-	-	33,0	34,32	2,82	2,93	20,0	20,80	-	-
Кокс	650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,1	13,65
Термоантрацит	1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	26,13
Усього	-	-	1995,3	-	74,58	-	654,6	-	817,5	-	186,9	0,4	39,78
Йде у чавун	-	-	1995,4	-	49,1	-	41,17	-	61,16	-	-	0,4	34,95
Йде у шлак	-	-	9,98	-	25,48	-	613,4	-	756,4	-	186,9	-	-

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6]

Таким чином, результати дослідних доменних плавок з використанням термоантрациту свідчать про можливість його ефективного застосування в доменному виробництві. Застосування даного матеріалу сприяє поліпшенню теплового режиму доменної печі, підвищенню стійкості технологічного процесу і збільшенню ефективності металургійного виробництва.

1.7 Висновки до аналітичної частини

Термоантрацит є важливим вуглецевим матеріалом, що отримується шляхом високотемпературного прожарювання антрациту. Завдяки високій концентрації вуглецю, низькому електричному опору і високій термічній стійкості він широко застосовується в металургійній, електродній і хімічній промисловості. Удосконалення технологій отримання термоантрациту є важливим завданням сучасної промисловості, оскільки дозволяє підвищити якість вуглецевих матеріалів і поліпшити ефективність металургійних процесів. На підставі проведеного аналізу науково-технічних джерел та розгляду особливостей застосування антрациту і термоантрациту в металургійних процесах можна сформулювати наступні висновки.

Встановлено, що застосування сирого антрациту в доменному плавленні пов'язане з рядом технологічних обмежень, обумовлених

наявністю вологи, зольних домішок і недостатньою стабільністю фізико-хімічних характеристик палива. Зазначені фактори можуть чинити негативний вплив на тепловий режим доменної печі і стійкість перебігу металургійних процесів.

Показано, що термоантрацит є продуктом високотемпературної обробки антрациту, в результаті якої відбувається видалення летючих компонентів, зниження вологості та часткове структурне впорядкування вуглецевої матриці. Термічна обробка вихідної сировини забезпечує підвищення якості вуглецевого матеріалу та поліпшення його експлуатаційних характеристик.

Аналіз фізико-хімічних властивостей термоантрациту свідчить про те, що даний матеріал характеризується підвищеним вмістом вуглецю, низькими значеннями зольності і вологості, а також високою термічною стійкістю і електропровідністю. Сукупність зазначених властивостей дозволяє розглядати термоантрацит як перспективний вуглецевий матеріал для використання в металургійному виробництві. Розглянуто обладнання та технологічні схеми отримання термоантрациту. Встановлено, що для реалізації процесу високотемпературного прожарювання антрациту застосовуються різні типи печей, включаючи шахтні, обертові та електричні агрегати, що забезпечують нагрівання матеріалу до температур близько 1200–1400 °C і формування необхідних властивостей готового продукту. Аналіз результатів дослідних доменних плавок із застосуванням термоантрациту показує, що використання даного матеріалу сприяє поліпшенню теплового режиму агрегату, підвищенню стабільності ходу плавки та ефективності металургійного процесу. Це підтверджує доцільність подальших досліджень і розширення практичного застосування термоантрациту в доменному виробництві. Розглянуті в аналітичній частині фізико-хімічні властивості термоантрациту, а також існуючі технології його отримання та результати дослідних плавок свідчать про доцільність більш

детального вивчення технологічних параметрів процесу виробництва даного матеріалу та умов його використання в металургійному виробництві.

У зв'язку з цим у другому розділі роботи розглядаються технологічні особливості отримання термоантрациту, аналізується обладнання, що застосовується, а також виконуються необхідні розрахунки та обґрунтування параметрів технологічного процесу.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Технологія отримання термоантрациту

Антрацити, які використовують в складі електродної маси, повинні мати мінімальну кількість золи, сірки, вологи та високий вміст вуглецю, а також низький питомий електроопір, високу механічну міцність та теростійкість, які визначають галузь їх використання.

Антрацит поступає зі збагачувальних фабрик та підлягає термічній обробці для покращення комплексу фізики-механічних властивостей та зростання термічної стійкості, зменшення електроопору та реакційної здатності, збільшення щільності структури. Необхідність проведення процесу прожарювання в першу чергу підтверджується об'ємною усадкою антрацита на 10-16 % при високотемпературній обробці. Крім зміни елементного складу в результаті протікання процесів структуроутворення вуглецевої речовини збільшується дійсна щільність матеріала, знижується електроопір та реакційна здатність, формується пориста внутрікристалична структура.

Термоантрацит отримують шляхом високотемпературної термічної обробки антрациту у спеціальних печах. У процесі нагрівання відбувається видалення летких компонентів та перебудова структури вуглецевого матеріалу. Основними стадіями процесу отримання термоантрациту є:

- підготовка сировини;
- завантаження антрациту у піч;
- нагрівання до високих температур;
- витримка при заданій температурі;
- охолодження отриманого продукту.

Підготовка сировини

На першому етапі антрацит піддається дробленню і сортуванню. Зазвичай використовуються фракції розміром від 20 до 60 мм, що забезпечує рівномірне нагрівання матеріалу в процесі прожарювання.

Прожарювання антрациту

Основною стадією виробництва є прожарювання антрациту в спеціальних печах. Для цього використовуються різні типи обладнання: обертові трубчасті печі; ретортні печі; електричні печі.

Прожарювання проводиться при температурі 1200–1400 °С. У процесі нагрівання відбувається видалення летючих речовин, дегазація і ущільнення структури вуглецю.

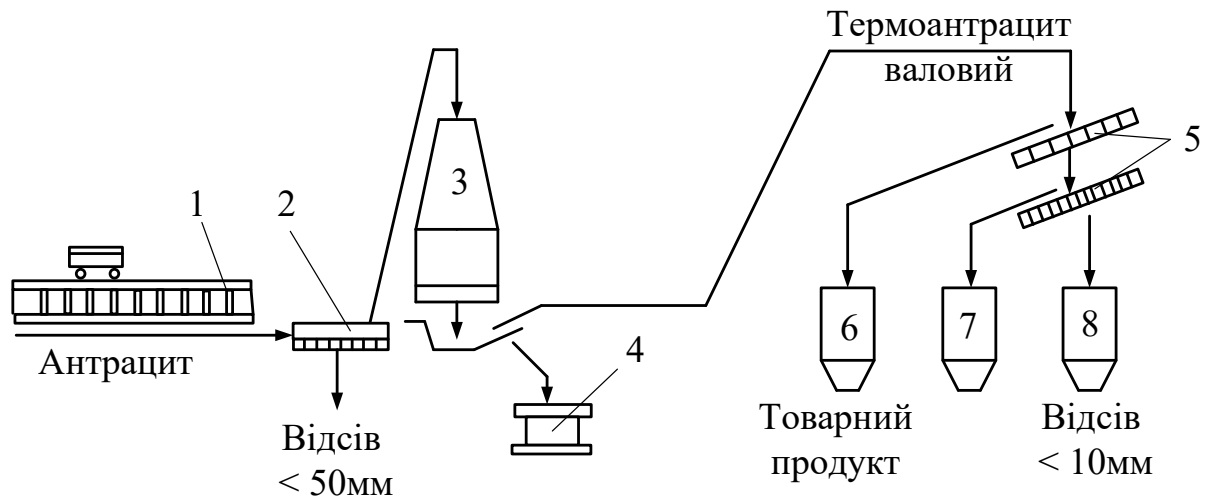
Охолодження

Після виходу з печі термоантрацит піддається охолодженню. Зазвичай застосовується барабанний холодильник або система водяного охолодження.

Сортування та зберігання

На заключному етапі отриманий матеріал сортується за фракціями і направляється на склад готової продукції.

На Сулінському металургійному заводі було розроблено спосіб отримання електродного термоантрациту в шахтних печах (рис. 2.1), з властивостями: $A^d \leq 4,3 \%$; $W_t \leq 1,5 \%$; $\rho \leq 9,7 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Сировиною для отримання електродного термоантрациту став донецький антрацит. На рис. 2.1 представлена схема переробки антрациту з отриманням термоантрациту. За наведеною схемою, якщо прийняти річний обсяг перероблюваного антрациту за 100 % (120 тис.т), то 12 % від цього обсягу губилося при відсіванні дрібниці (класу крупністю $< 50 \text{ мм}$) на колошникових решітках 2 і в печі потрапляло 105,6 тис.т антрациту (88,0 %). У процесі термічної обробки в шахтних печах 3 згоріло і газифікувалося 30 тис.т антрациту або 25 % вихідної кількості використаної сировини, а вихід валового термоантрациту становив 72,0 тис.т (64 %). Дрібні класи ($< 10 \text{ мм}$) з охолодженою водою, що утворилися при прожарюванні антрацитів і при охолодженні термоантрацита, надходили в шламові відстійники 4 в кількості 3,6-5 тис.т, а основна кількість цього класу (12,0 тис.т) відокремлювалося на грохоті 5.



1 – склад сировини; 2 – колошникова решітка; 3 – піч прожарювання антрациту; 4 – збірник шламу; 5 – гуркіт; 6 – бункер термоантрациту класу 20-120 мм; 7 - бункер термоантрациту класу 10-70 мм; 8 – бункер антрацивої дрібниці

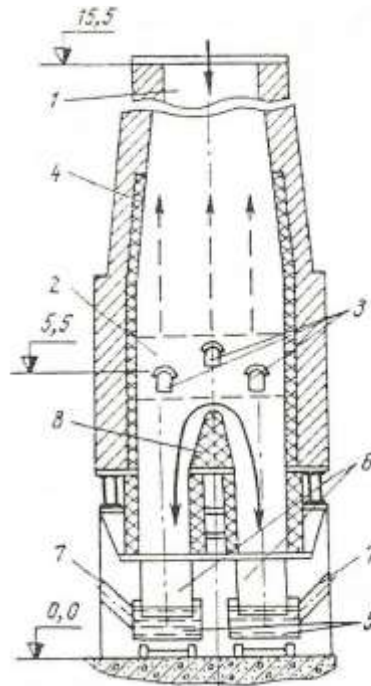
Рис. 2.1. Схема переробки антрациту з отриманням термоантрациту

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

Якщо визначити вихід придатних фракцій антрациту, з завантаженого в печі антрациту, він складе 78 %, тобто 22,0 % виробленого антрациту не знаходило застосування як товарної продукції. Аналіз наведеної схеми показує, що поліпшення техніко-економічних показників роботи термоцеху можна забезпечити в першу чергу за рахунок підвищення ступеня використання вихідної сировини на стадії попередньої його підготовки перед завантаженням в печі прожарювання, а також зниження втрат антрациту в процесі термічної обробки.

У вітчизняній практиці для прожарювання антрациту найбільше поширення отримали трубчасті печі, що обертаються (ТВП), опалювані природним газом (температура прожарювання 1200-1350 °C), та електрокальцинатори (температура прожарювання 1600-2200 °C) [1, 2].

Технологічний процес обробки антрациту у шахтних печах (рис.2.2) був таким: в нижній частині печі на відстані 0,8-1,0 м від її поду температура



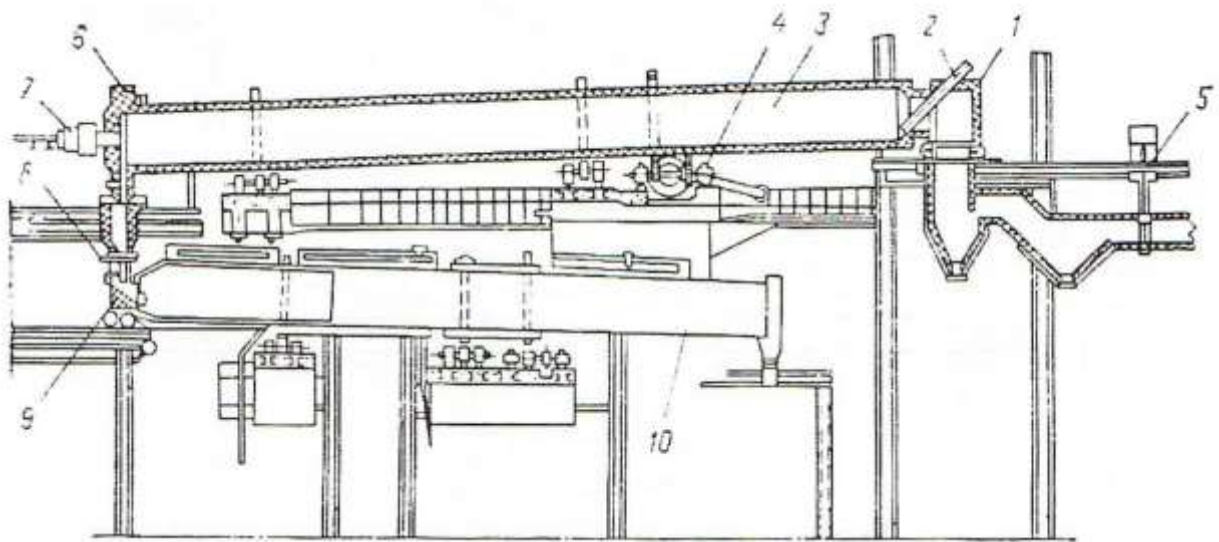
1 – шахта; 2 – зона згоряння; 3 – фурми; 4 – зона витримки; 5 – зона охолодження; 6 – паровідводи; 7 – розсікач; 8 – нижня частина печі

Рис. 2.2. Загальний вигляд шахтної печі для отримання термоантрациту

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

згоряння антрациту була 1300-1350 °С. Продукти згоряння, які утворювались, піднімалися угору по шахті печі та нагрівали шари антрациту з видаленням вологи. Нагріті куски з печі охолоджували водяною парою.

У промисловій практиці широко застосовуються обертові трубчасті печі довжиною до 40–45 м, що забезпечують безперервний процес прожарювання антрациту. Існує два види обертових барабанних печей: обертові печі та печі з обертовою подією. В печах такого типу прожарюваний антрацит підлягає прямому нагріванню горячим опалюваним газом (рис. 2.3).



1, 6 – холодна та горяча головки; 2 – завантажувальна тічка; 3 – барабан печі; 4 – привод печі; 5 – шибер; 7 – горілка; 8 – песічний затвір; 9 – горяча головка холодильнику; 10 – холодильник

Рис. 2.3. Барабанна обертова піч

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

2.2 Сучасні дослідження з термообробки антрациту

Однією з актуальних науково-технічних проблем сучасної металургії є вдосконалення способів термообробки вуглецевих матеріалів, зокрема антрациту. Дослідження останніх років спрямовані на глибоке вивчення процесів структурних перетворень вуглецевої матриці при високотемпературній обробці, а також на оцінку впливу цих перетворень на експлуатаційні властивості матеріалу і параметри металургійних процесів. Найважливіша мета термообробки антрациту полягає в отриманні вуглецевого продукту з поліпшеними фізико-хімічними характеристиками в порівнянні з вихідною сировиною. Досягнення таких властивостей можливе за рахунок впливу високих температур в контрольованих умовах, що сприяє виходу летючих компонентів, зниженню вологості, зменшенню вмісту функціональних груп, пов'язаних з киснем, і структурному впорядкуванню вуглецевої фази.

Аналіз опублікованих досліджень свідчить, що інтенсивність структурних змін залежить від значень температури і тривалості термообробки. При нагріванні антрациту вище певного порогу починається дегазація, що супроводжується зменшенням кількості неграничних вуглеводневих зв'язків і утворенням більш стабільних вуглецевих структур. В результаті посилюється узгодженість вуглецевих шарів, що, в свою чергу, збільшує щільність матеріалу і знижує його електричний опір.

Дані численних експериментальних робіт показують, що найбільший вплив на формування якісних характеристик термоантрациту мають технологічні параметри прожарювання: температура, швидкість нагрівання, тривалість витримки і газове середовище. У ряді робіт зазначається, що оптимальний діапазон температур для отримання трьохмерних (прожарених) вуглецевих матеріалів лежить в області 1250–1350 °С. У цьому діапазоні досягаються високі показники структурної впорядкованості, мінімальний вміст летких речовин і стабільні фізико-хімічні параметри, що задовольняють вимогам металургійного застосування. Вивчення властивостей термоантрациту в сучасних роботах здійснюється із застосуванням комплексного підходу, що включає методи спектроскопії, рентгеноструктурного аналізу, електронної мікроскопії та термогравіметричного аналізу. Такий підхід дозволяє виявити зміни в кристалічній структурі, морфології поверхні та дефектності вуглецевої матриці. Сучасне обладнання та аналітичні методики дають можливість кількісно оцінювати ступінь графітизації, розмір кристалітів вуглецю і розподіл дефектів, що є важливим для якісної характеристики матеріалу. На сьогоднішній день значна увага приділяється не тільки вивченню чистого термоантрациту, але і дослідженню модифікованих вуглецевих матеріалів, що отримуються шляхом додавання легуючих домішок або каталізаторів перед прожарюванням. Такі дослідження показують, що введення певних добавок може прискорити процеси структурного впорядкування і поліпшити експлуатаційні показники одержуваного продукту. Практичне застосування

термоантрациту в металургійному виробництві також є предметом інтенсивних досліджень. Експериментальні доменні плавки з використанням термоантрациту в шихті показують, що матеріал впливає на тепловий режим печі, кінетику відновлення залізної руди і витрату відновних матеріалів. В цілому, результати дослідно-промислових випробувань підтверджують, що термоантрацит здатний забезпечити більш стійкий і енергоефективний хід процесу в порівнянні з використанням сирого антрациту. Особлива увага в останніх дослідженнях приділяється екологічним аспектам термообробки вуглецевих матеріалів. У публікаціях розглядаються шляхи зниження викидів парів вуглецю, оптимізація режимів прожарювання з метою зменшення енергетичного навантаження і розробка нових конструкцій печей, що забезпечують більш рівномірний нагрів і зниження теплових втрат. Крім практичних дослідів, у науковому середовищі активно розвиваються математичні моделі термообробки антрациту, що включають розрахунок теплових полів, кінетику дегазації та прогнозування. Такі моделі дозволяють не тільки формалізувати процеси, але й оптимізувати режими, мінімізуючи витрати енергії та підвищуючи якість кінцевого продукту.

Аналізую дослідження багатьох фахівців визначимо основні процеси, що протікають при термічній обробці антрациту. При прожарюванні антрациту відбувається видалення зовнішньої (до 120°C) і адсорбованійної (до 300°C) вологи, усадка, дегазація, піроліз вуглеводнів і розкладання сірчистих з'єднань ($300\text{-}1350^{\circ}\text{C}$). Необхідність провєня процесу прожарювання, в першу чергу підтверджується об'ємною усадкою антрацита на 10-16 % при високотемпературній обробці. У процесі прожарювання антрациту збільшується кількість вуглецю і знижується вміст летких речовин [3]. Крім зміни елементного складу, при термообробці в результаті протікання процесів структуроутворення вуглецевої речовини підвищується дійсна щільність матеріалу, знижується питомий електричний опір і реакційна здатність, формується пориста та внутрішньокристалічна структура [4]. Одержуваний з антрациту, шляхом високотемпературної

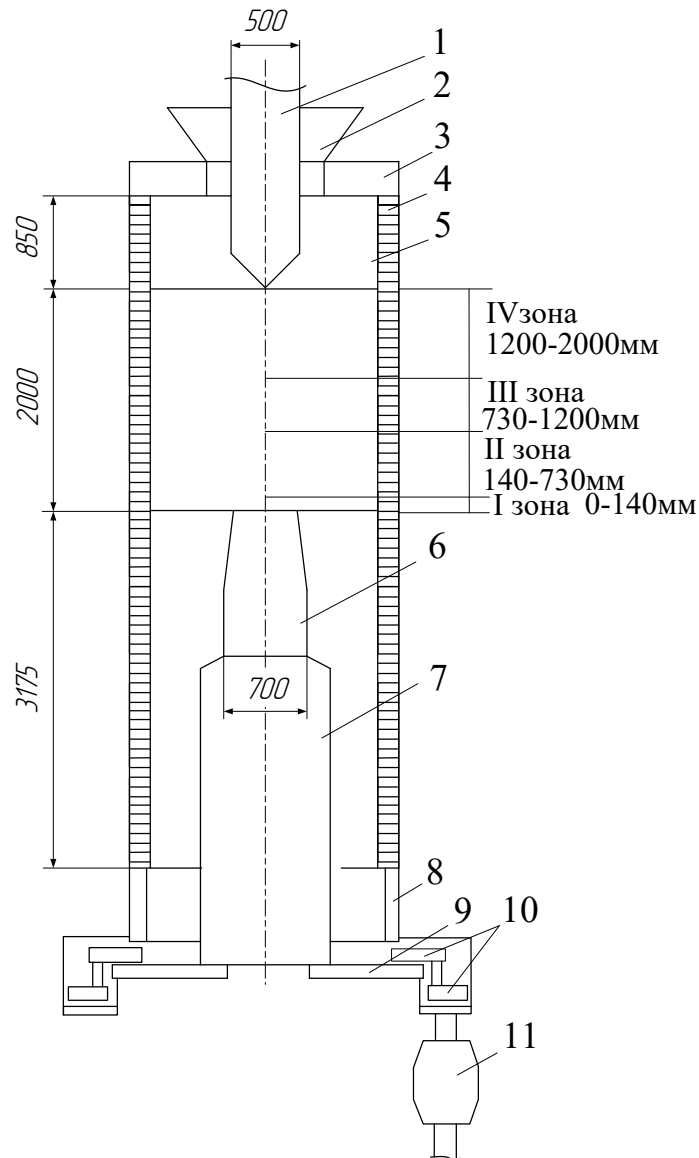
обробки, термоантрацит повинен мати не більше: 5 % зольності, 1,5 % вологи, 1000 мкОм·м питомий електроопір (УЕС), розмір кусків від 10 до 120 мм. Аналіз літературних даних и проведенних кафедрою Національної металургійної Академії України досліджень підтверджує, що для отримання більш високих якісних характеристик термоантрациту прожарювання донецького антрациту необхідно проводити при більш високих температурах в електрокальцинаторах, з перетворенням електричної енергії в теплову в безпосередньо прожарюваном антрациті.

2.3 Аналітичний огляд конструкцій сучасних електрокальцинаторів

Для отримання більш покращених властивостей, прожарювання антрациту краще проводити у електрокальцинаторах (рис. 2.4), при $T=1500-1900$ °С, з метою формування у структурі термоантрациту трьохмірного упорядкування. Властивості термоантрациту визначаються температурними режимами прожарювання антрациту, що мають відповідні мікроструктурні складові, ще на початкових рівнях нагрівання при температурах для кальцинації в шахті електрокальцинатора.

Електрокальцинатори представляють собою сталний циліндричний кожух, зафутерований в один рядок мулитокорундовою вогнетривною цеглою (рис.2.4). Початковий антрацит, фракції 6-25 мм, завантажується зверху бункера безперервно, а термоантрацит вивантажується з електрокальцинатору за допомогою розвантажувального механізму з періодичністю 5 хв. Час роботи механізму розвантаження, що визначається вагою вивантаження, складає 60-75 сек. Одним з перших був розроблений та впроваджений в промисловість електрокальцинатор норвезької фірми ELKEM [1]. Електрокальцинатор працює в безперервному режимі. Сирий матеріал безперервно завантажується в піч зверху через пристрій завантаження. Вивантаження готового продукту здійснюється також безперервно

через кільцевий пристрій вивантаження. Видалення летких компонентів відбувається через дренажні трубки.



1 - рухомий струмопідвідний графітований електрод; 2 – завантажувальна воронка; 3 – пробка; 4 – металевий кожух; 5 – футеровка; 6 – стаціонарний графітований електрод; 7 - водоохолоджувана опора; 8 - водоохолоджувана обічайка; 9 – водоохолоджуваний стіл; 10 – лопатки механізму розвантаження; 11- дозатор ДТА-200

Рис.2.4. Електрокальцинатор ІЕТ-10-УХЛ-4 для прожарювання антрациту

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [35]

На верхній та нижній електроди подається електричне живлення від трансформатору змінного струму. Для охолодження нижнього електроду та обробленого матеріалу використовується водоохолоджуваний кожух.

Відстань поміж електродами регулюється шляхом переміщення верхнього електроду. Максимальна продуктивність печі за готовим матеріалом складає 2 т/год за питомих витрат електроенергії 1300–1400 кВт·год/т. З метою усунення недоліків печі типу ELKEM були запропоновані різні удосконалені конструкції. Деякі з них (рис. 2.5) реалізують дроселювання потоку оброблюваного матеріалу всередині робочого об'єму печі. Це дозволяє зменшити неоднорідність щільності струму в радіальному напрямку та забезпечує перемішування оброблюваного матеріалу.

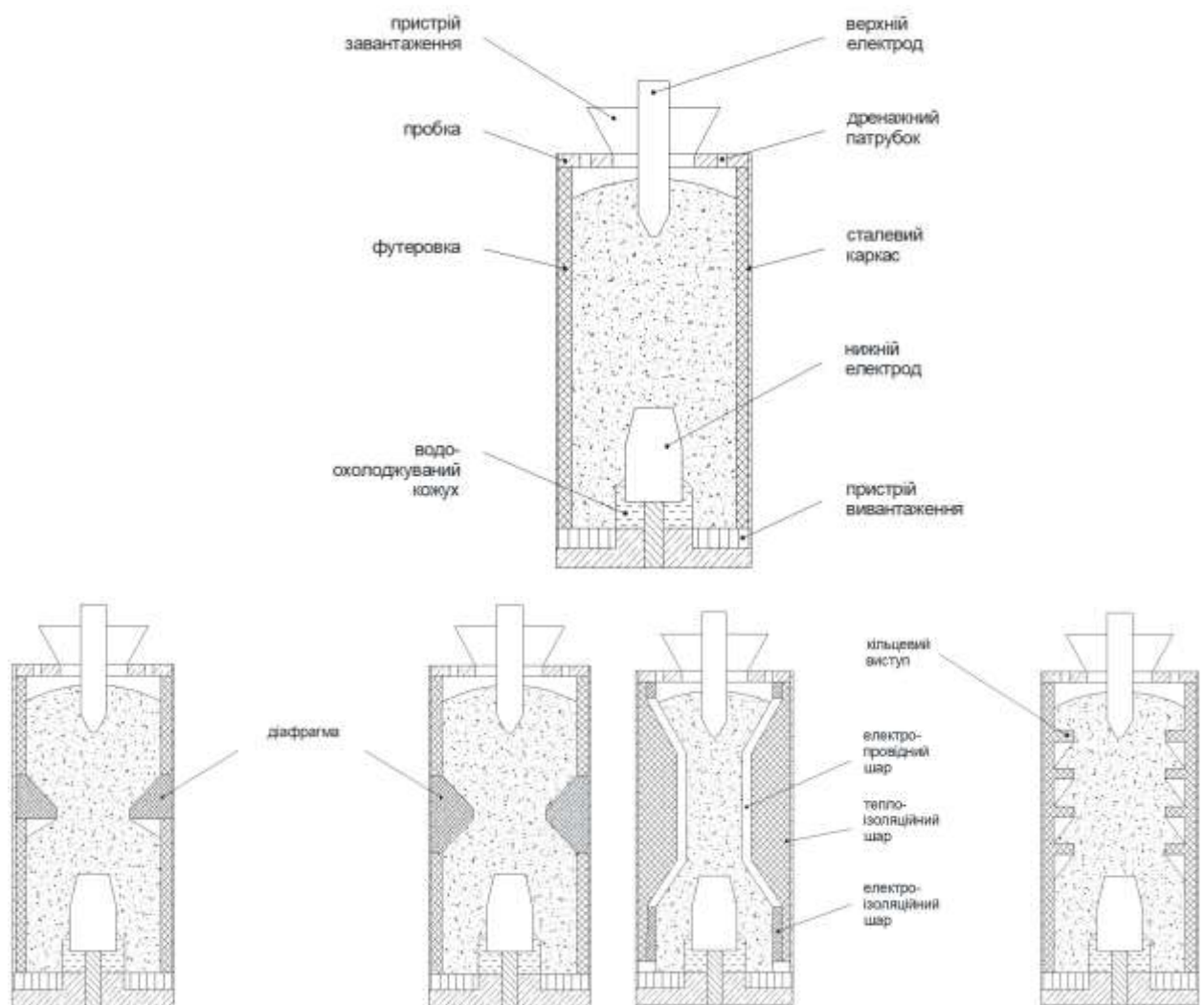


Рис. 2.5. Схема печі типу ELKEM (електрокальцинатор)

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [34]

В конструкції (рис.2.6) нижній електрод виконаний у вигляді реторти

на всю висоту печі. Це дозволяє підвищити однорідність властивостей матеріалу. Значне розповсюдження в країнах СНД отримали електричні печі з відкритою шахтою та верхнім підвісним електродом (рис. 2.7).

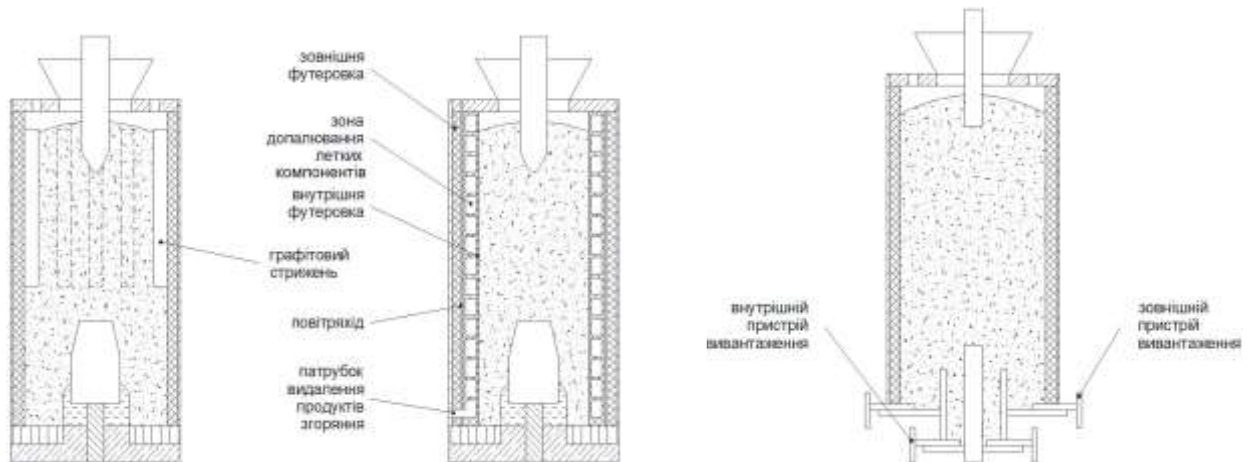
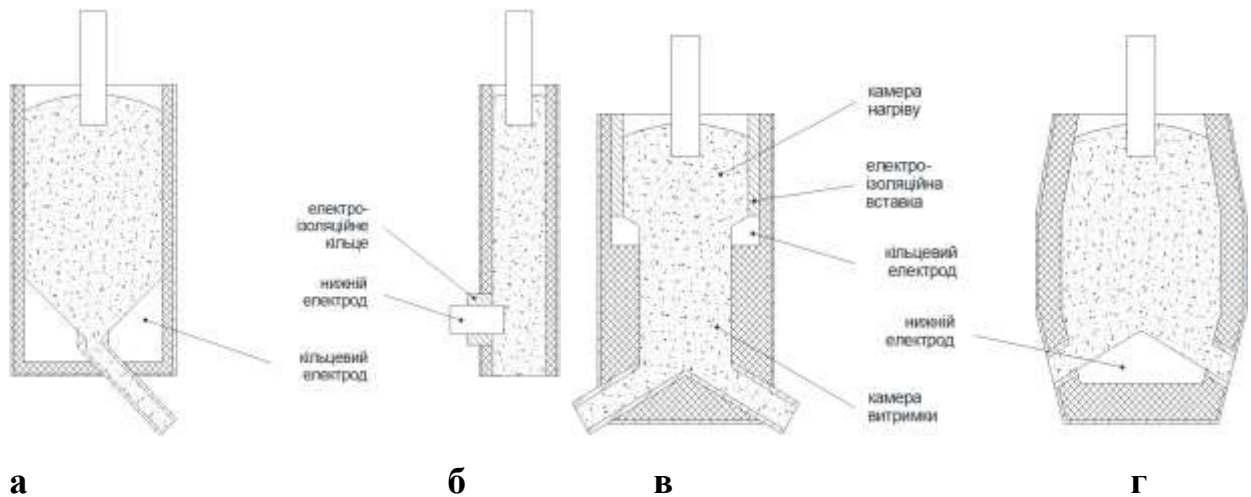


Рис. 2.6 Схеми модифікованих печей типу ELKEM

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [34]

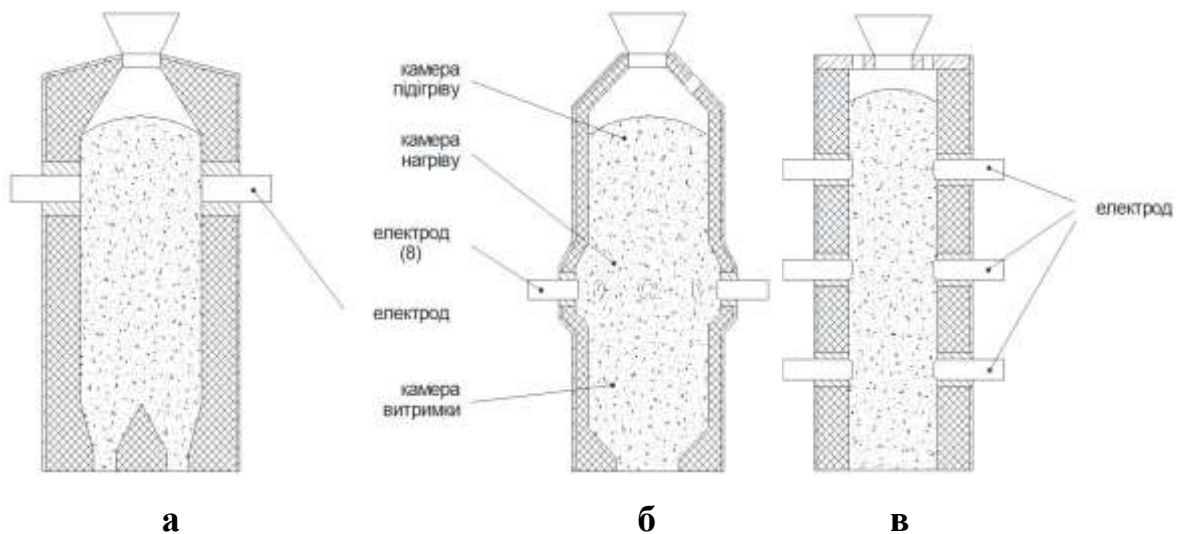
Одною із перших відкритих печей почала використовуватися в промисловості піч з кільцевим нижнім електродом та центральним пристроєм вивантаження (рис. 2.7 а). Вуглецевий матеріал завантажується зверху з бункеру в циліндричну шахту печі з внутрішнім діаметром 1860 міліметрів. Верхній стрижневий електрод є підвісним. Піч працює в безперервному режимі при завантаженні та вивантаженні матеріалу невеликими порціями. Перевагою печі є простота її конструкції. В конструкції печі [34] внутрішній діаметр робочого простору складає 700 міліметрів, а нижній стрижневий електрод вмонтований в футеровку печі перпендикулярно повздовжній вісі печі (рис. 2.7 б). За рахунок цього забезпечується значна однорідність властивостей оброблюваного матеріалу. Однак при цьому значно знижується продуктивність печі. Оригінальними є конструкції електрокальцинаторів з горизонтальним розташуванням електродів (рис. 2.8) та електрокальцинатори працюють сумісно з газоочисною установкою та разом з нею утворюють комплекс (рис. 2.9).



а - піч з кільцевим нижнім електродом та центральним пристроєм вивантаження; б - піч, в якій нижній стрижневий електрод вмонтований в футеровку печі перпендикулярно повздовжній вісі печі; в – піч з кільцевим електродом; г - шахта печі виконана бочкоподібною, а нижній електрод – у вигляді вугільних блоків

Рис. 2.7. Схеми печей з відкритою шахтою

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [34]



а - шахтні печі овального перерізу з двома горизонтальними електродами квадратного перерізу; б - піч циліндричної форми зі значним діаметром та незначною висотою; в - електрична піч з круглим перерізом та горизонтальним розташуванням електродів в декілька ярусів

Рис. 2.8. Схеми печей з горизонтальними електродами

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [34]

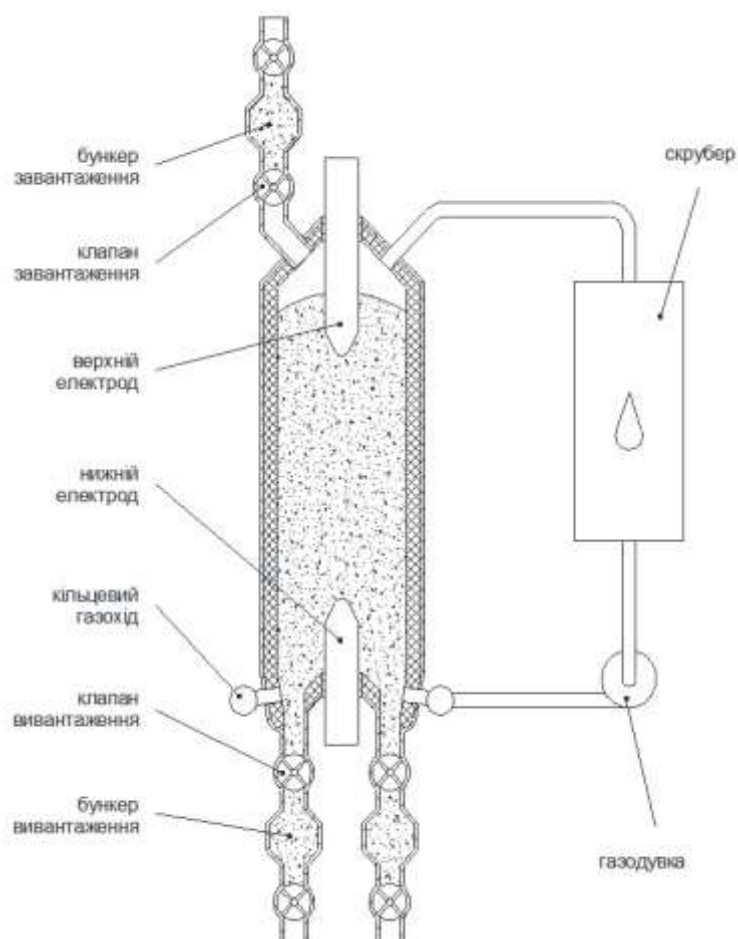


Рис. 2.9. Схема комплексу фірми Carbone Savoie

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [34]

Були спроектовані і виготовлені заводом «Сибелектротерм». Піч ІЕТ-10-УХЛ-4 (рис. 2.10) являє собою електротермічний агрегат величезних розмірів. Висота печі досягає 18 м. Таких печей в цеху сім. Електроди розташовані вертикально по осі печі. Верхній електрод діаметром 500 мм виготовлений з високоякісного графітованого вуглецевого матеріалу. Електрод підвішений на спеціальному пристрої, що дозволяє переміщувати його по вертикалі і тим самим змінювати міжелектродний проміжок печі в межах 1950..2350 мм. 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 [34].

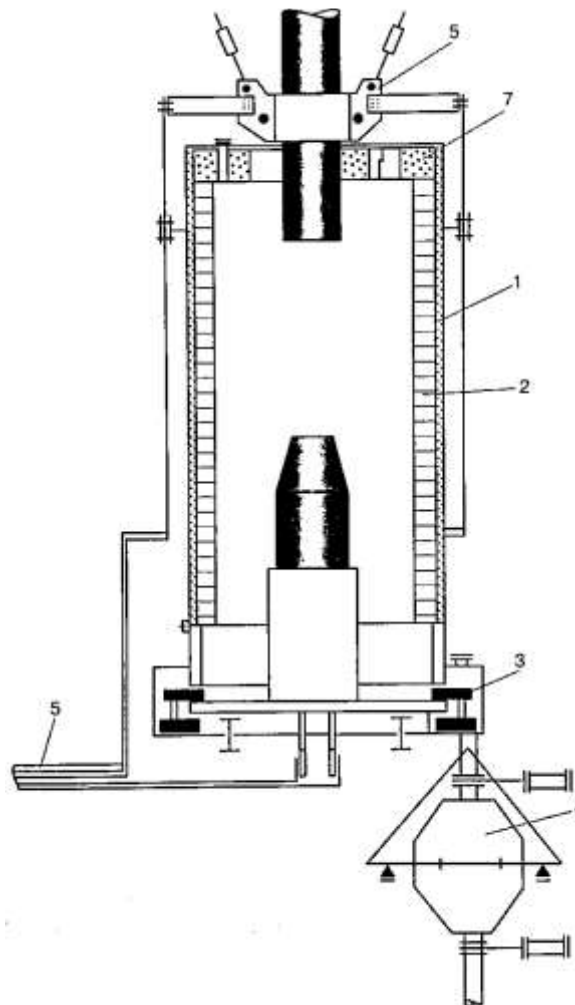
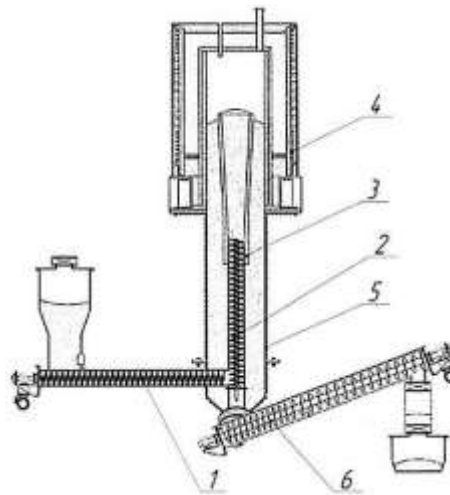


Рис. 2.10. Схема шахтної печі ІЕТ - 10 - УХЛ - 4

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [35]

Верхня частина електрода конічна. Нижня частина циліндрична. 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.

Вертикальна піч з індукційним нагрівом для безперервної високотемпературної обробки матеріалу (рис. 2.11) [16].

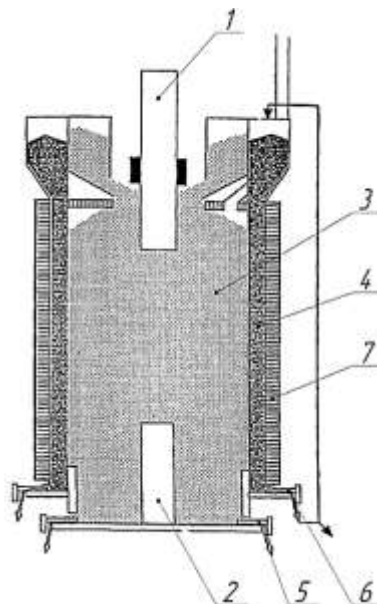


1 – шнек подання матеріалу; 2 – вертикальний шнек подання матеріалу;
3 – нагнітальне сопло; 4 – індуктивний нагрівач; 5 – охолоджувана стінка

Рис. 2.11. Вертикальна піч з індукційним нагрівом для безперервної високотемпературної обробки матеріалу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [35]

Електрокальцинатор з двома потоками матеріалу (рис. 2.12). Переваги конструкції [22]:



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

Рис. 2.12. Електрокальцинатор з двома потоками матеріалу

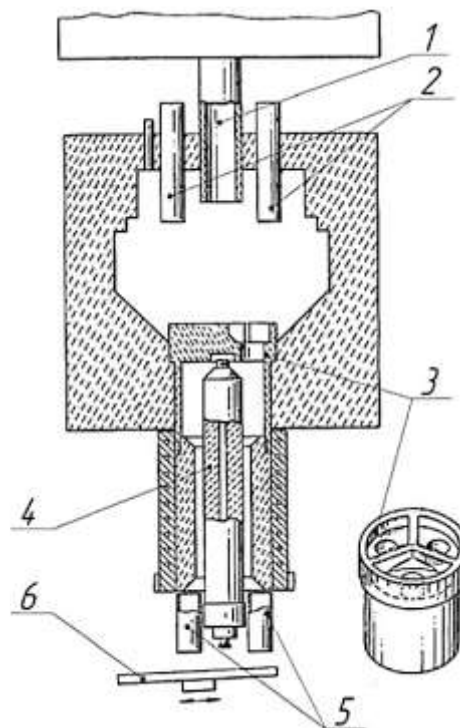
Примітка. Джерело: розроблено з використанням [35]

- Вирішено питання із захистом вогнетривкого футерування електрокальцинатора;
- Відсутня електропровідна вогнетривка частина футерування електрокальцинатора.

Електрокальцинатор з нижнім електродом у вигляді змішувача (рис.2.13).

Переваги конструкції:

- вирішено питання з нерівномірністю електричного і теплового поля по горизонтальних перерізах електрокальцинатора за рахунок застосування осьового навантаження і перемішування матеріалу, що графітує;
- відсутність необхідності створення по усьому горизонтальному перерізу зони прожарювання ділянки температур понад 2200 °С.



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

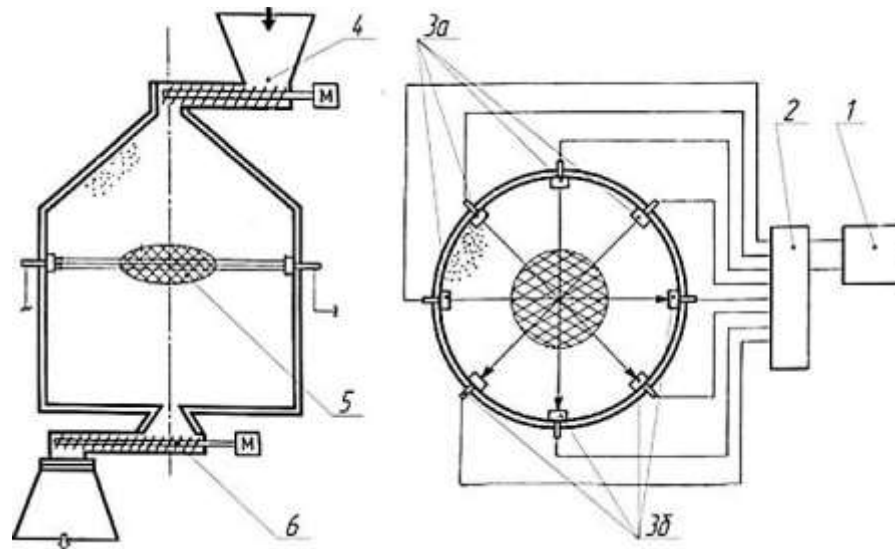
Рис. 2.12. Електрокальцинатор з нижнім електродом у вигляді змішувача

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [35]

Електрокальцинатор з горизонтальним кільцевим розташуванням електродів, що поперемінно включаються (рис. 2.13).

Переваги конструкції:

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



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

Рис. 2.13. Електрокальцинатор з горизонтальним кільцевим розташуванням електродів, що поперемінно включаються

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [35]

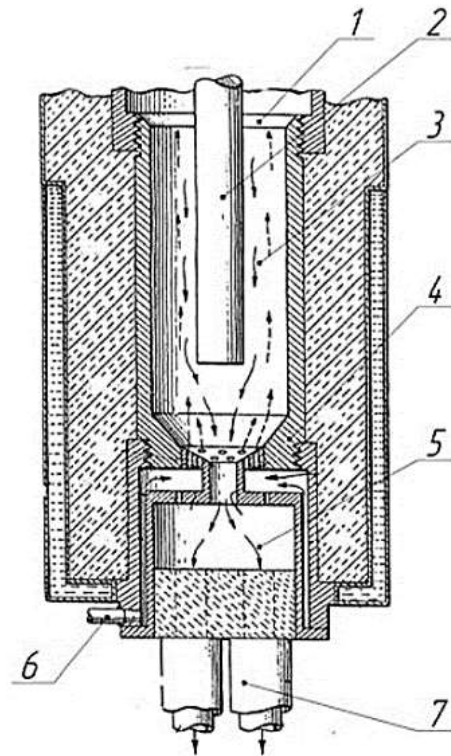
Електрокальцинатор з примусовим поданням в зону прожарювання інертного газу для утворення псевдозрідженого шару з метою поліпшення перемішування матеріалу (рис. 2.14) [35].

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.



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

Рис. 2.14. Електрокальцинатор з примусовим поданням в зону прожарювання інертного газу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [35]

Таким чином, електрокальцинатори дозволяють отримувати температури термічної обробки більш ніж 1500 °С та мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД), оскільки тепло при проходженні електричного струму виділяється безпосередньо в оброблюваному матеріалі. Як правило, нагрів у них відбувається не тільки за рахунок електричної енергії, тому, суворо кажучи, ці печі можуть бути комбінованими за способом нагріву.

Можна визначити, що сучасні дослідження з термообробки антрациту об'єднують експериментальні та теоретичні методи, спрямовані на підвищення ефективності отримання якісних вуглецевих матеріалів. Отримані наукові результати служать основою для розробки вдосконалених

технологічних схем, що забезпечують високі експлуатаційні властивості термоантрациту і його ефективне використання в металургійних процесах.

2.4 Вплив властивостей антрациту на якість термоантрациту

В літературі відсутні данні про сучасні дослідження вітчизняних фахівців стосовно отримання кускового термоантрациту для доменної плавки, але є данні стосовно отримання електродного термоантрациту, який використовується в якості вуглецевого наповнювача при виготовленні вугільної продукції. Також багато робіт академіка НАН України М.І. Гасіка стосовно прокалки донецького антрациту для отримання вуглецевих мас різного призначення [7-11].

Як вже багато разів наголошувалось, що для отримання термоантрациту використовують антрацит. Антрацит, що йде зі збагачувальних фабрик, підлягає термічній обробці з метою покращення комплексу фізико-механічних властивостей, підвищення термічної стійкості, зменшення електричного опору та реакційної здатності, збільшення щільності структури (збільшення дійсної щільності).

Під термічною стійкістю антрациту мають на увазі його здатність витримувати опір розтріскуванню при нагріванні.

Відповідно до існуючих уявлень, в результаті термічної обробки при повільному нагріванні до 1300-1350 °C відбувається виділення зовнішньої вологи (до 105 °C), відгонка адсорбованої вологи (до 300 °C), усадка, дегазація, піроліз вуглеводнів та розкладення сірчаних з'єднань (1300-1350 °C). Найбільш інтенсивне виділення летких речовин відбувається при 870-970 °C. Термічна обробка антрациту розглядається як стадія метаморфізму, що призводить до зміни структури органічного матеріала в напрямленні збільшення розміру кристалів з 25-30 А в початкових антрацитах до 200-300 А при нагріванні до 2500-2800 °C. Абсолютні величини зміни параметрів антрациту при прокалке залежать від температури та вихода летких речовин,

тобто від стадії метаморфізму.

В лабораторних умовах проведені порівняльні експериментальні дослідження стосовно вивчення властивостей антрацитів Донецького та Горлівського басейнів та зміни їх в залежності від температури обробки. Дослідження показали, що антрацит Горлівського басейну значно відрізняється за петрографічним складом та фізико-хімічними властивостями від антрацитів Донецького басейну. Горлівські антрацити мають більший вихід летких речовин, низьку дійсну щільність, мають мало мінеральних домішок та сірки.

За даними петрографічних досліджень [12], антрацити Горлівського басейну складені в основному зі компонентів групи фюзиниту. Донецькі антрацити складені зі компонентів групи витриніту. Для антрацитів Горлівського басейну характерно більш однорідне та щільне тіло матеріалу, який має більшу механічну та термічну стійкість.

Доказано, що антрацити зі вмістом фюзиниту в меншому ступені підтверджені структурним перетворенням при термообробці у порівнянні зі антрацитами, в яких перебільшує витриніт. Кращі властивості при термообробці при 1400-1500 °С. Високотемпературна обробка антрацитів забезпечує покращення якісних показників термоантрацита [13]. Тому при виробництві термоантрацита використовують антрацити Донецького басейну.

Прокалений Донецький антрацит (термоантрацит) застосовується у виробництві вуглецевих мас, вуглеграфітових виробів різного функціонального призначення (футеровочні блоки доменних, феросплавних печей, катоди електролизерів для отримання алюмінію, вуглецеві маси для електродів дугових феросплавних печей та ін.). Якість продукції залежить від комплексу властивостей термоантрацита (питомого електроопору, теплопровідності, механічної міцності, вмісту золи, летких речовин, швидкості окислення), які в свою чергу визначається якістю вихідного антрациту, кінцевої температури та тривалістю прожарювання.

Для отримання термоантрациту прожарювання антрациту проводять в барабанних печах, які обігріваються природним газом, при температурах 1300-1350 °С. Але для отримання більш високих властивостей термоантрациту в останні роки прожарювання антрациту проводять в сучасних електрокальцинаторах, при температурах більше 1500-1900 °С з метою формування в термоантрациті структури трьохмірного упорядкування. Властивості термоантрацита визначаються температурними режимами прожарювання антрациту. При нагріванні антрациту в низькотемпературних інтервалах кальцинації до 1400 °С, в ньому проходять підготовчі процеси для наступного формування трьохмірної мікроструктури графіта.

Антрацити Донбаса представляють собою найбільш високометаморфізоване каменне вугілля, яке містить 92-97 % вуглеця, має високу щільність органічної маси (1,63-1,69 г/см³), відносно низький електроопір у порівнянні з антрацитами Кузбасу, достатню механічну та термічну стійкість (60-74 % за ГОСТ 15490-70). Вміст витриніту в антрациті різних пластів – 95 %, вміст сірки до 2-3 % (в основному в сульфідній формі) та зольність 2,- %. Хімічний склад золи Донецького басейну антрацита марок АО та АКО наведений у таблиці 2.1 [22]

Таблиця 2.1

Хімічний склад золи Донецького басейну антрацита марок АО та АКО

Марка антрациту	Склад компонентів, %, мас.						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	Fe _{зар.}
АО	55,1	24,3	1,74	1,84	0,76	0,74	7,8
	58,1	25,8	3,04	1,18	0,92	0,78	6,2
АКО	58,6	27,1	2,37	1,42	0,82	0,86	3,69
	59,6	24,6	2,86	1,16	0,72	0,87	5,07

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

Основну кількість електродного термоантрациту виробляють у шахтних печах різних конструкцій з використанням газових потоків при нагріванні (на Сулінському металургійному заводі), а також при нагріванні та охолодженні (на Стахановському КХЗ) твердого кускового матеріалу. При

цьому використовують саме антрацит Донецького басейну [23].

Основним матеріалом електродних мас для самообпалюючих електродів є термоантрацит, що отримується прожарюванням електродного антрациту - одного з метаморфізованих різновидів вугілля при температурі 1200...1800 °С. Згідно з сучасними уявленнями [2] про процес метаморфізму кам'яного вугілля антрацит є вуглецевим матеріалом на завершальній стадії діагенезу твердих горючих копалин. Запаси антрацитів становлять лише 3 % від світових покладів вугілля [3]. Вміст вуглецю в антрацитах становить 91-97 %, вихід летких речовин 2-8 %. Антрацити, що використовуються у складі електродної маси, повинні мати мінімальну кількість золи, сірки, вологи і високий вміст вуглецю. З метою розробки раціональної технології отримання термоантрациту зі стабільно низькими показниками питомого електроопору (ПЕО) виконано експериментальні дослідження з вивчення процесів перетворень донецького антрациту електродного сортаменту при його нагріванні (кальцинації). Методика досліджень. Зразки антрациту масою 70 мг фракції 3...5 мм поміщали в калориметр і нагрівали до температури 1400 °С зі швидкістю 5 °С/хв в атмосфері повітря або аргону. Термокінетичні експерименти з вивчення процесів виділення і піролізу летючих, окислення летючих і твердого вуглецю проведені з використанням диференціального скануючого калориметра марки СТА 449С фірми «NETZSCH» [4]. Аналіз складу газів проводили на інтегрованому з калориметром Фур'є-ІЧ-спектрометрі «ТЕНЗОР 27» (фірма «BRUKER OPTICS»). Оскільки пряме спектральне вимірювання хімічного складу газів у зоні реакції в цьому приладі неможливе, проби газу для аналізу відбирали з реакційної зони через термостатований при 300 °С капіляр безпосередньо в вимірювальну камеру спектрометра. Характеристикою термокінетичних процесів, що відбуваються в антрациті при нагріванні слугують дані про зміну ваги вихідного зразка антрациту, швидкість зміни ваги зразка, величину теплового потоку, сумарного газовиділення у відносних одиницях при розрахунках із застосуванням інтеграла Грамма–Шмідта (Г–Ш).

2.5 Якісні показники антрациту до і після термообробки

В рамках данної роботи були проведені дослідження ящічного спікання на коксових печах КХВ «АМКР» для визначення якісних показників антрациту до теромобробці та після.

Для експерименту були взяті проби по 20 кг різних класів крупності антрациту, мм: +80, 80-60, 60-40, 40-25, -25. За даними дослідження технічного аналізу антрациту було визначено, що після термічної обробки зольність збільшилася у крупних класів в середньому на 1,2 % та нестабільна в межах від 6,0 до 6,4 %, а у дрібних класів зменшилася на 0,1 %, та складає 5,0 %. Вихід летких речовин та сірка при термообробці антрациту зменшилися в середньому на 1,7 % - V^{daf} складає 0,3 %, на 0,3 % S_t^d , має значення 1,41 %.

Механічна міцність при термообробці збільшилася на 3 %, та складає при цьому у середньому 60,9 % та 34,2 % відповідно (у класу крупністю 40-25 мм $M_{25} = 66,9$ %; $M_{10} = 26,2$ %). Досліди проводились у барабані «Серика».

Зменшилася реакційна здатність у термообробленого термоантрациту у середньому на 21,9 % та складає 19,1 %. А горяча міцність збільшилася на 13,3 % та складає 36,6 %. Загальний вигляд після термообробки практично не змінився.

Авторами були проведені дослідження зміни якості антрацитів при термообробці. Характеристика антацитів Донецького та Горловського басейнів наведена у таблиці 2.2.

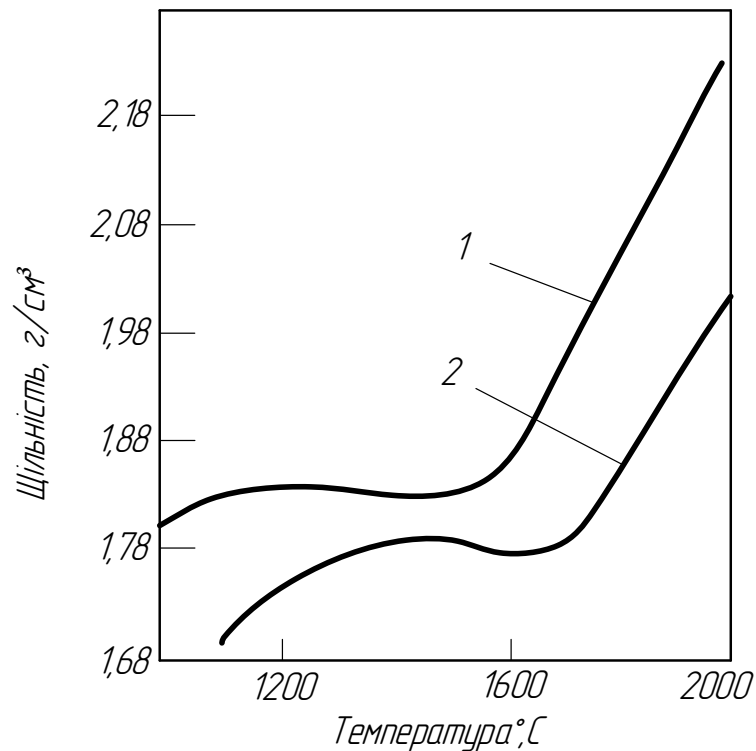
При проведенні дослідів при термообробці донецьких антрацитів в и інтервалі 1300-1500 °C визначено зменшення інтенсивності зростання щільності. Подальше зростання температури призвело до зростання щільності антрацитів (рис.2.15).

Таблиця 2.2

Характеристика антацитів Донецького та Горловського басейнів

Показник	Шахта ім.Володарського Донецького басейну	Шахта «Ліствянська» Горловського басейну
Вихід летких речовин, мл/г	96,5	155,0
Зольність, %	5,2	4,6
Сірчистість, %	2,9	0,3
Дійсна щільність, г/см ³	1,745	1,663
Вміст вуглецю C _r , %	94,65	95,1
Вміст водню H _r , %	1,33	2,1
Мікротвердість, кгс/мм ²	168,0	78,0
Електроопір, Ом·мм ² /м	0,6·10 ⁶	1,8·10 ⁶
Здатність, що відображає, в інерсійній олії R _{сер} , %	5,7	4,9
Петрографічний склад, %: V _t	90,0	40,0
S _v	1,0	10,0
F	9,0	50,0
Механічна міцність, %	48	69
Термічна стійкість, %	62	86

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

**Рис. 2.15. Зміна дійсної щільності антрацитів Донецького (1) та Горловського (2) басейнів від температури обробки**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

О характері інтенсивності структурних перетворень в антрациті при термообробці можна судити за величиною зміни електроопору (рис. 2.16).

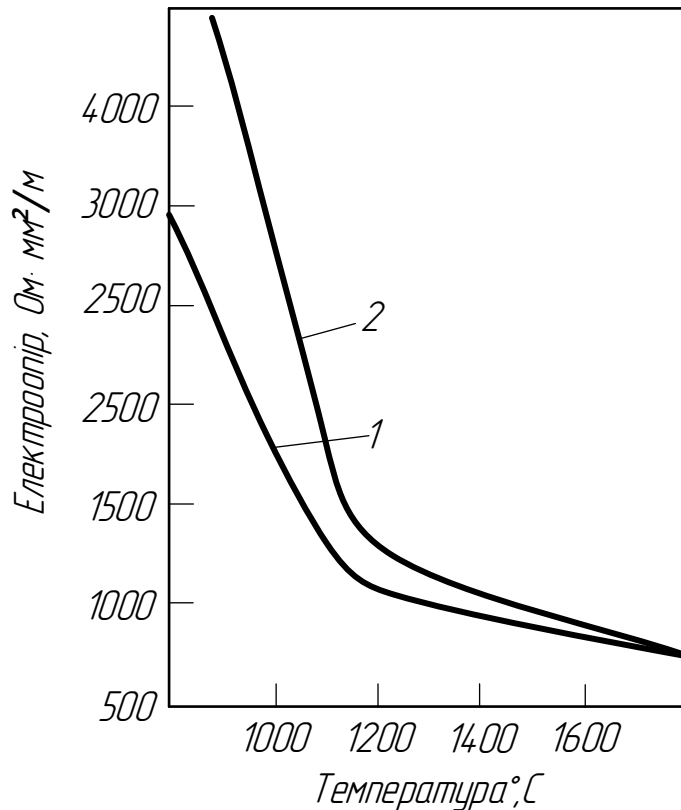
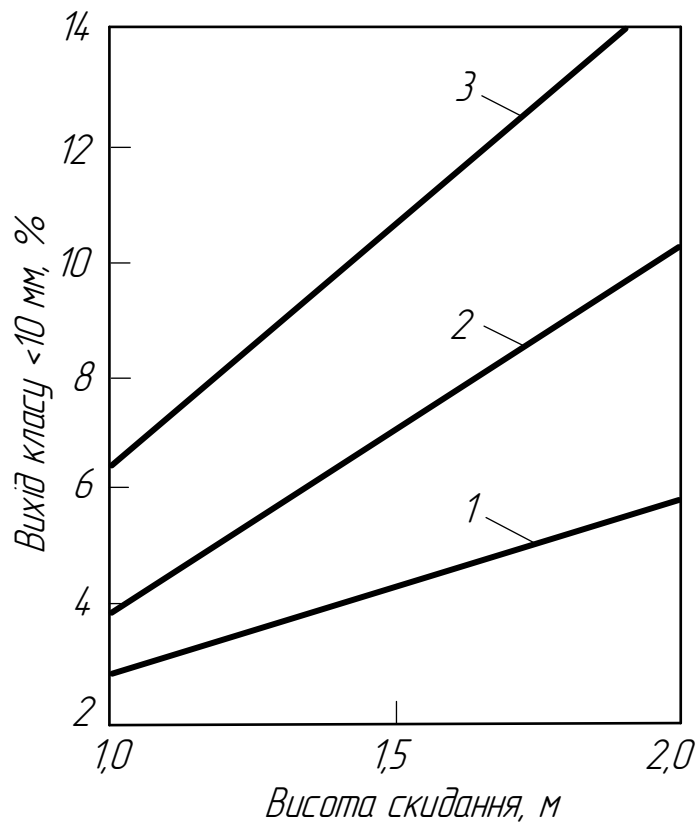


Рис. 2.16. Зміна електроопору антрацитів Донецького (1) та Горловського (2) басейнів від температури обробки

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

Високотемпературна обробка забезпечує отримання термоантрациту з низьким електроопором та стабільними властивостями антрацитів з різним початковим складом.

На рис. 2.17 представлені графіки зміни виходу дрібних класів крупності після 3- та 5- кратного скидування антрациту та після 5-кратного скидування термоантрациту в залежності від висоти падіння кусків. Аналіз графіків дозволяє визначити, що зменшення висоти, а також зменшення кількості перепадів потоків антрациту та термоантрациту є ефективним засобом обмеження кількості дрібних класів крупності. Так зменшення висоти скидування від 2 м до 1 м більше ніж у два рази знижує вихід дрібниці антрациту та термоантрациту.



1, 2 – антрацит відповідно після 3- та 5- кратного скидування, 3 – термоантрацит після 5-кратного скидування

Рис. 2.17. Характеристика дробимості антрацита та термоантрацита

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

Як бачимо з рис. 2.17, термоантрацит характеризується зниженим опором подрібнюючим зусиллям у порівнянні з антрацитом, що обумовлено дефектами структури, які виникають у процесі термообробки матеріалу.

Опір подрібнюючим зусиллям антрациту та термоантрациту вивчали використовую лабораторний барабан для визначення механічної міцності за ГОСТ 15490-70. Через кожні 100 обертань барабану проби розсівали на ситі з отворами 10 мм. Крупність та маса початкових проб антрациту та термоантрациту були такими ж, як при випробуванні методом скидування.

На рис. 2.18 показано зміну виходу дрібниці в залежності від кількості обертань барабана. Як у антрациту так і у термоантрациту спостерігається більш інтенсивне утворення дрібниці на першій стадії (до 600 обертань), ніж на другій (від 600 до 1000 обертань). На обох стадіях вихід дрібниці лінійно

зростає зі збільшенням обертань барабану, причому для антрациту бистріше, ніж для термоантрациту.

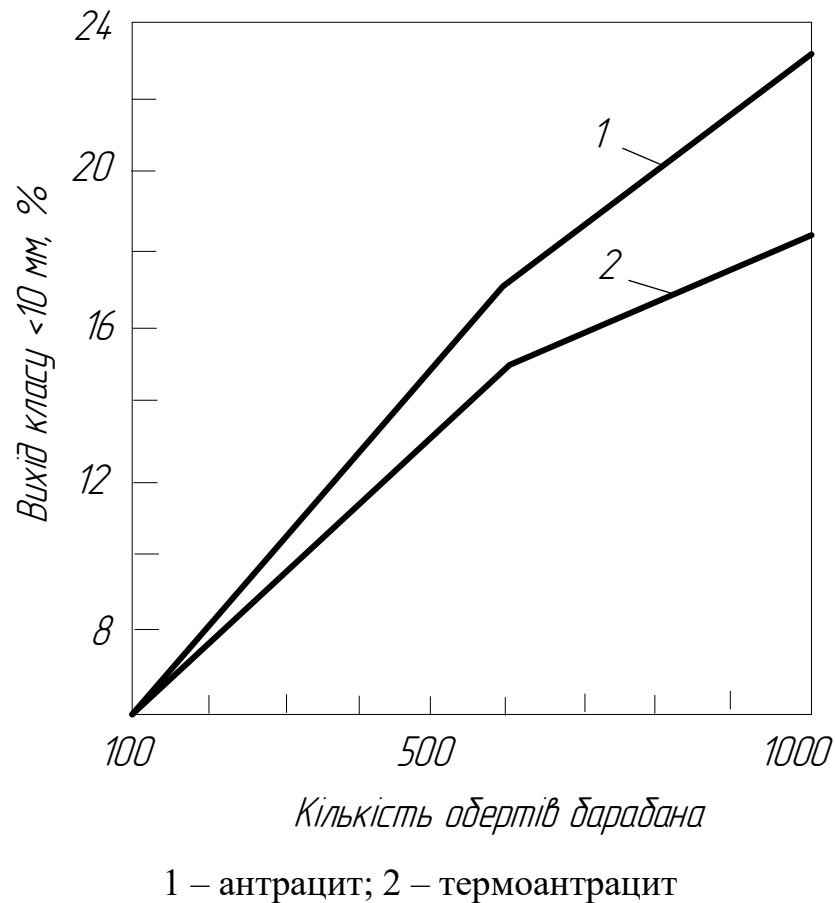


Рис. 2.18. Характеристика стираності антрацита та термоантрацита

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

Таким чином, термоантрацит за фізично-хімічними властивостями краще ніж антрацит. Відрізняється кращими показниками технічного аналізу, більшою термостійкістю при високій температурі, має низьку реакційну здатність, що визначає його якість. У рамках зазначеної раніше програми реалізації технології заміни частини коксу вугіллям на ВАТ "Криворіжсталь" (нині ВАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг"), комбінатом спільно з Криворізьким металургійним факультетом НМетАУ були проведені порівняльні дослідження проб сирого та термообробленого антрациту різного фракційного складу (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

**Якісні показники сирого та термообробленого антрацита, одержаного
при ящічних спіканнях в коксовій батареї КХВ комбінату "АМКР"**

Найменування проби	Антрацит до термообробки							Антрацит до термообробки							
	Технічний аналіз, %			Міцність, барабан «серіка»		CSR, %	CRI, %	Вихід, %	Технічний аналіз, %			Міцність, барабан «серіка»		CSR, %	CRI, %
	A ^d	V ^{daf}	S ^d _t	M ₂₅	M ₁₀				A ^d	V ^{daf}	S ^d _t	M ₂₅	M ₁₀		
Антрацит клас +80 мм	5,0	1,9	1,64	59,7	37,6	31,7	27,3	95,6	6,3	0,2	1,42	53,8	44,4	33,5	24,2
Антрацит клас 60-80 мм	5,1	2,0	1,68	62,9	35,8	29,9	29,7	96,5	6,4	0,4	1,38	58,2	37,0	33,1	24,2
Антрацит клас 40-60 мм	5,1	1,8	1,60	54,2	37,9	30,3	30,1	96,3	6,0	0,5	1,36	64,8	29,1	40,1	16,4
Антрацит клас 25-40 мм	5,1	2,1	1,73	54,8	38,1	32,4	28,5	97,0	5,1	0,3	1,32	66,9	26,2	39,8	14,0
Антрацит клас 25 мм	5,2	2,4	1,70	-	-	32,5	26,6	96,5	5,0	0,3	1,36	-	-	34,7	16,5

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

Результати порівняльного аналізу проб сирого та термообробленого антрациту (табл. 2.3) показали, що фракції 25-60 мм покращили свої показники по холодній міцності та стиранню, а також по реакційній здатності та гарячій міцності, показник якої вийшов на рівень показника проб коксу одержуваного на комбінаті із шихт вугілля України.

2.6 Екологічні аспекти роботи цеху та заходи по захисту навколишнього середовища

2.6.1 Основні шкідливості та небезпеки

Даною бакалавратською роботою передбачається установка печи для отримання термоантрациту в доменному цеху №1. Сучасне доменне виробництво представляє собою комплекс складних пристроїв з високим рівнем автоматизації. З санітарно-гігієнічної точки зору для доменного виробництва характерно утворення надлишкового тепла, пилу та токсичних газів. Для утворення нормальних умов праці, запобігання нещасних випадків та професійних захворювань важливе значення має загальне влаштування підприємства (планування, конструкції будівель, вентиляція, освітлення та

ін.). Відповідно до умов санітарних норм проектування промислових підприємств, металургійні заводи повинні бути розташовані по відношенню до населених пунктів з підвітряного боку з урахуванням переважаючого напрямку вітрів північно-західного напрямку. Доменний цех розташовують з підвітряного боку по відношенню до цехів з меншою кількістю шкідливих виділень.

Піч для отримання термоантрациту як і доменна піч має острівне розташування по відношенню до них, що забезпечує незалежність друг від друга в процесі експлуатації та створює сприятливі умови їх обслуговування. Але при острівному розташуванні печей збільшується протяжність залізниць та пешеходних комунікацій, а відповідно небезпека наїздів, цього не має при блочному розташуванні печей.

Територія цеху освіщена відповідно до діючих норм. Всі будівлі та приміщення виконані з нагрітого матеріалу. Висота промислових приміщень повинна бути не менше 3,2 м.

Домене виробництво безперервно пов'язано з високими температурами, тиском, з утворенням значних кількостей вибухонебезпечних газів та насиченістю механічним та електричним устаткуванням. Ремонт та обслуговування устаткування домених печей виконується у важких умовах безперервного технологічного процесу. За характером робіт доменне виробництво відноситься до категорії важких робіт з постійним фізичним напруженням, постійним пересуванням та перенесенням персоналом ваг більше 10 кг. Технологічні операції виконуються у несприятливих кліматичних умовах (висока температура, теплове випромінювання, запиленість, загазованість). Джерелом випромінювання є розплавлені маси чавуну та шлаку, гарячий агломерат ($t = 500-700\text{ }^{\circ}\text{C}$), полум'я газів, нагріті елементи устаткування та конструкцій, а також дуга електрозварювання.

Наближення до джерел тепла та безпосередній дотик до них викликає опіки та тяжкі травми. Виконання трудових операцій у робочій зоні з підвищеним тепловим навантаженням може призвести до теплового удару.

Найбільш небезпечними ділянками в доменному цеху, де може статися тепловий удар, є місце вивантаження гарячого агломерату та подачі його в скіп, горн доменної печі, міжконусний простір при ремонтах та ін.

У доменному виробництві можуть виділятися такі шкідливі для здоров'я гази та речовини: окис вуглецю CO , сірчистий газ SO_2 , вуглеводні C_nH_m , ціаністі сполуки, доменний газ, пил та ін.

Різні складові доменного газу (CO , N_2 , CO_2 , H_2 по-різному діють на організм людини, викликаючи отруєння і задуху. Наявність у повітрі пилу може викликати захворювання легень. Для виконання різних робіт на ділянці горна та повітрянагрівачів (сушіння жолоба, льотки, футляра) застосовують коксовий газ. Наявність у коксовому газі окису вуглецю, водню, метану робить його небезпечним. Також широко застосовується природний газ, який, як правило, нетоксичний, але, впливаючи на організм людини, викликає задуху. Викиди пилу в доменному виробництві з колошниковим газом становлять до 50-100 кг/т. Пил містить 60 % заліза, 10 % оксиду кальцію. При роботі печі для отримання термоантрациту кількість шкідливих викидів в атмосферу, порівняно з викидами з доменної печі, набагато менша, тому її установка в доменному цеху не впливає на загальні показники викидів шкідливих речовин в атмосферу при роботі доменного виробництва. Джерелами постійних шумових навантажень є віброживильники, пластинчасті конвеєри, коксові грохоти, вентиляційні установки, мотор-генератори машинних залів, витік повітря, різні звукові сигнали. Крім шумових навантажень, на організм людини шкідливо діє вібрація, робота віброгуркотів та віброживильників, рух поїздів по бункерній естакаді та скіпів, робота механізмів машинного залу, робота вентиляторів. Дія шумів та вібрації на організм призводить до захворювань органів слуху, серцево-судинної системи, розширення вен, захворювання нервової системи. До основних небезпек у доменному цеху також належать електричні установки та обладнання; насиченість механізмами та транспортуючими засобами, підйомно-транспортні роботи та переміщення вантажів.

2.6.2 Заходи щодо усунення шкідливостей та небезпек

Розробка заходів щодо виробничої санітарії здійснюється у такій послідовності:

- забезпечення якості повітря робочої зони;
- організація освітлення приміщень;
- захист від шуму, вібрації та випромінювання.

Розробка заходів щодо технічної безпеки здійснюється за такою схемою:

- заходи щодо забезпечення безпеки обладнання;
- заходи щодо забезпечення безпеки технологічних процесів, у тому числі охорона навколишнього середовища;
- електробезпека;
- пожежна та вибухова безпека.

Для зменшення впливу теплових впливів застосовуються вентилятори, повітряне душення, розпилювання води, холодне екранування, установки для охолодження та кондиціонування повітря. Обладнані приміщення для відпочинку, температура яких підтримується на рівні 22 °С. Природна вентиляція, за допомогою фанарів на дахах будівель ливарних дворів та прорізів у стінах, забезпечує необхідне відведення гарячого повітря. У зимовий час отвори закривають.

Для зниження шкідливих впливів загазованості проводиться герметизація доменних печей та печі для отримання термоантрациту, газових трас, пиловловлювачів та арматури, раціоналізація обладнання, організація технологічного процесу, комплексна автоматизація, впровадження автоматичного та дистанційного контролю та управління.

Для зниження впливу вібрації в цеху проводять:

- дистанційне керування процесами;
- зменшення вібрації в джерелі за рахунок зміни конструкції обладнання або технології;

- зменшення вібрації шляхом його поширення;
- санітарно-гігієнічні заходи;
- використання засобів індивідуального захисту;
- раціональний режим праці та відпочинку;
- контроль вібрації та сигналізація.

Для зниження електромагнітних випромінювань проводять:

- організаційні заходи (оптимальне розміщення, контроль інтенсивності випромінювання, виконання вимог до персоналу);
- організаційно-технічні заходи (захист відстанню, часом, екранування, використання засобів індивідуального захисту);
- санітарно-гігієнічні заходи.

Ультразвук часто використовують при обробці розплаву сталі, виплавленої електропечі. Основні методи захисту від ультразвуку:

- підвищення робочої частоти;
- використання звукоізолюючих кожухів або екранів;
- виключення контакту рук робітників із ультразвуковим інструментом;
- встановлення технологічних частин ультразвукових установок у звукоізолюючих кабінах.

Іонізуючі випромінювання - радіоактивні ізотопи застосовують у доменному виробництві як індикатори:

- для визначення рівня матеріалу в закритих ємностях (шихта в бункерах, шахті печі і т. д.)
- контролю якості металу, зварених швів, місць з'єднання;
- контролю за ходом технологічного процесу: визначення вмісту фосфору, сірки, кальцію в металі та шлаках, зношеності вогнетривкої футеровки, руху шихти та газів у доменних печах.

Для захисту від радіоактивних ізотопів необхідно передбачати:

- індивідуальний радіаційний захист, що обмежує контури самого джерела випромінювання - використання контейнерів для ослаблення

іонізуючих випромінювань та забезпечення радіаційної безпеки навколишнього робочого простору:

- вживати додаткових заходів захисту від впливу високих температур на ампули з радіоактивним ізотопом (застосування водоохолоджуваних контейнерів);

- введення ампул з радіоактивними препаратами в доменну піч та закладку джерел у вимірювальні прилади необхідно проводити швидко та пристроями з довгими ручками;

- встановлювати екрани для захисту від прямого або розсіяного випромінювання у вигляді контейнерів, щитів і т.д. Товщину екрана розраховувати в залежності від виду випромінювання;

- у місцях встановлення приладів із радіоактивними ізотопами вивішувати попереджувальні плакати та знаки;

- доменний шлак, забруднений радіоактивними ізотопами, слід виводити у відвал;

- видалення радіоактивного футерування виробляти в спеціальні контейнери з герметичними кришками. Концентрація радіоактивних речовин у футеруванні повинні бути перевірена дозиметрами. При перевищенні гранично допустимих норм футерування потрібно поховати в могильники як радіоактивні відходи.

Основними заходами захисту від електромагнітних полів є:

- екранування установок високої частоти екранами (метал завтовшки не менше 0,5 мм) з високою електропровідністю; захисні екрани необхідно ретельно закрити;

- обмеження часу перебування працюючих поблизу установок;

- розміщення приладів управління на значній відстані від установок;

- забезпечити обладнання височастотних установок світловою сигналізацією, яка сповіщає про включення установки.

Для захисту від теплового випромінювання у металургійному виробництві проводять наступні заходи [8, 17, 23]:

- теплоізоляція агрегатів;
- захист відстанню;
- екранування робочих місць чи джерел випромінювання;
- використання повітряного душування;
- використання засобів індивідуального захисту;
- раціональний режим праці та відпочинку.

Пульты керування заслінками або машинами варто розташовувати не ближче ніж 5 м від джерела теплового випромінювання. Стіни печей рекомендується екранувати алюмінієвим листом товщиною 1,5-2,0 мм. Оглядовий проріз у пультів управління захищається сталеву сіткою з осередком 2×2 мм, що знижує інтенсивність опромінення на 50 %, а два шари - на 75 %. Обшивання поручнів та майданчиків біля пультів керування сталевим або алюмінієвим листом дозволяє у 2 рази знизити інтенсивність теплового опромінення на робочому місці; подвійний алюмінієвий лист з відкритим повітряним прошарком дозволяє знизити інтенсивність опромінення в 5-6 разів.

При інтенсивності опромінення огорожі від 0,3 до 2,8 кВт/м² стіни постів управління варто захищати гофрованими алюмінієвими екранами. При інтенсивності опромінення огорож більше 2,8 кВт/м² варто використовувати подвійні алюмінієві екрани з відстанню між ними 30-50 мм.

2.6.3 Пожежна профілактика

Для попередження пожеж на складах вони розділені протипожежними стінами на відсіки площею не більше 1500 м², легкозаймисті матеріали зберігаються окремо; горючі рідини повинні зберігатися у герметичній тарі; газу у балонах; цінні горючі матеріали зберігають у окремих боксах. Електричні кабелі, трубопроводи захищені покриттями із мінеральної вати. Для запобігання пожежам у вентиляційних пристроях не допускається приєднання до вентиляційних систем витяжок від нагрівальних пристроїв, а

також прокладання у повітропроводах газопроводів та трубопроводів горючих рідин.

У цеху застосовуються вогнегасники марок ОП-5, ОП-8, ОП-2, ОП-9. На території цеху встановлено пожежні щити (стенди) з розрахунку один щит на площу до 5000 кв.м, в кількості 30 штук. У комплект одного щита входять: вогнегасники-3 шт., покривала азбестове (2м×2м) - 1 шт., багри-3 шт., лопати, ломи, сокири - по 2 шт. У кожному ПСУ встановлено ящики з піском місткістю щонайменше 0,1 куб.м.

2.6.4 Вплив запропонованої технології на навколишнє середовище

Інтенсивний розвиток промисловості у багатьох регіонах супроводжується відповідним зростанням навантаження на довкілля. Нині щорічно в атмосферу викидаються мільйони тонн діоксиду сірки, пилу, оксиду вуглецю, оксидів азоту. У повітряному басейні постійно перебуває понад дев'ять мільйонів тонн аерозолів. Все це негативно впливає на рослинний світ, на здоров'я людини, її тривалість життя.

Розвиток чорної металургії пов'язане з кількісним зростанням виробництва та корінними змінами в технології (агломерація руд, підвищення тиску в доменних печах, застосування кисню для інтенсифікації горіння палива), що різко збільшує обсяги шкідливих речовин в атмосферу.

Перед підприємств чорної металургії припадає близько 20 % промислових викидів шкідливих речовин, у атмосферу, а районах розташування великих металургійних підприємств – понад 50 % загальної кількості забруднень. У зв'язку з цим у галузі приділяється постійна увага екологічним заходам (пиловловлення, газоочисні встановки).

Однак, незважаючи на це, викиди шкідливих речовин в атмосферу великі. У цьому плані серед різних металургійних переділів не останнє місце посідає доменне виробництво з використанням як паливо коксу та

природного газу. Це наочно ілюструється даними, наведеними в таблиці 2.4 [44].

Таблиця 2.4

Відносна кількість викидів в атмосферу шкідливих речовин від виробництв металургійних заводів

Вид металургійного виробництва	Відносна кількість викидів в атмосферу шкідливих речовин від загального об'єму, %			
	пил	Діоксид сірки	Оксиди азота	Оксиди вуглецю
Коксохімічне	6,0	1,00	9,1	7,8
Агломераційне	40,3	60,76	26,0	77,7
Доменне	18,7	0,30	3,0	3,5
Сталеплавильне	13,0	0,02	6,5	5,4
Прокатне	0,2	0,2	6,5	5,4
Вапняне та вогнетривке	8,5	0,40	5,4	0,4
Ремонтне господарство	1,5	0,02	1,5	1,0
ТЕЦ, котельні	5,6	37,0	36,6	-
Шлакопереробка	6,2	0,30	1,4	4,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [44]

У доменному виробництві, поряд з екологічною напруженістю, відчувається і гостра нестача коксу через падіння добичі коксівного вугілля. Ситуація, що склалася, сьогодні вимагає різних напрямків, що сприяють зниженню споживання коксу при виплавці чавуну. В зв'язи з цим значительный интерес представляет применение антрацитового топлива в металл в металлургическом, в частности, в доменном производстве.

Шкідливі викиди доменного виробництва діляться на технологічні та неорганізовані. До технологічних викидів відносяться доменний газ, що утворюється в процесі виплавки чавуну в доменній печі, а також гази та пил, що викидаються в атмосферу через завантажувальний пристрій. Неорганізовані викиди пилу в доменному виробництві практично починаються з моменту надходження до доменного цеху шихтових матеріалів, коксу та вивантаження їх на рудному дворі або в бункери. Частина цих викидів потрапляє у приміщення, частина видаляється системою вентиляції (аспіраційні викиди). На підставі проведених досліджень та аналізу даних щодо віддалених викидів шкідливих речовин в атмосферу доменного цеху, наведених [44], стосовно умов доменного виробництва

комбінату «АМКР», з урахуванням основних джерел викидів шкідливих речовин в атмосферу рудний двір та бункерна естакада. Викиди колошникового газу, підбункерні приміщення, викиди з міжконусного простору, ливарний двір, розлив чавуну розливними машинами, розвантаження пиловловлювачів та інше), орієнтовно утворюються:

Пил 38,9 кг/т чавуну; Оксид вуглецю 29,0 кг/т чавуну;

Оксид азоту 24,9 кг/т чавуну; Діоксид сірки 2,5 кг/т чавуну;

Безпосередньо викидається в атмосферу і завдають шкоди довкіллю таку кількість шкідливих речовин (у питомих показниках):

Пил 7,8 кг/т чавуну; Оксид вуглецю 7,3 кг/т чавуну;

Оксид азоту 5,0 кг/т чавуну; Діоксид сірки 0,5 кг/т чавуну;

За таких показників питомих викидів шкідливих речовин до атмосфери необхідно поряд з підвищенням ефективності засобів знепилення та газоочищення, удосконалення технологій та окремих операцій з метою скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря та використання нових матеріалів, що дозволяють знизити негативний вплив доменного виробництва на навколишнє природне середовище.

Дослідження кількісних та якісних показників шкідливих викидів речовин при виробництві антраценових замінників металургійного коксу проводилося на Каменданській ЦЗФ. Для виробництва антрацитових замінників коксу на даній ЦЗФ було обладнано спеціальну установку. Технологія отримання антрацитових замінників металургійного коксу полягала в конвейєрній подачі антрацитів на обробку в обтяженому рідкому середовищі. При цьому антрацити проходять дві стадії спеціальної обробки, після чого вони занурюються в залізничні вагони та прямують споживачеві.

Найбільш значущим джерелом з виділення пилу при виробництві антрацитових замінників металургійного коксу є місце навантаження обробленого антрациту в залізничні вагони. Аналіз кількісних показників викидів шкідливих речовин у атмосферу показав, що у них відсутні властиві

коксохімічному виробництві забруднювачі: оксид вуглецю; діоксид сірки; оксиди азоту. Проведеними дослідженнями у викидах встановлено лише пил.

Середнє питоме пиловиділення при виробництві термоантрацита становить близько 20 кг/т антрацитового замітника.

На підставі проведених досліджень та розрахунків складемо таблицю значень питомих викидів шкідливих речовин в атмосферу при використанні (заміні коксу з коефіцієнтом 1,0) у доменному виробництві 1 т термоантрациту (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Питомі викиди шкідливі речовини в атмосферу, віднесені на 1 т антрацитового замітника металургійного коксу

Шкідлива речовина	Питомі викиди шкідливі речовини в атмосферу, віднесені на 1 т антрацитового замітника металургійного коксу			Усього кг/т антрацитового замітника металургійного коксу
	виробництво	транспортування	використання	
Пил	0,0634	0,0566	0,532	0,652
Оксид вуглецю	-	-	7,3	7,3
Діоксид сірки	-	-	0,50	0,50
Оксид азоту	-	-	5,00	5,00

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [44]

Виконані дослідження екологічної ефективності антрацитових заміників показують, що в порівнянні з коксом, даний вид палива для доменних печей відрізняється нижчими показниками викидів шкідливих речовин в атмосферу. Порівняно з виробництвом металургійного коксу на КХЗ, у викидах шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу при виробництві термоантрациту, відсутні діоксид сірки, оксид вуглецю, оксид азоту, вуглеводні, сірководень, фенол, аміак. Викиди пилу при цьому становлять 0,0634 кг/т антрацитового замітника коксу, що більш ніж у 39 разів менше порівняно з пиловиділенням, що утворюється при виробництві 1 т коксу. У той же час викиди діоксиду сірки, оксиду вуглецю та оксидів азоту при виплавці чавуну практично однакові як при використанні коксу, так і при застосуванні його антрацитових заміників.

Новим кроком у технології виробництва тероантрациту є встановлення печей для його отримання на КХЗ з безпосереднім підключенням до системи уловлювання хімічних продуктів, що також сприятиме зниженню економічної та екологічної шкоди від забруднення навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

У випускній роботі в першу чергу вирішується завдання заміщення частини коксу іншим специфічним паливним компонентом в доменній плавці, так як відчувається гостра нестача коксу через падіння видобутку коксівного вугілля. Тому використання термоантрациту, як часткового замітника коксу в доменній печі, є вирішенням цього завдання. Оскільки термоантрацит, порівняно з антрацитом, який також використовується як замітник коксу, відрізняється кращими фізико-хімічними властивостями, високими показниками технічного аналізу, високою термостійкістю при високій температурі, низькою реакційною здатністю, що визначає її якість. Технологія отримання термоантрацита є дорожчою, ніж спосіб збагачення антрациту [36], який застосовується зараз у доменній плавці, але ефективніше, оскільки відбувається видалення і вологи та летких речовин (при збагаченні антрациту видаляється тільки волога). Це підвищує гарячу міцність антрациту, цим стабілізується процес доменної плавки. Застосування цієї технології на ПАТ «АМКР» дає можливість збільшити заміну коксу в доменній печі термоантрацитом до 100-150 кг/т чавуну (витрата антрациту 70-80 кг/т чавуну, а також знизити економічний та екологічний збиток від забруднення навколишнього середовища).

Таким чином, проблема подальшого зниження собівартості чавуну, за рахунок заміщення частини кокса твердим кусковим вугіллям, може бути вирішена використанням в шихті замість сирого антрациту, термоантрациту, термічна стійкість і механічна міцність якого наближається до показників коксу, а вміст вуглецю збільшується до 96-98 %. Реалізація цієї технології в широкому масштабі не потребує великих інвестицій та тривалого часу на її освоєння. У найпростішому варіанті термоантрацит можна отримувати у звичайній коксовій печі із зміненою системою видачі готового продукту.

Підвищення вмісту вуглецю та поліпшення властивостей міцності термоантрациту, при дотриманні розроблених технологій завантаження його

в піч, дозволить збільшити витрату термоантрациту до 80-140 кг/т і коефіцієнт заміни коксу термоантрацитом до 1,0-1,2 кг/кг.

В умовах зростання цін на кокс і природний газ, а також в умовах нестачі коксу в Україні використання термоантрациту для часткової заміни коксу дозволяє отримати високий економічний ефект.

В розділі «Екологічні аспекти роботи цеху та заходи по захисту навколишнього середовища» розглянуті основні шкідливі й небезпечні фактори діючі в умовах цеху. Запропоновані заходи щодо зниження рівня цих факторів. Узагальнені питання пожежної профілактики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лялюк В.П., Товаровський І.Г., Демчук Д.А. Коксозамінні технології в доменній плавці: монографія. Д.: Пороги, 2006. 276 с.
2. Pokhvysnev A.N., Abramov V.S., Krasavtsev N.I. Domain production. Moscow: Metallurgizdat. 1951. 707 p.
3. Krasavtsev N.I. Iron metallurgy. M.: Metallurgizdat. 1952. 639 p. Pavlov M.A. Iron metallurgy. Part 1. Introduction, raw materials. M.: Metallurgizdat. 1955. 212 p.
4. Myroshnychenko I.K. Thermoanthracite as a new type of metallurgical fuel. M. Bureau of technical assistance of VYITOM. 1938. 205 p.
5. Myroshnychenko I.K. Copper melting of cast iron on thermal anthracite. R.: Rostov regional publishing house. 1940. 128 p.
6. Nasyk M.I. Electrodes of ore-thermal electric furnaces. M.: Metallurgy. 1984. 248p.
7. Гасік М.І., Уразліна О.Ю., Кутузов С.В. Електрокальцинація антрациту: проблемні питання теорії та шляхи підвищення якості термоантрациту та енергозбереження. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2003. №5. 27-32 с.
8. Гасік М.І., Уразліна О.Ю., Кутузов С.В. Пресизійні термодинамічні дослідження перетворень у донецькому антрациті при прокалюванні його в повітрі та в аргоні в інтервалі 100-1400 °С. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2006. №1. 26-30 с.
9. Гасік М.І., Уразліна О.Ю., Кутузов С.В. Дослідження фізичних властивостей термоантрациту при високій термотемпературній загартуванні антрациту. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2004. №4. 17-20 с.
10. Гасік М.М., Гасік М.І., Уразліна О.Ю. Моделювання термічного та електричного режимів роботи електрокальцинатора при термічній обробці антрациту. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2004. №5. 18-23 с.
11. Ostansevskaya N.S., Bochkareva K.I. Physical and technical problems of mineral

- development. No. 4. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. 1965. 24 p.
12. Otamanskyi, A.I., & Kondrashenko, N.F. (1966). Expansion of electrode thermoanthracite resources and improvement of coal product quality. *Coke and Chemistry*, (8), 24.
 13. Tykhomyrov, Yu.L. (1970). On the demand and production of thermoanthracite from non-standard anthracite. *Coke and Chemistry*, (1), 22-25.
 14. Titov, A.G., & Bort, P.I. (1986). On economic incentives for improving the quality of thermoanthracite for ferroalloy plants. *Coke and Chemistry*, (9), 64-65.
 15. Єрємін І.В., Іванов В.П., Малолетньов А.С. Вплив ступеня метаморфізму та відновленості антрацитів Донбасу на властивості продуктів їхньої термообробки. *ХТТ*. 1981 №2. З. 26-31.
 16. Улановський М.Л., Дроздник І.Д., Меньшикова С.Д. Про взаємозв'язок показників ступеня метаморфізму антрацитів. *Кокс та хімія*. 1994. № 8. С. 2-4.
 17. Улановський М.Л., Дроздник І.Д., Меньшикова С.Д. Вплив ступеня метаморфізму атрациту на якість тероантрациту. *Кокс та хімія*. 1994. № 10. С. 12-16.
 18. Улановський М.Л., Дроздник І.Д., Преображенская Н.А. Дослідження атрацитів та тероантрацитів методом рентгеноструктурного аналізу. *Кокс та хімія*. 1994. № 11. С. 6-9.
 19. Вікулов А.С., Дьяконов С.І., Трошин А.П. Вдосконалення контролю технологічного режиму виробництва електродного термоантрациту. *Кокс та хімія*. 1986. № 1. С. 23.
 20. Товаровський І.Г., Лялюк В.П. Еволюція доменної плавки. Дніпропетровськ: Пороги. 2001. 424 с.
 21. Улановський М.Л., Степаненко І.В., Борт О.І. Вивчення механічних властивостей та газопроникності засипу антрациту та термоантрациту. *Кокс та хімія*. 1985. № 1. С. 11-13.
 22. А.С. 173712. Казанський В.В., Фрізенштейн М.І., Юрченко М.І. Опубл. 1965.

- №16. З. 22-23.
23. А.С. 817050. Вікулов А.С., Дзяконов С.І., Кравчина Г.Ф. Опубл.1981. №12. З. 103-104.
 24. Вікулов А.С., Нікітін П.М., Трошин А.П. Отримання електродного термоантрациту у шахтних печах. *Кокс та хімія*. 1983. № 7. С. 14-17.
 25. Большаков В.І., Пубальцев Л.Г. Стан та перспективи розвитку чорної металургії України на основі електрозберігаючих технологій. *Металургійна та гірничорудна промисловість України*. 2006. №2. С.1-5.
 26. Спосіб доменної плавки. О.В. Дубіна, А.В. Сокурєнко, В.А. Шерємет. Патент України №67681. 2004. Бюл. №6.
 27. Method of blast furnace smelting. O. V. Dubina, A. V. Sokurenko, V. A. Sheremet, et al. Patent No. 2268947. MKI7 C 21v 5/00. Published 27.01.2006. Bulletin No. 3. 15.
 28. Товаровський І.Г., Лялюк В.П., Товаровський І.Г. Коксозамінні технології в доменній плавці. Дніпропетровськ, вид. "Пороги", 2006. 276 с.
 29. Товаровський І.Г., Лялюк В. П., Шевченко Т. Г. Доменна плавка із заміною частини коксу шматковим антрацитом. XV міжнародна конференція з теплотехніки та енергетики в металургії: тез. доп. 7-9 жовтня 2008 р., НМетАУ, Дніпропетровськ. С. 240-241.
 30. Дубіна О.В., Сокурєнко О.В., Шерємет В.А. Проблеми заміни частини коксу шматковим вугіллям у доменній плавці та їх вирішення в умовах КДГМК «Криворіжсталь». Теорія та практика виробництва чавуну. Праці міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 70-річчю КДГМК «Криворіжсталь». Кривий Ріг 24-27 травня 2004 року. С. 228-232.
 31. Сокурєнко О.В., Кекух О.В. Використання антрациту у доменній плавці для заміни коксу. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2005. №6. 5-9 с.
 32. Сокурєнко О.В., Шерємет В.А., Кекух О.В. Заміна частини коксу антрацитом у доменній плавці. *Сталь*. 2006. №5. 6-11 с.
 33. Слободінський С. А. Особливості оцінки механічних властивостей термоантрациту. *Кокс та хімія*. 1997. № 12. С. 17-19.

34. Безуглий В.А. Аналітичний огляд конструкцій електрокальцинаторів для термічної обробки вуглецевих матеріалів у щільному шарі. ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol. 30, 2022. № 3 (330) «Метал та лиття України». 2022. № 3. с. 56–64.
35. Антрацит та термоантрацит у шихті доменної плавки. Лялюк В.П., Товаровський І.Г., Демчук Д.О., Севернюк В.В. Монографія.Д.: Пороги. 2008. 245 с.
36. Піч електрокальцинації сипучого вуглецевого матеріалу: пат. 72633 Україна. МПК F27B 3/08; заявл. 16.08.2004, опубл. 15.03.2005. Бюл. № 3.
37. Піч електрокальцинації сипучого вуглецевого матеріалу: пат. 89263 Україна. МПК F27B 1/09, F27D 11/00; заявл. 12.10.2009, опубл. 11.01.2010. Бюл. № 1.
38. Цибуля О.І. Підвищення якісних характеристик термоантрациту для вугільної продукції металургійного призначення. Вісник НТУ «ХПІ». 2014. №60 (1102).
39. Гасік М.М., Гасік О.Ю. Моделювання термічного та електричного режимів роботи електрокальцинатора при термічній обробці антрациту. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2004. №5. 18-23 с.
40. Старовойт А. Г. Сучасна сировинна база для коксування, її структура та вимоги до якості коксу. *Новини науки Придніпров'я*. 2010. № 5. С. 22-25.
41. Демчук Д.А., Орел Г.І. Про перспективи альтернативних видів доменного палива. *Вісник МАНЕБ. С. Алчевськ*. 2002. Т7. №7 (55). С. 90-95.
42. Демчук Д.А. О применении антрацитовых заменителей металлургического кокса в доменных печах. *Вісник МАНЕБ. С. Алчевськ*. 2001. №9. С. 56-58.
43. Шеремет В.О., Каракаш О.І., Маранчук В.Ф. Довідниковий посібник керівника та спеціаліста гірничо-металургійного підприємства з охорони праці: навч. посіб. Дніпропетровськ: ПП Ліра ЛТД, 2005. 653 с.
44. Жидецький В.Ц. Практикум з охорони праці : навчальний посібник. Львів : Афіша, 2000. 352 с. SBN 966-7760-09-X.
45. Андоньев С.М., Філіппов О.В. Пілегазовий віброкси підприємств чорної металургії. М: Металургія. 1979. 192 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок
161-07д-з

Автор
161-07д-з

Науковий керівник / Експерт
Шмельцер К.О.

ІД документу
334137353

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Підприємство
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту
6/2/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



11317
Кількість слів



85996
Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		2
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		283

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копію тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз		Копія тексту
#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (PERCENTIV)
1	https://masters.donntu.ru/2012/feht/shirokorodova/library/article5.htm	148 (1.31 %)

Д О В І Д К А

про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- ☒ кваліфікаційної роботи;
- ☐ навчальної/наукової праці;
- ☐ наукових матеріалів

«Вибір та обґрунтування технології отримання термоантрациту з метою часткової заміни коксу в доменній плавці»

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Гранкін Ярослав Вікторович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 78 сторінка друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrikePlagiarizm_{com}».

Рівень оригінальності становить 30,96 % (КП 1)

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- ☐ власними публікаціями;
- ☒ термінологією;
- ☒ посиланнями на літературу, праці вчених;
- ☐ посиланнями на законодавство;
- ☒ загальноновживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК
(подальшого розгляду, друку, опублікування)

кафедри Хімічних технологій та інженерії

на засіданні _____

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «12» червня 2026 р. протокол №16.

Керівник підрозділу _____

(підпис)

К. Шмельцер

Дата «12» червня 2026 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача вищої освіти

Гранкіна Ярослава Вікторівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(шифр, назва)

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна робота бакалавра

Тема кваліфікаційної роботи «Вибір та обґрунтування технології отримання термоантрациту з метою часткової заміни коксу в доменній плавці»

Керівник кваліфікаційної роботи: к.т.н., доцент К.О. Шмельцер

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Шмельцер К.О.				
2	Основна частина	Шмельцер К.О.				
3						
4						

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Шмельцер К.О.

(ініціали, прізвище)

« _____ » _____ 2026 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Хімічних технологій та інженерії

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Здобувача вищої освіти Гранкіна Ярослава Вікторовича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-22

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Вибір та обґрунтування технології отримання термоантрациту з метою часткової заміни коксу в доменній плавці»

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	78 стор.;
таблиць	9;
схем і рисунків	28;
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	-.

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра:

Кваліфікаційна робота бакалавра виконано на актуальну тему.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена аналізу технології отримання термоантрациту з метою його використання для часткової заміни коксу у доменній плавці. Обґрунтування вибору технології отримання термоантрациту: дослідження різних технологій та аналіз їх ефективності у заміні коксу в доменній плавці. Результати роботи можуть стати основою для впровадження технології виробництва термоантрациту, яка дозволить зменшити витрату коксу в доменній плавці, збільшити його міцність в умовах доменної печі, збільшити продуктивність доменної печі, знизити показник CRI, знизити собівартість 1 т чавуну.

Запропоновано заходи щодо охорони праці у цеху.

Недоліки кваліфікаційної роботи

До недоліків кваліфікаційної роботи слід віднести недостатньо повно розкрито питання доцільності даної технології. Недостатня обґрунтованість вибору конкретної технології отримання термоантрациту в контексті часткової заміни коксу. Обмеженість у дослідженні екологічних аспектів даної технології. Відсутність достатньої кількості реальних даних або емпіричних досліджень, які підтверджують практичність та ефективність вибраної методики у заміні коксу. Присутні стилістичні помилки у технічній термінології.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання, Під час роботи над кваліфікаційною роботою здобувачем зроблений глибокий аналіз існуючих літературних джерел, зроблені необхідні висновки,

проаналізовано вплив різних факторів на термообробку антрациту. Ураховуючи складність обраної теми, можна вважати, що автор успішно впорався з завданням та продемонстрував не лише глибокі знання в галузі, а також вміння аналізу та критичного мислення. Кваліфікаційна робота вимагала від автора високого рівня самостійності та професіоналізму у вирішенні поставленої проблеми

Здобувач Гранкін Ярослав продемонстрував хороші аналітичні здібності, вміння аналізувати і систематизувати зібрану інформацію, а також робити самостійні висновки, пропозиції та узагальнення.

Графік виконання роботи дотримувався неухильно

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Робота відповідає вимогам, що висуваються до кваліфікаційних робіт на першому (бакалаврському) освітньо-кваліфікаційному рівні може бути допущена до захисту на засіданні ЕК.

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра _____

Керівник Шмельцер Катерина Олегівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

« ____ » _____ 2026 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Хімічних технологій та інженерії

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Здобувача вищої освіти Гранкіна Ярослава Вікторовича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-22ск	
Тема кваліфікаційної роботи бакалавра	<u>Вибір та обґрунтування технології отримання термоантрациту з метою часткової заміни коксу в доменній плавці</u>
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи бакалавра	
Дослідження та розробка технології отримання термоантрациту з метою часткової заміни коксу в доменній плавці	
Переваги кваліфікаційної роботи бакалавра	
<u>Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена надзвичайно актуальній для сучасної металургії проблемі - пошуку ефективних шляхів ресурсозбереження та заміни дефіцитного коксівного вугілля альтернативними видами палива. Здобувач демонструє глибоке розуміння фізико-хімічних процесів, що відбуваються в доменній печі, та обґрунтовує використання термоантрациту як перспективного компонента шихти.</u> <u>До вагомих переваг роботи слід віднести ретельний вибір та обґрунтування технології отримання термоантрациту. Здобувачем проведено детальний аналіз впливу параметрів термічної обробки на якісні характеристики готового продукту, що дозволяє прогнозувати стабільність показників доменної плавки. Наведені розрахунки заміни коксу термоантрацитом мають чітке економічне та екологічне підґрунтя.</u> <u>Практичне значення роботи полягає в можливості впровадження запропонованих рішень для підвищення ефективності виробництва, зниження собівартості чавуну та зменшення антропогенного навантаження. Робота вигідно відрізняється системним підходом, логічністю викладу матеріалу та відповідністю сучасним вимогам, що ставляться до кваліфікаційних робіт бакалаврів металургійних спеціальностей.</u>	
Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра	
<u>До недоліків роботи слід віднести обмеженість проведених досліджень лабораторними умовами, що не дозволяє повною мірою оцінити кінетику процесів при промисловій масштабізації технології. Крім того, в роботі недостатньо деталізовано вплив варіативності хімічного складу вихідного антрациту на стабільність показників доменної плавки, що потребує додаткового аналізу в подальших дослідженнях. Присутні стилістичні помилки у технічній термінології.</u>	
Рекомендації:	
Рецензент доцент, к.х.н. Кормер Марина Віталіївна	
(прізвище, ім'я та по-батькові)	

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, Гранкін Ярослав Вікторович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота (Вибір та обґрунтування технології отримання термоантрациту з метою часткової заміни коксу в доменній плавці) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований, що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений(на) з умовами такого розміщення.

01.06.2026

Підпис