

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Машинобудування, електричної інженерії та хімічних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету)
Хімічні технології та хімічне машинобудування
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Збиковський Є.І.
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2023 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ Магістр _____
(освітній ступень)

на тему Дослідження впливу технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей

Виконав: студент II курсу, групи ХТм-22а
(шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності) 161 «Хімічні технології та інженерія»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ Богданов С.А. _____
(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Керівник _____ доц. каф. ПД. Збиковський О.І. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент доц.каф. ПД. доктор філософії Ольга Богомаз
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет Машинобудування, електричної інженерії та хімічних технологій
Кафедра Хімічні технології та хімічне машинобудування
Освітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) магістр
Напрямок підготовки (спеціальність) 161 «Хімічні технології та інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____/Збиковський Є.І./

“ ____ ” _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я **НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Богданов Сергій Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження впливу технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей

керівник роботи Збиковський Олександр Іванович, доц. каф. ПД.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом №477 від “22”Вересня 2023 року

2. Строк подання студентом роботи 25 грудня 2023 року
3. Вихідні дані до роботи: показники технічного аналізу вугільної шихти: вологість на робочу масу $W^r_{\text{ш}} = 10 \%$, зольність на суху масу $A^d_{\text{ш}} = 8,5 \%$, сірчистість на суху масу $S^d_{\text{ш}} = 1,6 \%$, вихід летких речовин на суху масу $V^d_{\text{ш}} = 30 \%$; інтервали варіювання для шихти вологості на робочу масу 8 – 12 %, сірчистості на суху масу 1,0 – 2,2 %, виходу летких речовин на суху масу 27 – 33 %; температура коксового газу на вході в корнюри – 50 °С; температура точки роси коксового газу – 30 °С; надлишковий тиск коксового газу в газопроводах по сторонах коксової батареї – 1280 Па; атмосферний тиск – 745 мм рт. ст.; температура повітря в тунелі – 24 °С; середньорічна температура повітря – 16 °С; відносна вологість повітря – 0,55; коефіцієнт надлишку повітря – 1,3; температура вугілля, що завантажується в камери коксування – 18 °С; температура коксу, що вивантажується з камер коксування – 1050 °С; середня

температура парогазових продуктів на виході з камери коксування – 750 °С; середня молярна маса бензольних вуглеводнів – 83 г/моль; температура продуктів горіння на виході з регенераторів – 360 °С; склад опалювального сухого коксового газу, % об.: H_2 – 59,0; CH_4 – 25,6; CO – 5,8; N_2 – 4,0; CO_2 – 2,3; C_mH_n – 2,6; O_2 – 0,7.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): фізико-хімічні основи процесу коксування в сучасних коксових печах; технологічні фактори, що впливають на процес коксування; дослідження впливу технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей з використанням ЕОМ: математична модель процесу коксування; комп'ютерна програма на мові програмування PascalABC, ідентифікація програмних змінних; вихідні дані для розрахунку матеріального та теплового балансів процесу коксування, результати розрахунку матеріального та теплового балансів процесу коксування та теплотехнічних характеристик коксових печей, результати дослідження впливу технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей, аналіз результатів дослідження, розробка рекомендацій щодо проведення процесу коксування вугільної шихти в сучасних коксових печах, охорона праці у коксовому цеху: характеристика небезпечних факторів, розробка охоронних заходів у коксовому цеху, розрахунок перегородки для захисту від виробничого шуму.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Збиковський О.І, доц. каф. ПД.		
2	Збиковський О.І, доц. каф. ПД.		
3	Збиковський О.І, доц. каф. ПД.		

6. Дата видачі завдання 1 жовтня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ n/n	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	При- мітка
1	Стан питання за даними науково-технічної та наукової літератури	Жовтень, 2023	-
2	Задачі й методика дослідження	Жовтень, 2023	-
3	Проведення дослідження та обробка результатів	Листопад, 2023	-
4	Розробка рекомендацій	Грудень, 2023	-
5	Оформлення роботи й підготовка до захисту	Грудень, 2023	-

Студент

_____ Богданов С.А
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Збиговський О.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Богданов С.А. «Дослідження впливу технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 161 «Хімічна технологія та інженерія» – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Магістерська робота присвячена вирішенню актуальної проблеми щодо дослідження впливу технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей.

Використання ЕОМ дозволило розрахувати вплив технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей.

Були проведені три дослідження:

1. Вплив зміни вологості шихти на робочу масу від 8 до 12 %;
2. Вплив зміни сірчистості шихти на суху масу від 1,0 до 2,2 %;
3. Вплив зміни виходу летких речовин на суху масу шихти від 27 до 33 %.

Розроблені рекомендації щодо проведення процесу коксування вугільної шихти в сучасних коксових печах.

Кваліфікаційна робота містить 87 сторінок, 4 таблиці, 28 рисунків, 12 джерел літератури.

ВОЛОГІСТЬ, СІРЧИСТІСТЬ, КОКСУВАННЯ, ЕОМ, КОКСУВАННЯ, ОПАЛЮВАЛЬНИЙ ГАЗ, ПРОДУКТИ КОКСУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ.

ABSTRACT

Bogdanov S.A. “Investigation of the influx of technological factors on the output of coking products, combustion gas consumption and thermal characteristics of coke ovens” / Graduation qualification for the graduate level “Master” for specialty 161 “Chemical technology and engineering” – DVNZ DonNTU, Lutsk, 2023.

The master's work is dedicated to the most pressing problem of studying the influx of technological factors on the yield of coking products, the consumption of combustion gas and the thermal characteristics of coke ovens.

The EOM initiative allowed us to explore the infusion of technological factors into the output of coking products, the consumption of combustion gas and the thermal characteristics of coke ovens.

The EOM initiative allowed us to explore the infusion of technological factors into the output of coking products, the consumption of combustion gas and the thermal characteristics of coke ovens.

Several investigations were carried out:

1. Injection change the concentration of moisture content of the mixture from 8 to 12 %;
2. Injection of changing the purity of the charge from 1.0 to 2.2 %;
3. Injection changes the yield of volatile substances from the charge from 27 to 33 %.

Expanded recommendations for carrying out the coking process of coal charge in modern coke ovens.

A qualified robot will place 87 pages, 4 table, 29 drawings, 12 literature.

MOISTURE, SULFURITY, COKING, EOM, COKING, HEATING GAS,
COKING PRODUCTS, TECHNOLOGICAL FACTORS.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ КОКСУВАННЯ В СУЧАСНИХ КОКСОВИХ ПЕЧАХ.....	11
2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕС КОКСУВАННЯ.....	14
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ВИХІД ПРОДУКТІВ КОКСУВАННЯ, ВИТРАТУ ОПАЛЮВАЛЬНОГО ГАЗУ ТА ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОКСОВИХ ПЕЧЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕОМ.....	17
3.1 Математична модель процесу коксування.....	17
3.1.1 Математичний опис розрахунку матеріального балансу процесу коксування.....	17
3.1.2 Математичний опис розрахунку теплового балансу та теплотехнічних характеристик коксових печей... ..	18
3.2 Комп'ютерна програма на мові програмування PascalABC	29
3.3 Ідентифікація програмних змінних.	39
3.4 Вихідні дані для розрахунку матеріального та теплового балансів процесу коксування.....	52
3.5 Результати розрахунку матеріального та теплового балансів процесу коксування та теплотехнічних характеристик коксових печей.....	54
3.6 Результати дослідження впливу технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей.....	57
3.7 Аналіз результатів дослідження	60
3.8 Розробка рекомендацій щодо проведення процесу коксування вугільної шихти в сучасних коксових печах.....	77
ВИСНОВКИ.....	79

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	81
ДОДАТОК А. Охорона праці в коксовому цеху	83

ВСТУП

Дослідження впливу технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей має велику актуальність у сучасних умовах. Промислові підприємства, які виробляють кокс, стикаються з проблемою пошуку оптимальних технологічних рішень для забезпечення високої якості продукції при мінімальних витратах палива та ресурсів. Зокрема, зростання екологічних вимог, зниження вибуття шкідливих речовин, використання альтернативних джерел енергії та покращення теплотехнічних процесів - це ті завдання, які вимагають постійного вивчення та вдосконалення технологічних процесів в коксохімічній промисловості.

Зростання конкуренції та збільшення вимог до екологічності виробництва стали визначальними факторами для підприємств, що вимагає пошуку технологічних рішень, спрямованих на оптимізацію процесу коксування. До цього ж, складні технічні системи коксохімічних заводів потребують ретельного аналізу та дослідження теплотехнічних параметрів коксових печей для підвищення теплової ефективності та зменшення витрат палива, що також є актуальним завданням.

Дослідження впливу технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей є актуальним не тільки на рівні підприємств, а й у контексті загального стрімкого розвитку промислової галузі та пошуку більш ефективних та екологічно чистих технологій виробництва. Такий аналіз може виявитися корисним для оптимізації виробничого процесу, зменшення витрат палива та покращення загальної продуктивності. Крім того, обґрунтоване використання теплотехнічних характеристик дозволить підвищити конкурентоспроможність підприємств та забезпечити їх стійке функціонування в умовах ринкової конкуренції.

Отже, обрана тема для магістерської роботи має суттєве значення і може сприяти вирішенню актуальних проблем промисловості та підвищенню її ефективності.

1 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ КОКСУВАННЯ В СУЧАСНИХ КОКСОВИХ ПЕЧАХ

Коксування – це складний процес перетворення коксівного вугілля при нагріванні до високих температур без доступу повітря. Результат цих перетворень залежить від кінцевої температури коксування.

Процес коксування до кінцевої температури 950 – 1050 °C називається високотемпературним. Розрізняють також низькотемпературне коксування або напівкоксування (кінцева температура 500 – 600 °C) та середньотемпературне коксування (кінцева температура 750 °C) [1].

Кінцева температура суттєво впливає на вихід твердого залишку, на якість і вихід хімічних продуктів коксування. Напівкокс характеризується значно більш низьким значенням міцності у порівнянні з високотемпературним коксом. Кокс середньотемпературного коксування відрізняється високою реакційною здатністю. Виробництво напівкоксу й середньотемпературного коксу за об'ємом значно поступається виробництву високотемпературного коксу [1].

Процес високотемпературного коксування, що проводиться в сучасних батареях коксових печей, характеризується перетвореннями, які відбуваються в різний час у визначених температурних інтервалах в окремих шарах завантаження вугілля по ширині камери коксування, тобто є шаровим. На рисунку 1.1 приведено температурні ізохрони, що показують, як змінюється розподіл температур по ширині камери протягом періода коксування. Ізохрони мають великий кут нахилу протягом більшої частини періода коксування, що спричинено низькою теплопровідністю вугільного завантаження. Через це в камері коксування по ширині тривалий час співіснують шари коксу, напівкоксу, пластичної маси, сухого вугілля, вологого вугілля. в кінці коксування ізохрони стають похилими, що говорить про завершення коксування по всій ширині камери [1].

Наслідком того, що коксування в камері відбувається пошарово, є те, що моноліт коксового пирогу поділяється повздовжними й поперечними усадковими тріщинами на окремі шматки [1].

Розглядаючи процеси, що відбуваються в кожному шарі протягом усього процесу коксування, можна виділити наступні етапи коксування [12]:

- а) випаровування вільної води вугілля (до 100°C);
- б) видалення зв'язаної води, адсорбованих газів, початок розкладання органічної маси ($100 - 350^{\circ}\text{C}$);
- в) інтенсивне розкладання й перехід вугільної маси в пластичний стан ($350 - 500^{\circ}\text{C}$);
- г) спікання пластичної маси з утворенням напівкоксу ($500 - 600^{\circ}\text{C}$);
- д) формування структури коксу ($600 - 1050^{\circ}\text{C}$).

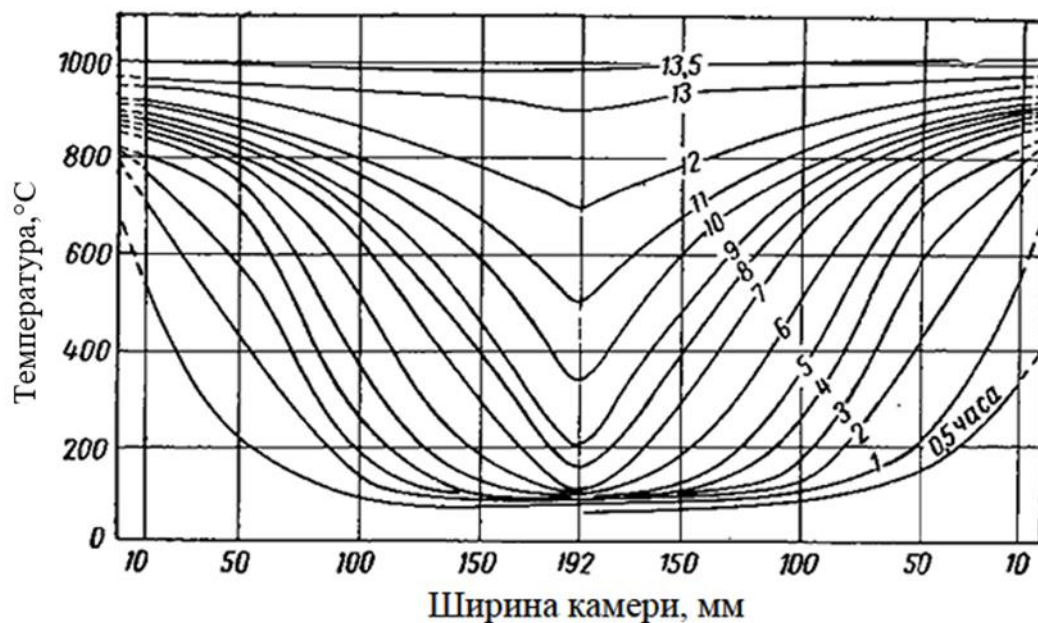


Рисунок 1.1 – Ізохрони температур по ширині камери коксування

На етапі пластичного стану в'язкі пластичні речовини створюють більший чи менший опір до евакуації летючих продуктів коксування. При цьому виникає тиск розпирання, який також залежить від газопроникності шару напівкоксу, що визначається густиною утвореної в напівкоксі в результаті

усадки мережі тріщин. Надто високий тиск розпирання може пошкодити кладку печі, особливо під час коксування вугілля з низькою усадкою, добре спеченого. За даними Гіпрококсу для типових шихт з донецького вугілля максимум тиску у пластичному шарі виникає наприкінці другої години коксування й становить $0,12 \text{ кг/см}^2$ [1].

Шаровий процес коксування є причиною анізотропії коксу по ширині камери, тобто зміні його властивостей [12].

Якісний кокс може бути отриманий з коксівного вугілля, що має сукупність властивостей: пластичні, здатність спучуватись, спікливість, усадка. Вони забезпечують спікання зерен вугілля в моноліт напівкоксу, що при подальшому нагріванні піддається термічному розкладанню й розтріскуванню на шматки в результаті усадки [12].

Якість коксу залежить не тільки від складу вугільної шихти, але й від її вологості, ступеня подрібнення, насипної густини, швидкості нагрівання та інших факторів [12].

Період коксування, що визначає продуктивність коксових печей, залежить від температури в опалювальних простінках, ширини камер коксування, вологості та теплофізичних властивостей вугільної шихти [12].

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕС КОКСУВАННЯ

На процес коксування та якість коксу впливають 2 групи факторів: фактори, які пов'язані з властивостями шихти, що завантажується в коксові печі, та фактори, що визначають температурні умови коксування [2,3,4]. З першої групи факторів найбільший вплив мають спікливість, петрографічний склад, зольність та сірчистість вугільної шихти [5,6].

Вологість вугілля дуже сильно впливає на його зберігання на вугільних складах і на процес коксування. Підвищена вологість вугілля сприяє сорбції ним кисню з повітря та, як наслідок, прискореному протіканню процесів окиснення, що призводить до різкого зниження спікливості вугілля. А іноді це може призвести до samozagoryannya вугілля при його зберіганні. Волога у вугіллі є баластом, тому підвищена вологість вугілля значно здорожчає його транспортування. Підвищена вологість погіршує сипучість вугілля й тим самим ускладнює роботу грохотів при його класифікації за крупністю, викликає злежуваність вугілля в бункерах, а також змерзання в моноліт при транспортуванні за мінусових температур у залізничних вагонах, якщо вологість вугілля перевищує 4 – 6 %. Збільшення вологості шихти призводить до зростання витрати теплоти на коксування, подовженню періода коксування на приблизно 20 хвил на кожний додатковий процент вологості [7].

Оптимальною вважається вугільна шихта, що має марочний склад: Г – 32 %, Ж – 35 %, К – 15 %, ОС – 18 %, товщину пластичного шару 16 мм, виход летких речовин на горючу масу – до 28 %. Така шихта дозволяє отримувати в сучасних коксових печах кокс з високими характеристиками механічної міцності: $M_{25} = 89,0 - 89,5 \%$, $M_{10} = 6,0 - 6,5 \%$ [8].

Коксування петрографічно неоднорідної шихти вимагає більших витрат теплоти. Температуру в контрольних вертикалах потрібно підвищувати на 3 – 5 °С на кожні додаткові 10 % у складі шихти петрографічно неоднорідного

вугілля, а також на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ на кожний додатковий процент інертиніта в шихті, коли його вміст перевищує 10 % [9].

Основними факторами впливу з другої групи є період коксування, температура в контрольних вертикалах батареї, що визначає температурний режим коксування, рівномірність обігріву камер коксування в батареї як по довжині, так і по висоті, кінцева температура коксування [4]. Серед цих факторів одним з найважливіших є кінцева температура коксування, яка у відповідності до Правил технічної експлуатації коксохімічних підприємств (ПТЕ 2017) має становити $1050 \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Менша кінцева температура призводить до недостатньої готовності коксу, що виражається в погіршенні його основних властивостей: механічної міцності, реакційної здатності та ін. Зростання температури у контрольних вертикалах призводить до збільшення швидкості підйому температури у вугільному завантаженні камери коксування. В результаті зростає швидкість утворення рідкорухомих продуктів коксування, підвищується їх текучість і концентрація у завантаженні, що призводить до покращення спікання шихти. Це дозволяє збільшити вміст у шихті, що коксується, слабоспікливих компонентів.

Покращенню якості коксу також сприяє введення в шихту вуглеводневих добавок, які збільшують концентрацію рідкорухомих продуктів при коксуванні. Додавання в шихту 3 % кам'яновугільної смоли або антраценової фракції чи пеку призводить до покращення показника M_{25} на 0,5 – 1,3 %, а M_{10} на 0,7 – 0,9 % [10].

На даний час дослідниками отримана велика кількість залежностей для прогнозування якості коксу в залежності від властивостей шихти та факторів, що визначають умови коксування. Але більшість з них отримана в результаті математичної обробки дослідних даних і дає адекватні результати лише для доволі вузьких умов проведення експерименту. Так для прогнозування показника механічної міцності коксу M_{25} в залежності від товщини пластичного шару шихти (y , мм), середнього показнику відбиття вітриниту шихти (R , %), періоду коксування (τ , год) запропоноване наступне емпіричне рівняння [11]:

$$M_{25} = 77,4 - 0,79y + 10,53R + 1,5\tau + 0,75yR - 1,52R\tau .$$

У відповідності до цього рівняння при збільшенні періода коксування на 1 год в інтервалі 16 – 24 год показник механічної міцності коксу M_{25} зростає в середньому на 0,4 %.

З ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ВИХІД ПРОДУКТІВ КОКСУВАННЯ, ВИТРАТУ ОПАЛЮВАЛЬНОГО ГАЗУ ТА ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОКСОВИХ ПЕЧЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕОМ

3.1 Математична модель процесу коксування

3.1.1 Математичний опис розрахунку матеріального балансу процесу коксування

Формули для визначення виходу продуктів коксування в розрахунку на суху масу шихти, % мас [12]:

вихід коксу:

$$g_k = 100 - 0,857 \cdot V_{\text{ш}}^d;$$

вихід сухого коксового газу:

$$g_{\text{с.г}} = 0,559 \cdot V_{\text{ш}}^d - 0,166 \cdot S_{\text{ш}}^d;$$

вихід бензольних вуглеводнів:

$$g_{\text{б.в}} = 0,0443 \cdot V_{\text{ш}}^d - 0,0132 \cdot S_{\text{ш}}^d;$$

вихід аміаку:

$$g_{\text{ам}} = 0,0125 \cdot V_{\text{ш}}^d - 0,0037 \cdot S_{\text{ш}}^d;$$

вихід сірководню:

$$g_{\text{H}_2\text{S}} = 0,255 \cdot S_{\text{ш}}^d;$$

вихід пірогенетичної води:

$$g_{\text{пір}} = 0,106 \cdot V_{\text{ш}}^d - 0,0315 \cdot S_{\text{ш}}^d.$$

Прибуткова частина

1) Маса сухої вугільної шихти, кг:

$$G_{\text{ш}}^d = G_{\text{ш}}^r = \frac{100 - W_{\text{ш}}^r}{100}.$$

2) Маса сухої вугільної шихти, кг:

$$G_{\text{вол}} = G_{\text{ш}}^r \cdot \frac{W_{\text{ш}}^r}{100}.$$

Витратна частина

1) Маса коксу, кг:

$$\begin{aligned} G'_k &= 0,01 \cdot g_k \cdot G_{\text{ш}}^d = \\ &= 0,01 \cdot (100 - 0,857 \cdot V_{\text{ш}}^d) \cdot G_{\text{ш}}^d, \end{aligned}$$

де g_k - вихід коксу на суху масу шихти, % мас.

2) Маса сухого коксового газу, кг:

$$\begin{aligned} G'_{\text{с.г}} &= 0,01 \cdot g_{\text{с.г}} \cdot G_{\text{ш}}^d = \\ &= 0,01 \cdot (0,559 \cdot V_{\text{ш}}^d - 0,166 \cdot S_{\text{ш}}^d) \cdot G_{\text{ш}}^d, \end{aligned}$$

де $g_{\text{с.г}}$ - вихід сухого коксового газу на суху масу шихти, % мас.

3) Маса смоли, кг:

$$\begin{aligned} G'_{\text{см}} &= 0,01 \cdot g_{\text{см}} \cdot G_{\text{ш}}^d = \\ &= 0,01 \cdot (0,135 \cdot V_{\text{ш}}^d - 0,04 \cdot S_{\text{ш}}^d) \cdot G_{\text{ш}}^d, \end{aligned}$$

де $g_{\text{см}}$ - вихід смоли на суху масу шихти, % мас.

4) Маса бензольних вуглеводнів, кг:

$$\begin{aligned} G'_{\text{б.в}} &= 0,01 \cdot g_{\text{б.в}} \cdot G_{\text{ш}}^d = \\ &= 0,01 \cdot (0,0443 \cdot V_{\text{ш}}^d - 0,0132 \cdot S_{\text{ш}}^d) \cdot G_{\text{ш}}^d, \end{aligned}$$

де $g_{\text{б.в}}$ - вихід бензольних вуглеводнів на суху масу шихти, % мас.

5) Маса аміаку, кг:

$$\begin{aligned} G'_{\text{ам}} &= 0,01 \cdot g_{\text{ам}} \cdot G_{\text{ш}}^d = \\ &= 0,01 \cdot (0,0125 \cdot V_{\text{ш}}^d - 0,0037 \cdot S_{\text{ш}}^d) \cdot G_{\text{ш}}^d, \end{aligned}$$

де $g_{\text{ам}}$ - вихід аміаку на суху масу шихти, % мас.

6) Маса сірководню, кг:

$$\begin{aligned} G'_{\text{H}_2\text{S}} &= 0,01 \cdot g_{\text{H}_2\text{S}} \cdot G_{\text{ш}}^d = \\ &= 0,01 \cdot 0,255 \cdot S_{\text{ш}}^d \cdot G_{\text{ш}}^d, \end{aligned}$$

де $g_{\text{H}_2\text{S}}$ - вихід сурководню на суху масу шихти, % мас.

7) Маса пірогенетичної води, кг:

$$G'_{\text{пір}} = 0,01 \cdot g_{\text{пір}} \cdot G_{\text{ш}}^d = \\ = 0,01 \cdot (0,106 \cdot V_{\text{ш}}^d - 0,0315 \cdot S_{\text{ш}}^d) \cdot G_{\text{ш}}^d,$$

де $g_{\text{пір}}$ – вихід пірогенетичної води на суху масу шихти, % мас.

8) Маса вологи вугільної шихти, кг:

$$G'_{\text{вол}} = G_{\text{вол}}$$

9) Нев'язка балансу, кг:

$$G'_{\text{нев}} = G_{\text{прих}} - G_{\text{витр}} = G_{\text{прих}} - \sum_{j=1}^m G'_j$$

3.1.2 Математичний опис розрахунку теплового балансу та теплотехнічних характеристик коксових печей

Теоретична витрата сухого повітря для спалювання 1 нм^3 сухого коксового газу, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$:

$$v_{\text{с.пов}}^m = \frac{1}{21} \cdot (0,5 \cdot \text{CO} + 0,5 \cdot H_2 + 2 \cdot \text{CH}_4 + 3,225 \cdot C_m H_n - O_2),$$

де $H_2, \text{CH}_4, C_m H_n, \text{CO}, O_2$ – вміст відповідних компонентів у сухому коксовому газі, % об.

Вологовміст повітря у відповідності до закону Дальтона, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.пов}}$:

$$x_{\text{пов}} = \frac{P_n \cdot \varphi}{P - p_n \cdot \varphi},$$

де p_n - парціальний тиск насиченої водяної пари при середньорічній температурі повітря, Па;

φ - середньорічна відносна вологість повітря;

P - атмосферний тиск, Па.

Теоретична витрата вологого повітря для спалювання 1 нм^3 сухого коксового газу, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$:

$$v_{\text{в.пов}}^m = v_{\text{с.пов}}^m \cdot (1 + x_{\text{пов}}),$$

де $x_{\text{пов}}$ – вологовміст повітря, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.пов}}$.

Дійсна витрата сухого повітря для спалювання 1 нм^3 сухого коксового газу, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$:

$$v_{\text{с.пов}}^d = a \cdot v_{\text{с.пов}}^m,$$

де a – коефіцієнт надлишку повітря.

Дійсна витрата вологого повітря для спалювання 1 нм^3 сухого коксового газу, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$:

$$v_{\text{в.пов}}^d = a \cdot v_{\text{с.пов}}^m.$$

Вологовміст коксового газу у відповідності до закону Дальтона, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$:

$$x_{\text{г}} = \frac{p_n}{P + p_{\text{г}} - p_n},$$

де p_n – парціальний тиск насиченої водяної пари при температурі точки роси коксового газу, Па;

$p_{\text{г}}$ – надлишковий тиск коксового газу в газопроводі, Па;

P – атмосферний тиск, Па.

Об'єм компонентів продуктів горіння, що утворюються при спалюванні у вертикалах коксових печей коксового газу, в розрахунках на 1 нм^3 сухого коксового газу $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$:

$$v_{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot (\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + 2,15 \cdot C_m H_n);$$

$$v_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot N_2 + 0,79 \cdot v_{\text{с.пов}}^d;$$

$$v_{\text{O}_2} = 0,21 \cdot v_{\text{с.пов}}^d \cdot (a - 1);$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot (2 \cdot \text{CH}_4 + 2,15 \cdot C_m H_n + \text{H}_2) + x_{\text{г}} + x_{\text{пов}} \cdot v_{\text{с.пов}}^d.$$

Загальний об'єм продуктів горіння, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$:

$$v_{п.г} = v_{CO_2} + v_{N_2} + v_{O_2} + v_{H_2O}.$$

Маса компонентів продуктів горіння, що утворюються при спалюванні у вертикалах коксових печей коксового газу, в розрахунку на 1 нм³ сухого коксового газу, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$:

$$m_{CO_2} = \frac{v_{CO_2}}{22,4} \cdot M_{CO_2};$$

$$m_{N_2} = \frac{v_{N_2}}{22,4} \cdot M_{N_2};$$

$$m_{O_2} = \frac{v_{O_2}}{22,4} \cdot M_{O_2};$$

$$m_{H_2O} = \frac{v_{H_2O}}{22,4} \cdot M_{H_2O};$$

Загальна маса продуктів горіння, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$:

$$m_{п.г} = m_{CO_2} + m_{N_2} + m_{O_2} + m_{H_2O}.$$

Густина продуктів горіння за нормальних умов, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3}$:

$$q_{п.г}^0 = \frac{m_{п.г}}{v_{п.г}}$$

Густина сухого повітря за нормальних умов, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3}$:

$$q_{с.пов}^0 = 0,01 \cdot (O_2 \cdot \frac{M_{O_2}}{22,4} + N_2 \cdot \frac{M_{N_2}}{22,4}),$$

де O_2, N_2 -вміст відповідних компонентів у сухому повітрі, % об.;

M_{O_2}, M_{N_2} - молярні маси відповідних компонентів, $\frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$.

Маса вихідних речовин процесу горіння коксового газу у вертикалах коксових печей (сухого коксового газу, вологи газу, сухого повітря, вологи повітря) в розрахунку на 1 нм³ сухого коксового газу, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$:

$$m_{с.г} = v_{с.г} \cdot q_{с.г}^0;$$

$$x'_г = \frac{x_г}{22,4} \cdot M_{H_2O};$$

$$m_{с.пов} = v_{с.пов}^d \cdot q_{с.пов}^0;$$

$$m_n = v_{с.пов}^d \cdot \frac{x_{пов}}{22,4} \cdot M_{H_2O}.$$

Загальна маса вихідних речовин, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$:

$$m_{\text{вих.р}} = m_{\text{с.г}} + x'_r + m_{\text{с.пов}} + m_n.$$

Густина вологого повітря за нормальних умов, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3}$:

$$q_{\text{в.пов}}^0 = \frac{m_{\text{с.пов}} + m_{\text{п}}}{v_{\text{в.пов}}^d}.$$

Розрахунок теплового балансу коксування 1000 кг вологої шихти

Прибуткова частина

1) Фізична теплота вологої вугільної шихти, кДж :

$$q_{\text{ш}} = G_{\text{ш}}^r \cdot c_{\text{ш}} \cdot t_{\text{ш}};$$

де $G_{\text{ш}}^r = 1000 \text{ кг}$ – кількість вологої шихти;

$c_{\text{ш}}$ – середня питома теплоємність вологої шихти в інтервалі температур $0-t_{\text{ш}} \text{ } ^\circ\text{C}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

$t_{\text{ш}}$ – температура вологої шихти, що завантажується в камеру коксування, $^\circ\text{C}$.

Середня питома теплоємність вологої шихти визначається за принципом адитивності як для суміші сухої шихти та води, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$:

$$c_{\text{ш}} = c_{\text{с.ш}} \cdot \frac{100 - W_{\text{ш}}^r}{100} + c_{\text{в}} \cdot \frac{W_{\text{ш}}^r}{100},$$

де $c_{\text{с.ш}}$ – середня питома теплоємність сухої шихти в інтервалі температур $0-t_{\text{ш}} \text{ } ^\circ\text{C}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

$c_{\text{в}}$ – середня питома теплоємність води в інтервалі температур $0-t_{\text{ш}} \text{ } ^\circ\text{C}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Середня питома теплоємність сухої шихти, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$:

$$c_{\text{с.ш}} = c_{\text{гор}} \cdot \frac{100 - A_{\text{ш}}^d}{100} + c_{\text{м.д}} \cdot \frac{A_{\text{ш}}^d}{100},$$

де $c_{гор}$ = середня питома теплоємність горючої маси вугільної шихти в інтервалі температур $0-t_{ш}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

$c_{м.д}$ - середня питома теплоємність мінеральних домішок вугільної шихти в інтервалі температур $0-t_{ш}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

2) Фізична теплота коксового газу, кДж:

$$q_{г} = v_{с.г} \cdot (c_{с.г} + x_{г} \cdot c_{п}) \cdot t_{г}$$

де $v_{с.г}$ = витрата сухого коксового газу на коксування 1000 кг вологої шихти, нм^3 ;

$c_{с.г}$ – середня питома теплоємність сухого коксового газу в інтервалі температур $0-t_{г}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

$c_{п}$ – середня питома теплоємність водяної пари в інтервалі температур $0-t_{г}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

$x_{г}$ – вологовміст коксового газу, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$;

$t_{г}$ – температура коксового газу на вході до корнюрів, °C.

Середня питома теплоємність сухого коксового газу в інтервалі температур $0-t_{г}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$:

$$\begin{aligned} c_{с.г} &= 0,01 \cdot \sum y_i c_i = \\ &= 0,01 \cdot (H_2 \cdot c_{H_2} + CH_4 \cdot c_{CH_4} + C_m H_n \cdot c_{C_m H_n} + CO \cdot c_{CO} + N_2 \cdot c_{N_2} + CO_2 \cdot c_{CO_2} \\ &\quad + O_2 \cdot c_{O_2}) \end{aligned}$$

де y_i = вміст і-того компонента сухого коксового газу, % об;

c_i – середня питома теплоємність і-того компонента сухого коксового газу в інтервалі температур $0-t_{г}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

$H_2, CH_4, C_m H_n, CO, N_2, CO_2, O_2$ - вміст відповідних компонентів у сухому коксовому газі, % об.

3) Фізична теплота повітря, що поступає з тунелів до газоповітряних клапанів, кДж:

$$q_{\text{пов}} = v_{\text{с.г}} \cdot v_{\text{с.пов}}^d \cdot (c_{\text{с.пов}} + x_{\text{пов}} \cdot c_{\text{п}}) \cdot t_{\text{пов}}$$

де $v_{\text{с.пов}}^d$ - дійсна витрата сухого повітря на спалювання сухого коксового газу, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$;

$c_{\text{с.пов}}$ - середня питома теплоємність сухого повітря в інтервалі температур $0-t_{\text{пов}}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

$x_{\text{пов}}$ - вологовміст повітря, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.пов}}$;

$c_{\text{п}}$ - середня питома теплоємність водяної пари в інтервалі температур $0-t_{\text{пов}}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

$t_{\text{пов}}$ - температура повітря у тунелі, °C.

Середня питома теплоємність сухого повітря в інтервалі температур $0-t_{\text{пов}}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

$$c_{\text{с.пов}} = 0,01 \cdot (N_2 \cdot c_{N_2} + O_2 \cdot c_{O_2})$$

де N_2, O_2 - вміст відповідних компонентів у сухому повітрі, % об.;

c_{N_2} - середня питома теплоємність азоту в інтервалі температур $0-t_{\text{пов}}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

c_{O_2} - середня питома теплоємність кисню в інтервалі температур $0-t_{\text{пов}}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

4) Теплота, що виділяється при горінні коксового газу у вертикалах, кДж:

$$q_{\text{гор}} = v_{\text{с.г}} \cdot q_{\text{н}}$$

де $q_{\text{н}}$ - нижча теплота горіння коксового газу, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot \text{с.г}}$.

Теплота горіння коксового газу, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$:

$$q_{\text{н}} = (30,16 \cdot \text{CO} + 85,58 \cdot \text{CH}_4 + 25,76 \cdot \text{H}_2 + 160 \cdot \text{C}_m\text{H}_n) \cdot 4,19,$$

де $\text{H}_2, \text{CH}_4, \text{C}_m\text{H}_n, \text{CO}$ - вміст відповідних компонентів у сухому коксовому газі, % об.

Витратна частина

1) Фізична теплота коксу, що вивантажується з коксових печей, кДж:

$$q'_k = G'_k \cdot c_k \cdot t_k,$$

де G'_k - вихід валового коксу з 1000 кг вологої шихти, кг;

c_k – середня питома теплоємність коксу в інтервалі температур 0- t_k °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

t_k – середня температура коксу, що вивантажується з коксових печей, °C.

Вихід коксу на суху масу шихти визначається за формулою, %:

$$g_k = 100 - 0,857 \cdot V_{\text{ш}}^d;$$

Зольність коксу, %:

$$A_k^d = A_{\text{ш}}^d \cdot \frac{100}{g_k}$$

2) Фізична теплота сухого коксового газу на виході з камери коксування, кДж:

$$q'_{\text{с.г}} = \frac{G'_{\text{с.г}}}{p_{\text{с.г}}^0} \cdot c'_{\text{с.г}} \cdot t'_g$$

де $G'_{\text{с.г}}$ - вихід сухого коксового газу з 1000 кг вологої шихти, кг;

$p_{\text{с.г}}^0$ – густина сухого коксового газу за нормальних умов, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3}$;

$c'_{\text{с.г}}$ - середня питома теплоємність сухого коксового газу в інтервалі температур 0- t'_g °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

t'_g - середня температура парогазових продуктів на виході з камери коксування, °C.

Середня питома теплоємність сухого коксового газу в інтервалі температур 0- t'_g °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$:

$$c'_{\text{с.г}} = 0,01 \cdot \sum y_i c'_i = 0,01 \cdot (H_2 \cdot c'_{H_2} + CH_4 \cdot c'_{CH_4} + C_m H_n \cdot c'_{C_m H_n} + CO \cdot c'_{CO} + N_2 \cdot c'_{N_2} + CO_2 \cdot c'_{CO_2} + O_2 \cdot c'_{O_2}),$$

де c'_i - середня питома теплоємність і-того компонента сухого коксового газу в інтервалі температур $0-t'_Г$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

y_i – вміст і-того компонента у сухому коксовому газі, % об.;

$H_2, CH_4, C_mH_n, CO, N_2, CO_2, O_2$ – вміст відповідних компонентів у сухому коксовому газі, % об.

3) Фізична теплота парів смоли, кДж:

$$q'_{\text{см}} = G'_{\text{см}} \cdot (r_{\text{см}} + c_{\text{см}} \cdot t'_Г),$$

де $G'_{\text{см}}$ - вихід смоли з 1000 кг вологої шихти, кг;

$r_{\text{см}}$ – питома теплота пароутворення смоли при 0°C, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$;

$c_{\text{см}}$ – середня питома теплоємність парів смоли в інтервалі температур $0-t'_Г$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Середню питому теплоємність парів смоли, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ [1]:

$$c_{\text{см}} = 1,277 + 1,641 \cdot 10^{-3} \cdot t'_Г,$$

4) Фізична теплота парів бензольних вуглеводнів, кДж:

$$q'_{\text{б.в}} = G'_{\text{б.в}} \cdot (r_{\text{б.в}} + c_{\text{б.в}} \cdot t'_Г),$$

де $G'_{\text{б.в}}$ - вихід бензольних вуглеводнів з 1000 кг вологої шихти, кг;

$r_{\text{б.в}}$ – питома теплота пароутворення бензольних вуглеводнів при 0°C, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$;

$c_{\text{б.в}}$ – середня питома теплоємність парів бензольних вуглеводнів в інтервалі температур $0-t'_Г$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Середня питома теплоємність парів бензольних вуглеводнів, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ [1]:

$$c_{\text{б.в}} = \frac{1}{M_{\text{б.в}}} \cdot (86,67 + 0,105 \cdot t'_Г),$$

де $M_{\text{б.в}}$ – середня молекулярна маса бензольних вуглеводнів.

5) Фізична теплота аміаку, кДж:

$$q'_{\text{ам}} = G'_{\text{ам}} \cdot c_{\text{ам}} \cdot t'_Г,$$

де $G'_{\text{ам}}$ – вихід аміаку з 1000 кг вологої шихти, кг;

$c_{ам}$ – середня питома теплоємність аміаку в інтервалі температур $0-t'_Г$
 $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}.$

6) Фізична теплота сірководню, кДж:

$$q'_{H_2S} = \frac{22,4}{M_{H_2S}} \cdot G'_{H_2S} \cdot c_{H_2S} \cdot t'_Г,$$

де G'_{H_2S} – вихід сірководню з 1000 кг вологої шихти, кг;

M_{H_2S} – молярна маса сірководню, $\frac{\text{кг}}{\text{кмоль}};$

c_{H_2S} – середня питома теплоємність сірководню в інтервалі температур $0-t'_Г$
 $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}.$

7) Фізична теплота водяної пари, кДж:

$$q'_п = (G'_{пир} + G'_{вол}) \cdot (r_0 + c'_п \cdot t'_Г)$$

де $G'_{пир}$ - вихід пірогенетичної води з 1000 кг вологої шихти, кг;

$G'_{вол}$ - волога, яку містить 1000 кг вологої шихти, кг;

r_0 – питома теплота пароутворення води при $0^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}};$

$c'_п$ - середня питома теплоємність водяної пари в інтервалі температур $0-t'_Г$
 $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}.$

8) Фізична теплота продуктів горіння коксового газу на виході з регенераторів, кДж:

$$q'_{п.г} = v_{с.г} \cdot v_{п.г} \cdot c_{п.г} \cdot t_{п.г}$$

де $v_{с.г}$ – витрата сухого коксового газу на коксування 1000 кг вологої шихти, $\text{нм}^3;$

$v_{п.г}$ – об'єм продуктів горіння, що утворюються при згорянні 1 м^3

Сухого коксового газу, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \cdot \text{с.г}}$ (табл.3.1);

$c_{п.г}$ – середня питома теплоємність продуктів горіння в інтервалі температур $0-t_{п.г}$ $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}};$

$t_{п.г}$ – температура продуктів горіння на виході з регенераторів, $^{\circ}\text{C}.$

Середня питома теплоємність продуктів горіння в інтервалі температур $0-t_{п.г}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

$$c_{п.г} = 0,01 \cdot \sum y_i c_i = \\ = 0,01 \cdot (CO_2 \cdot c_{CO_2} + N_2 \cdot c_{N_2} + O_2 \cdot c_{O_2} + H_2O \cdot c_{H_2O}),$$

де c_i – середня питома теплоємність i -того компонента продуктів горіння в інтервалі температур $0-t_{п.г}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$;

y_i – вміст i -того компонента у продуктах горіння, % об.;

CO_2, N_2, O_2, H_2O – вміст відповідних компонентів у продуктах горіння, % об.

8) Втрати теплоти у навколишнє середовище, кДж:

$$q'_{втр} = 0,1 \cdot v_{с.г} \cdot q_n,$$

Рівняння теплового балансу:

$$q_{ш} + q_{г} + q_{пов} + q_{гор} = q'_k + q'_{с.г} + q'_{см} + q'_{б.в} + q'_{ам} + q'_{H_2S} + q'_п + q'_{п.г} + q'_{втр}$$

Питома витрата теплоти на коксування в розрахунку на 1 кг вологої вугільної шихти, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$:

$$q_{гор}^r = \frac{q_{гор}}{1000},$$

Питома витрата теплоти на коксування в розрахунку на 1 кг сухої вугільної шихти, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$:

$$q_{гор}^d = \frac{q_{гор}^r \cdot 100}{100 - W_{ш}^r},$$

Методика розрахунку термічного й теплотехнічного коефіцієнтів корисної дії коксових печей.

Теплотехнічний ККД, %:

$$\eta_{тепл} = \frac{q_{підв} - q'_{п.г} - q'_{втр}}{q_{підв}} \cdot 100,$$

де $q_{підв}$ – загальна кількість теплоти, підведена до коксової печі, кДж;

$q'_{п.г}$ – кількість теплоти, що виноситься продуктами горіння з опалювальної системи в атмосферу, кДж;

$q'_{\text{втр}}$ - втрати теплоти випромінюванням та конвекцією із зовнішніх поверхонь коксових печей у навколишнє середовище, кДж.

Термічний ККД.

$$\eta_{\text{терм}} = \frac{q_{\text{підв}} - q'_{\text{п.г}}}{q_{\text{підв}}} \cdot 100.$$

3.2 Комп'ютерна програма на мові програмування PascalABC

```

Program Bogdanov;
type vect=array[1..100] of real;
Var
vmspov, xpov, pn, p, vmvpov, vdspov, vdvov, xg, pg, vco2, vN2, vO2, vH2O, mco2, mn2, mo
2,
mh2o, Gusspov, O21, N21, Msg, Xgsh, Mspov, Mn, qsh, Grsh, Csh, tsh, Cssh, Cv, Cgor, Cmd,
qg, Vsg, Csg, tg, H2, CH4, CO, N2, CO2, Ch2, CCH4, CCO, CN2, CC02, CO22,
qpov, Cspov, tpov, qgor, qn, qksh, Gksh, ck, tk, Vdsh, Adsh, qsgsh, Gsgsh, Gussg, Csgsh
, tgsh,
Ch2sh, CCH4sh, CCmHnsh, CC0sh, CCN2sh, CC02sh, CCo22sh, qsmsh, rsm, csm, qbvsh,
Gbvsh, rbv, cbv, Mbv, qamsh, Gamsh, cam, qh2ssh, Gh2ssh, ch2s, qnsh, r0,
cnsh, qngsh, cng, tng, qrgor, qdgor, ntepl, nterm, a, Wrsh,
MPruh, VPruh, aa, vsg1,
cmhn, O2, qvtrsh, MmCH4, MmCmHn, MmCO, MmN2, MmCO2, MmH2, MmO2, MmH2O, pnn,
Vpovn, mpovn, VgazuH2O, vH2Opr, vO2pr, vN2pr, vco2pr, Prpovn, CCmHn, Gsmsh,
MmH2S, CserCO2, CserN2, CserO22, CserH2O, qpruh, qshpr, Vsipr, qgpr, qpovpr, qgorpr
,
qvutr, Qkshpr, qsgshpr, qsmshpr, qbvshpr, qamshpr, qh2sshpr, qnshpr, qngshpr,
qvtrshpr, Vsiprvut, Sumvut, Sumprub, Sdsh, Gdsh, Gk2, Gsg2, Gsm2, Gbv2, Gam2,
Gh2s2, Gpir2, Gvol, Gvol2, Gnev, Gprh, Gvut, Gk2pr, Gsg2pr, Gsm2pr,
Gbv2pr, Gam2pr, Gh2s2pr, Gpir2pr, Gvolpr, Gnevpr, Gdshpr, Gvol2pr, Gvutsum, Gvutsu
mpr,
Gprhpr, cng1, cnpov,
Wrshp, Wrshk, delta_wrsh, Sdshp, Sdshk, delta_sdsh, Vdshp, Vdshk, delta_vdsh:real
;
i, j:integer;
a1, b1, c1, d1, e1, g1, h1, x1, y1, z1: vect;
f1, f2:text;
begin
assign(f1, 'bogdanov.dat');
assign(f2, 'bogdanov.res');

```

```

reset(f1);
rewrite(f2);
read (f1,tg,p,tpov,a,tsh,tk,tgsh,mbv,tng,vsg1,
      MmH2,MmCH4,MmCmHn,MmCO,MmN2,MmCO2,MmO2,
      H2,CH4,CmHn,CO,N2,CO2,O2,
      N21,O21,MmH2O,aa,pn,pnn,pg,
      Wrsh,Cv,Adsh,Cmd,cgor,Grsh,
      Ch2,CCH4,CCmHn,CCO,CN2,CCO2,CO22,
      cmhn,cng1,cnpov,Gksh,ck,

Vdsh,Gsgsh,Ch2sh,CCH4sh,CCmHnsh,CCOsh,CCN2sh,CCO2sh,CCo22sh,
      Gsmsh,rsm,Gbvsh,rbv,Gamsh,cam,MmH2S,Gh2ssh,ch2s,r0,cnsh,
      CserCO2,CserN2,CserO22,CserH2O,Sdsh,
      Wrshp,Wrshk,delta_wrsh,
      Sdshp,Sdshk,delta_sdsh,
      Vdshp,Vdshk,delta_vdsh);

Wrsh:=Wrshp;
{Sdsh:=Sdshp;}
{Vdsh:=Vdshp;}

i:=0;
repeat
i:=i+1;

writeln(f2,'Wrsh=',wrsh,' %');
{writeln(f2,'Sdsh=',sdsh,' %');}
{writeln(f2,'Vdsh=',vdsh,' %');}

{РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ}

{Прибуткова частина}

Gdsh:=Grsh*((100-Wrsh)/100);
Gdshpr:=Gdsh/1000*100;
Gvol:=Grsh*(Wrsh/100);
Gvolpr:=Gvol/1000*100;

{Витратна частина}

Gk2:=0.01*(100-0.857*Vdsh)*Gdsh;
Gk2pr:=Gk2/1000*100;

Gsg2:=0.01*(0.559*Vdsh-0.166*Sdsh)*Gdsh;
Gsg2pr:=Gsg2/1000*100;

Gsm2:=0.01*(0.135*Vdsh-0.04*Sdsh)*Gdsh;
Gsm2pr:=Gsm2/1000*100;

Gbv2:=0.01*(0.0443*Vdsh-0.0132*Sdsh)*Gdsh;

```

```

Gbv2pr:=Gbv2/1000*100;

Gam2:=0.01*(0.0125*Vdsh-0.0037*Sdsh)*Gdsh;
Gam2pr:=Gam2/1000*100;

Gh2s2:=0.01*0.255*Sdsh*Gdsh;
Gh2s2pr:= Gh2s2/1000*100;

Gpir2:=0.01*(0.106*Vdsh-0.0315*Sdsh)*Gdsh;
Gpir2pr:=Gpir2/1000*100;

Gvol2:=Gvol;
Gvol2pr:=Gvol2/1000*100;

{Всього}
Gprh:=Gdsh+Gvol;
Gprhpr:=Gdshpr+Gvolpr;

Gvut:=Gk2+Gsg2+Gsm2+Gbv2+Gam2+Gh2s2+Gpir2+Gvol;

Gnev:=Gprh-Gvut;
Gnevpr:=Gnev/1000*100;

Gvutsum:=Gvut+Gnev;

Gvutsumpr:=Gk2pr+Gsg2pr+Gsm2pr+Gbv2pr+Gam2pr+Gh2s2pr+Gpir2pr+Gvol2pr+Gnev
pr;

      writeln(f2,'          Матеріальний баланс коксування 1000 кг вологої
шихти');
      writeln(f2);
      writeln(f2,'          Прибуткова частина
',
          'Витратна частина          ');
      writeln(f2,'Компоненти шихти  Маса,кг          %',
          '          Продукти коксування  Маса,кг          %');
      writeln(f2,'Вугілля сухе          ',Gdsh,'          ',
          Gdshpr,'          ','Кокс валовий          ','          ',
          Gk2:6:2,'          ',Gk2pr:5:2);
      writeln(f2,'Волога шихта          ',Gvol,'          ',Gvolpr,
          '          ','Сухий газ          ','          ',Gsg2:6:2,'
',Gsg2pr:5:2);
      writeln(f2,'
          'Смола безводна          ','          ',Gsm2:5:2,'
',Gsm2pr:4:2);
      writeln(f2,'          ','Бензоліні
вуглеводні',
          '          ',Gbv2:5:2,'          ',Gbv2pr:4:2);
      writeln(f2,'          ','Аміак
',
          '          ',Gam2:4:2,'          ',Gam2pr:4:2);

```

```

        writeln(f2, '                                ', 'Сірководень
',
        '                                ', 'Gh2s2:4:2, '    ', 'Gh2s2pr:4:2);
        writeln(f2, '                                ', 'Вода
пірогенетична ',
        '                                ', 'Gpir2:5:2, '    ', 'Gpir2pr:4:2);
        writeln(f2, '                                ', 'Волога шихти
',
        '                                ', 'Gvol2:5:2, '    ', 'Gvol2pr:4:2);
        writeln(f2, '                                ', 'Нев'язка
балансу ',
        '                                ', 'Gnev:4:2, '    ', 'Gnevpr:4:2);
        writeln(f2, 'Всього', '                                ', 'Gprh, '    ', 'Gprhpr, '
',
        'Всього', '                                ', 'Gvutsum:7:2, '
', 'Gvutsumpr:6:2);
        writeln(f2);

```

{Матеріальний баланс процесу горіння коксового газу}

{Витрата сухого повітря}

$vms_{rov} = 1/21 * (0.5 * CO + 0.5 * H_2 + 2 * CH_4 + 3.225 * C_m H_n - O_2);$

{Вологовміст повітря}

$x_{rov} = (p_n * a_a) / (p - p_n * a_a);$

{Теоретична витрата вологого повітря}

$vmv_{rov} = vms_{rov} * (1 + x_{rov});$

{Дійсна витрата сухого повітря}

$vdsp_{rov} = a * vms_{rov};$

{Дійсна витрата вологого повітря}

$vdv_{rov} = a * vmv_{rov};$

{Об'єм водяної пари}

$V_{gazuH2O} = vdv_{rov} - vdsp_{rov};$

{Вологовміст коксового газу}

$x_g = p_{nn} / (P + P_g - P_{nn});$

{Об'єм компонентів продуктів горіння}

$v_{CO2} = 0.01 * (CO_2 + CO + CH_4 + 2.15 * C_m H_n);$

$v_{N2} = 0.01 * N_2 + 0.79 * vdsp_{rov};$

$v_{N2pr} = v_{N2} * 100 / v_{rovn};$

$v_{O2} = 0.21 * vms_{rov} * (a - 1);$

$v_{H2O} = 0.01 * (2 * CH_4 + 2.15 * C_m H_n + H_2) + x_g + x_{rov} * vdsp_{rov};$

$V_{rovn} = v_{CO2} + v_{N2} + v_{O2} + v_{H2O};$

$v_{CO2pr} = (v_{CO2} * 100) / V_{rovn};$

$v_{N2pr} = v_{N2} * 100 / v_{rovn};$

```

vO2pr:=vO2*100/vpovn;
vH2Opr:=vH2O*100/vpovn;
Prpovn:=vco2pr+vN2pr+vO2pr+vH2Opr;

```

```

{Маса компонентів продуктів горіння}
mco2:=vCO2/22.4*MmCO2;
mn2:=vn2/22.4*MmN2;
mo2:=vo2/22.4*Mmo2;
mh2o:=vh2o/22.4*Mmh2o;
mpovn:=mco2+mn2+mo2+mh2o;

```

```

{Густина сухого коксового газу за нормальних умов}

```

```

Gussg:=0.01*(H2*MmH2+CH4*MmCH4+CmHn*MmCmHn+CO*MmCO+N2*MmN2+CO2*MmCO2+O2*M
mO2)/
22.4;

```

```

{Густина сухого повітря}
Gusspov:=0.01*(O21*MmO2/22.4+N21*MmN2/22.4);

```

```

{Маси вихідних речовин}
msg:=vsg1*gussg;
{xgsh2:=(xg/22.4)};
xgsh:=xg/22.4*Mmh2o;
mspov:=vdspov*Gusspov;
mn:=vdspov*xpov/22.4*Mmh2o;

```

```

MPruh:=msg+xgsh+mspov+mn;
VPruh:=vsg1+xg+vdspov+VgazuH2O;

```

```

writeln(f2,' Матеріальний баланс процесу горіння коксового газу в
опалювальних',
      ' каналах коксових печей');
writeln(f2);
writeln(f2,'Статті приходу      Маса кг      Об''''','єм, нм3','
',
      'Статті витрати','      ','Маса, кг','      ','Об''''','єм, нм3','
','% об. ');
writeln(f2,'Газ сухий      ','      ','msg:5:4','      ','vsg1','
',
      'Вуглекислий газ','      ','mco2:6:4','      ','vco2:6:4','
','vco2pr:5:2);
writeln(f2,'Водяна пара газу','      ','xgsh:6:4','
','xg:6:4','      ','
','Азот','      ','mn2:6:4','      ','vN2:6:4','
','vN2pr:5:2);
writeln(f2,'Повітря сухе','      ','mspov:6:4','
','vdspov:6:4','
','      ','Кисень','      ','mo2:6:4','      ','vo2:6:4','
',
      'vO2pr:5:2);

```

```

        writeln(f2,'Водяна пара повітря',' ',mn:6:4,'
',VgazuH2O:6:4,
        ' ',,'Водяна пара',' ',,mh2o:6:4,' ',,vh2o:6:4,'
',
        vH2Opr:5:2);
        writeln(f2,'Всього',' ',MPruh:6:4,'
',VPruh:6:4,
        ' ',,
        'Всього',' ',,mprovn:6:4,' ',,Vprovn:6:4,'
',Prprovn:6:2);
        writeln(f2);

```

{РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ}

{ПРИБУТКОВА ЧАСТИНА}

{Середня теплоємність сухої шихти}
 $C_{ssh} = C_{gor} * (100 - Adsh) / 100 + C_{md} * (Adsh / 100);$

{Середня питома теплоємність вологої шихти}
 $C_{sh} = C_{ssh} * (100 - Wrsh) / 100 + C_v * Wrsh / 100;$

{1. Фізична теплота вологої вугільної шихти}
 $q_{sh} = Grsh * C_{sh} * t_{sh};$

{Середня питома теплоємність сухого коксового газу}

$C_{sg} = 0.01 * (H_2 * Ch_2 + CH_4 * C_{CH_4} + C_{mHn} * C_{CmHn} + CO * C_{CO} + N_2 * C_{N_2} + CO_2 * C_{CO_2} + O_2 * C_{O_2});$

{2. Фізична теплота коксового газу}
 $q_g = (C_{sg} + x_g * c_{ng1}) * t_g;$

{Середня питома теплоємність сухого повітря}
 $C_{spov} = 0.01 * (N_2 * C_{N_2} + O_2 * C_{O_2});$

{3. Фізична теплота повітря}
 $q_{prov} = v_{dspov} * (C_{spov} + x_{prov} * C_{nprov}) * t_{prov};$

{Нижча теплота горіння коксового газу}
 $q_n = (30.16 * CO + 85.58 * CH_4 + 25.76 * H_2 + 160 * C_{mHn}) * 4.19;$

{4. Теплота, що виділяється при горінні коксового газу у вертикалах}
 $q_{gor} = q_n;$

{ВИТРАТНА ЧАСТИНА}

{1. Фізична теплота коксу}
 $q_{ksh} = G_{ksh} * c_k * t_k;$

{Середня питома теплоємність сухого коксового газу}

$$csgsh = 0.01 * (H_2 * Ch_{2sh} + CH_4 * CCH_{4sh} + C_{mhn} * CC_{mHnsh} + CO * CC_{Osh} + N_2 * CC_{N2sh} + CO_2 * CC_{O2sh} + 0.02 * CC_{O22sh});$$

{2. Фізична теплота сухого коксового газу}

$$qsgsh = (Gsgsh / Gussg) * Csgsh * tgsh;$$

$$csm = 1.277 + 0.001641 * tgsh;$$

{3. Фізична теплота парів смоли}

$$qsmsh = Gsmsh * (rsm + csm * tgsh);$$

$$cbv = 1 / Mbv * (86.67 + 0.105 * tgsh);$$

{4. Фізична теплота парів бензольних вуглеводнів}

$$qbvsh = Gbvsh * (rbv + cbv * tgsh);$$

{5. фізична теплота аміаку}

$$qamsh = Gamsh * cam * tgsh;$$

{6. Фізична теплота сірководню}

$$qh2ssh = 22.4 / MmH_2S * Gh2ssh * ch2s * tgsh;$$

{7. Фізична теплота водяної пари}

$$qnsh = (Gpir2 + Gvol2) * (r0 + cnsh * tgsh);$$

{Середня питома теплоємність продуктів горіння}

$$cng = 0.01 * (vco2pr * CserCO_2 + vN_2pr * CserN_2 + vO_2pr * CserO_{22} + vH_2Opr * CserH_2O);$$

{8. Фізична теплота продуктів горіння коксового газу}

$$qngsh = Vpovn * cng * tng;$$

{9. Витрати теплоти у навколишнє середовище}

$$qvtrsh = 0.1 * qn;$$

{Розрахунок Vsg}

$$Sumvut = Qksh + qsgsh + qsmsh + qbvsh + qamsh + qh2ssh + qnsh;$$

$$Sumprub = qg + qpov + qgor;$$

$$Vsg = (Sumvut - qsh) / (Sumprub - (qngsh + qvtrsh));$$

$$qg = Vsg * qg;$$

$$qpov = vsg * qpov;$$

$$qgor = vsg * qgor;$$

$$qngsh = vsg * qngsh;$$

$$qvtrsh = vsg * qvtrsh;$$

$$qpruh = qsh + qg + qpov + qgor;$$

```

qshpr:=qsh*100/qpruh;
qgpr:=qg*100/qpruh;
qpovpr:=qpov*100/qpruh;
qgorpr:=qgor*100/qpruh;
Vsiplr:=qshpr+qpovpr+qgorpr+qgpr;

qvutr:=Qksh+qsgsh+qsmsh+qbvsh+qamsh+qh2ssh+qnsh+qngsh+qvtrsh;
Qkshpr:=Qksh*100/qvutr;
qsgshpr:=qsgsh*100/qvutr;
qsmshpr:=qsmsh*100/qvutr;
qbvshpr:=qbvsh*100/qvutr;
qamshpr:=qamsh*100/qvutr;
qh2sshpr:=qh2ssh*100/qvutr;
qnshpr:=qnsh*100/qvutr;
qngshpr:=qngsh*100/qvutr;
qvtrshpr:=qvtrsh*100/qvutr;

```

```

Vsiprvut:=Qkshpr+qsgshpr+qsmshpr+qbvshpr+qamshpr+qh2sshpr+qnshpr+qngshpr+
qvtrshpr;

```

```

writeln(f2, '
',
'Tепловий баланс коксування 1000 кг вологої шихти');
writeln(f2);
writeln(f2, 'Прибуткова частина
',
'Витратна частина');
writeln(f2, 'Назва статті
q, кДж
%
',
'Назва статті
q, кДж
%');
writeln(f2, 'Теплота вологої шихти
', qsh:7:0, '
', qshpr:6:2,
'Теплота коксу
', qksh:7:0, '
', Qkshpr:6:2);
writeln(f2, 'Теплота коксового газу
', qg:7:0, '
', qgpr:6:2,
'Теплота сухого коксового газу', '
', qsgsh:7:0, '
', qsgshpr:6:2);
writeln(f2, 'Теплота повітря
', qpov:7:0, '
', qpovpr:6:2,
'Теплота парів смоли', '
', qsmsh:7:0, '
', qsmshpr:6:2);
writeln(f2, 'Теплота горіння коксового газу', '
', qgor:7:0, '
',
qgorpr:6:2, 'Теплота парів бензольних
вуглеводнів', '
',
qbvsh:7:0, '
', qbvshpr:6:2);

```

```

        writeln(f2,'
',
                'Теплота аміаку','
',qamsh:7:0,' ',
                qamshpr:6:2);
        writeln(f2,'
',
                'Теплота сірководню','
',qh2ssh:7:0,' ',
                qh2sshpr:6:2);
        writeln(f2,'
',
                'Теплота водяної пари','
',qnsh:7:0,' ',
                qnshpr:6:2);
        writeln(f2,'
',
                'Теплота продуктів горіння','
',qngsh:7:0,' ',
                qngshpr:6:2);
        writeln(f2,'
',
                'Втрати теплоти у навколишєє середовище','
',qvtrsh:7:0,' ',
                qvtrshpr:6:2);

        writeln(f2,'Всього',' ',qpruh:7:0,'
',
                Vsipr:6:2,'      Всього
',
                qvutr:7:0,'      ',Vsiprvut:6:2);
        writeln(f2);
        writeln(f2,'Витрата сухого коксового газу на коксування 1000 кг',
                ' вугільної шихти:');
        writeln(f2,'Vsg=',Vsg:7:3,' нм3');

        {Теплотехнічний ККД}
        ntep1:=(qpruh-qngsh-qvtrsh)/qpruh*100;

        {Термічний ККД}
        nterm:=(qpruh-qngsh)/qpruh*100;
        writeln(f2);
        writeln(f2,'Теплотехнічний ККД=',ntep1:5:2,' %');
        writeln(f2,'Термічний ККД=',nterm:5:2,' %');

        writeln(f2);
        qrgor:=qgor/1000;
        writeln(f2,'Питома витрата теплоти на коксування 1 кг вологої
шихти');
        writeln(f2,'qrgor=',qrgor:4:0,' кДж/кг ');

```

```

qdgor:=(qrgor*100)/(100-Wrsh);
writeln(f2);
writeln(f2,'Питома витрата теплоти на коксування 1 кг сухої
шихти');
writeln(f2,'qdgor=',qdgor:4:0,' кДж/кг ');
writeln(f2);

a1[i]:=wrsh;
{a1[i]:=sdsh;}
{a1[i]:=vdsh;}

b1[i]:=qrgor;
c1[i]:=Vsg;
d1[i]:=Gk2;
e1[i]:=Gsg2;
g1[i]:=Gsm2;
h1[i]:=Gbv2;
x1[i]:=Gam2;
y1[i]:=Gh2s2;
z1[i]:=Gpir2;

Wrsh:=Wrsh+delta_wrsh;
until Wrsh>=Wrshk+0.0000001;

{Sdsh:=Sdsh+delta_Sdsh;
until Sdsh>=Sdshk+0.0000001;};

{Vdsh:=Vdsh+delta_Vdsh;
until Vdsh>=Vdshk+0.0000001;};

writeln(f2,'          Таблиця залежності показників коксування від
Wr шихти');
writeln(f2);
writeln(f2,'Wrsh, % qrgor, кДж/кг Vsg, нм3 Gk2, кг Gsg2, кг
Gsm2, кг',
          ' Gbv2, кг Gam2, кг Gh2s2, кг Gpir2, кг');

{writeln(f2,'          ',
          ' Таблиця залежності показників коксування від Sd шихти');
writeln(f2);
writeln(f2,'Sdsh, % qrgor, кДж/кг Vsg, нм3 Gk2, кг Gsg2, кг
Gsm2, кг',
          ' Gbv2, кг Gam2, кг Gh2s2, кг Gpir2, кг');};

{writeln(f2,'          ',
          ' Таблиця залежності показників коксування від Vd шихти');
writeln(f2);
writeln(f2,'Vdsh, % qrgor, кДж/кг Vsg, нм3 Gk2, кг Gsg2, кг
Gsm2, кг',
          ' Gbv2, кг Gam2, кг Gh2s2, кг Gpir2, кг');};

```

```

for j:=1 to i do
writeln(f2,a1[j]:5:1,b1[j]:14:2,c1[j]:13:3,d1[j]:9:2,e1[j]:9:2,g1[j]:10:3
,
      h1[j]:10:3,x1[j]:10:4,y1[j]:11:3,z1[j]:11:3);

close(f1);
close(f2);
end.

```

3.3 Ідентифікація програмних змінних

Таблиця 3.1 – Ідентифікація змінних розрахункової програми

№ з.п .	Ім'я змінної в математичному описі	Фізичний сенс, одиниці виміру	Ім'я в програмі	Тип змінної	Початкове значення
1.	$v_{\text{с.пов}}^m$	Теоретична витрата сухого повітря для спалювання 1 нм ³ сухого коксового газу $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$	vmspov	real	-
2.	$x_{\text{пов}}$	Вологовміст повітря у відповідності до закону Дальтона $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.пов}}$	xpov	real	-
3.	p_n	Парціальний тиск насиченої водяної пари при 30 °С, Па	pnp	real	4242
4.	p_n	Парціальний тиск насиченої водяної пари при середньорічній температурі повітря 16 °С, Па	pn	real	1817

5.	P	Атмосферний тиск, Па	p	real	99975
6.	$v_{\text{в.пов}}^m$	Теоретична витрата вологого повітря для спалювання 1 нм ³ сухого коксового газу $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$	$vmv_{\text{пов}}$	real	-
7.	$v_{\text{с.пов}}^d$	Дійсна витрата сухого повітря для спалювання 1 нм ³ сухого коксового газу $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$	$vdsp_{\text{ов}}$	real	-
8.	$v_{\text{в.пов}}^d$	Дійсна витрата вологого повітря для спалювання 1 нм ³ сухого коксового газу $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$	$vdvp_{\text{ов}}$	real	-
9.	$x_{\text{г}}$	Вологовміст коксового газу у відповідності до закону Дальтона, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$	$x_{\text{г}}$	real	-
10.	$P_{\text{г}}$	Надлишковий тиск коксового газу в газопроводі, Па	$p_{\text{г}}$	real	1300

11.	$V_{CO_2}, V_{N_2}, V_{O_2}, V_{H_2O}$	Об'єм компонентів продуктів горіння, що утворюються при спалюванні у вертикалах коксових печей коксового газу, в розрахунку на 1 нм^3 сухого коксового газу, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$	$v_{CO_2}, v_{N_2}, v_{O_2}, v_{H_2O}$	real	-
12	$m_{CO_2}, m_{N_2}, m_{O_2}, m_{H_2O}$	Маса компонентів продуктів горіння, що утворюються при спалюванні у вертикалах коксових печей коксового газу, в розрахунок на 1 нм^3 сухого коксового газу, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$	$m_{CO_2}, m_{N_2}, m_{O_2}, m_{H_2O}$	real	-
13.	$\rho_{\text{с.пов}}^0$	Густина сухого повітря за нормальних умов, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3}$	Gusspov	real	-
14.	$m_{\text{п.г}}$	Загальна маса продуктів горіння, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3 \text{ с.г}}$	mng	real	-

15.	$\rho_{п.г}^0$	Густина продуктів горіння за нормальних умов $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3}$	Gusng	real	-
16.	$M_{O_2},$ $M_{N_2},$ $M_{CO_2},$ M_{H_2O} M_{H_2S}	Молярні маси відповідних компонентів, $\frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$	$M_{mo2},$ $M_{mn2},$ M_{mco2} , $M_{mh2o},$ M_{mh2s}	real	32 28 44 18 34
17.	$O_2,$ N_2	Вміст відповідних компонентів у сухому повітрі, %	$O_{21},$ N_{21}	real	21 79
18.	$m_{с.г},$ $x'_г$ $m_{с.пов}$ $m_{п}$	Маса вихідних речовин процесу горіння коксового газу у вертикалах кокових печей (сухого коксового газу, вологи газу, сухого повітря, вологи повітря) в розрахунку на 1нм^3 сухого кокового газу $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3\text{с.г}}$	M_{sg} X_{gsh} M_{spov} M_n	real	-
19.	$m_{вих.р}$	Загальна маса вихідних речовин, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3\text{с.г}}$	m_{vuhr}	real	-

20.	$\rho_{\text{в.пов}}^0$	Густина вологого повітря за нормальних умов, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3}$	Gusvrov	real	-
21.	$q_{\text{ш}}$	Фізична теплота вугільної шихти, кДж	qsh	real	-
22.	$G_{\text{ш}}^r$	Кількість вологої шихти, кг	Grsh	real	1000
23.	$c_{\text{ш}}$	Середня питома теплоємність вологої шихти в інтервалі температур $0-t_{\text{ш}}$ $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^{\circ}\text{C}}$	Csh	real	-
24.	$t_{\text{ш}}$	Температура вологої шихти, що завантажується в камеру коксування, $^{\circ}\text{C}$	tsh	real	20
25.	$c_{\text{с.ш}}$	Середня питома теплоємність сухої шихти в інтервалі температур $0-t_{\text{ш}}$ $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^{\circ}\text{C}}$	Cssh	real	-
26.	$c_{\text{в}}$	Середня питома теплоємність води в інтервалі температур $0-t_{\text{ш}}$ $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^{\circ}\text{C}}$	Cv	real	4.182
27.	$c_{\text{гор}}$	Середня питома теплоємність горючої маси вугільної шихти в інтервалі	Cgor	real	1.08

		температур $0-t_{ш}$ $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^{\circ}\text{C}}$			
28.	$c_{м.д}$	Середня питома теплоємність мінеральних домішок вугільної шихти в інтервалі температур $0-t_{ш}$ $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^{\circ}\text{C}}$	Cmd	real	0.711
29.	$q_{г}$	Фізична теплота коксового газу, кДж	qg	real	-
30.	$v_{с.г}$	Витрата сухого коксового газу на коксування 1000 кг вологої шихти, нм^3	Vsg	real	1
31.	$c_{с.г}$	Середня питома теплоємність сухого коксового газу в інтервалі температур $0-t_{г}$ $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Csg	real	-
32.	$t_{г}$	Температура коксового газу на вході до корнюрів, $^{\circ}\text{C}$	tg	real	50
33.	H_2 , CH_4 , C_mH_n , CO , N_2 , CO_2 , O_2	Вміст відповідних компонентів у сухому коксовому газі, % об.	H_2 , CH_4 , C_mH_n , CO , N_2 , CO_2 , O_2	real	60 25.5 2.5 5.7 3.3 2.4 0.6
34.	C_{H_2} , C_{CH_4} , $\text{C}_{\text{C}_m\text{H}_n}$, C_{CO} , C_{N_2} , C_{CO_2} , C_{O_2}	Середня питома теплоємність компонентів в інтервалі температур, $0-t_{пов}$ $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}$	C_{H_2} , C_{CH_4} , $\text{C}_{\text{C}_m\text{H}_n}$, C_{CO} , C_{N_2} , C_{CO_2} , C_{O_2}	real	1.281 1.595 1.943 1.297 1.297 1.649 1.308
35.	$q_{пов}$	Фізична теплота повітря, що	qrov	real	-

		вступає з тунелів до газоповітряних клапанів, кДж			
36.	$c_{c.пов}$	Середня питома теплоємність сухого повітря в інтервала температур $0-t_{пов}$ $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}$	C_{spov}	real	-
37.	$t_{пов}$	Температура повітря у тунелі, $^{\circ}\text{C}$	$tpov$	real	25
38.	$q_{гор}$	Теплота, що виділяється при горінні коксового газу у вертикалах, кДж	$qgor$	real	-
39.	q_n	Нижча теплота горіння коксового газу, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot \text{с.г}}$	qn	real	-
40.	q'_k	Фізична теплота коксу	$qksh$	real	-
41.	G'_k	Вихід валового коксу з 1000 кг вологої шихти, кг	$Gksh$	real	699.24
42.	c_n	Середня питома теплоємність водяної пари в інтервалі температур $0-50^{\circ}\text{C}$ $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Cn	real	1.497
43.	c_k	Середня питома теплоємність коксу в інтервалі температур $0-t_{ш}$ $^{\circ}\text{C}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	ck	real	1.509
44.	t_k	Середня температура коксу, що вивантажується з коксових печей, $^{\circ}\text{C}$	tk	real	1050

45.	g_k	Вихід коксу на суху масу шихти, %	g_k	real	-
46.	$V_{\text{ш}}^d$	Вихід летких речовин, %	V_{dsh}	real	28
47.	$A_{\text{ш}}^d$	Зольність, %	A_{dsh}	real	7,5
48.	$q'_{\text{с.г}}$	Фізична теплота сухого газу на виході з камери коксування, кДж	q_{sgsh}	real	
49.	$G'_{\text{с.г}}$	Вихід сухого коксового газу з 1000 кг вологої шихти, кг	G_{sgsh}	real	140.64
50.	$\rho_{\text{с.г}}^0$	Густина сухого коксового газу за нормальних умов, $\frac{\text{кг}}{\text{нм}^3}$	G_{ussg}	real	0.4375
51.	$c'_{\text{с.г}}$	Середня питома теплоємність сухого коксового газу в інтервалі температур, $0-t'_r$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$	C_{sgsh}	real	-
52.	t'_r	Середня температура парогазових продуктів на виході з камери коксування, °C	t_{gsh}	real	750
53.	$c'_{\text{H}_2},$ $c'_{\text{CH}_4},$ c'_{CmHn} c'_{CO} c'_{N_2} c'_{CO_2} c'_{O_2}	Середня питома теплоємність і-того компонента сухого коксового газу в інтервалі температур $0-t'_r$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$	$Ch_{2\text{sh}},$ $CCH_{4\text{sh}},$ $CCmH_{\text{ns}}$ $h,$ $CCO_{\text{sh}},$ $CCN_{2\text{sh}},$ $CCO_{2\text{sh}},$ $CCo_{22\text{sh}}$	real	1.312 2.433 3.238 1.377 1.363 2.108 1.440
54.	$q'_{\text{см}}$	Фізична теплота парів смоли, кДж	q_{smsh}	real	
55.	$G'_{\text{см}}$	Вихід смоли з 1000 кг вологої	G_{smsh}	real	33.97

		шихти, кг			
56.	$r'_{\text{см}}$	Питома теплота пароутворення смоли при 0°C , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	rsm	real	418.7
57.	$c_{\text{см}}$	Середня питома теплоємність парів смоли, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}^{\circ}\text{C}}$	csm	real	-
58.	$q'_{\text{б.в}}$	Фізична теплота парів бензольних вуглеводнів, кДж	qbvsh	real	-
59.	$G'_{\text{б.в}}$	Вихід бензольних вуглеводнів з 1000 кг вологої шихти, кг	Gbvsh	real	11.14
60.	$r_{\text{б.в}}$	Питома теплота пароутворення бензольних вуглеводнів при 0°C , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	rbv	real	431.2
61.	$c_{\text{б.в}}$	Середня питома теплоємність парів бензольних вуглеводнів в інтервалі температур $0-t'_{\text{г}}$ $^{\circ}\text{C}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}^{\circ}\text{C}}$	cbv	real	-
62.	$M_{\text{б.в}}$	Середня молекулярна маса бензольних вуглеводнів.	Mbv	real	83
63.	$q'_{\text{ам}}$	Фізична теплота аміаку, кДж	qamsh	real	-
64.	$G'_{\text{ам}}$	Вихід аміаку з 1000 кг вологої шихти, кг	Gamsh	real	3.15
65.	$c_{\text{ам}}$	Середня питома теплоємність аміаку в інтервалі температур $0-t'_{\text{г}}$ $^{\circ}\text{C}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}^{\circ}\text{C}}$	cam	real	2.688
66.	$q'_{\text{H}_2\text{S}}$	Фізична теплота	qh2ssh	real	-

		сірководню, кДж			
67.	G'_{H_2S}	Вихід сірководню з 1000 кг вологої шихти, кг	Gh2ssh	real	5.16
68.	c_{H_2S}	Середня питома теплоємність сірководню в інтервалі температур $0-t'_r$ $^{\circ}C, \frac{кДж}{кг \cdot ^{\circ}C}$	ch2s	real	1.764
69.	q'_n	Фізична теплота водяної пари, кДж	qnsh	real	-
70.	G'_{pir}	Вихід пірогенетичної води з 1000 кг вологої шихти, кг	Gpir2	real	-
71.	$G'_{вол}$	Волога, яку містить 1000 кг вологої шихти, кг	Gvol2	real	-
72.	r_0	Питома теплота пароутворення води при $0^{\circ}C, \frac{кДж}{кг}$	r0	real	2493.1
73.	c'_n	Середня питома теплоємність водяної пари в інтервалі температур $0-t'_r$ $^{\circ}C, \frac{кДж}{кг \cdot ^{\circ}C}$	cnsH	real	2.060
74.	$q'_{n.g}$	Фізична теплота продуктів горіння коксового газу на виході з регенераторів, кДж	qngsh	real	-
75.	$v_{n.g}$	Об'єм продуктів горіння, що утворюються при згорянні 1 м ³ Сухого коксового газу $\frac{нм^3}{нм^3 \text{ с.г}}$	vng	real	-

76.	$c_{n.g}$	Середня питома теплоємність продуктів горіння в інтервалі температур 0- $t_{n.g}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot \text{°C}}$	cng	real	-
77.	$t_{n.g}$	Температура продуктів горіння на виході з регенераторів, °C	tng	real	360
78.	H ₂ O	Вміст компоненту у продуктах горіння, % об.	H2O	real	-
79.	C _{H2O}	Середня питома теплоємність компонентів в інтервалі температур, 0- $t_{\text{пов}}$ °C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot \text{°C}}$	CH2O	real	-
80.	$q_{\text{гор}}^r$	Питома втрата теплоти на коксування в розрахунку на 1 кг вологої вугільної шихти, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	qrgor	real	-
81.	$q_{\text{гор}}^d$	Питома витрата теплоти на коксування в розрахунку на 1 кг сухої вугільної шихти, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	qdgor	real	-
82.	$n_{\text{тепл}}$	Теплотехнічний ККД, %	ntep1	real	-
83.	$q_{\text{під}}$	Загальна кількість теплоти, підведена до коксової печі, кДж	qpidv	real	-
84.	$q'_{n.g}$	Кількість	qngsh	real	-

		теплоти, що виноситься продуктами горіння з опалювальної системи в атмосферу, кДж			
85.	$q'_{\text{втр}}$	Втрати теплоти випромінюванням та конвенцією із зовнішніх поверхонь коксових печей у навколишнє середовище, кДж	qvutsh	real	-
86.	$\eta_{\text{терм}}$	Термічний ККД, %	nterm	real	-
87.	A	Коефіцієнт надлишку повітря	a	real	1.25
88.	$W_{\text{ш}}^r$	Вологість вугільної шихти, %	wrsh	real	8
89.	M _{Pruh}	Маса компонентів приходу у процесі горіння коксового газу в спалювальних каналах коксових печей, кг	M _{Pruh}	real	-
90.	V _{Pruh}	Об'єм компонентів приходу у процесі горіння коксового газу в спалювальних каналах коксових печей, кг	V _{Pruh}	real	-
91.		Відносна вологість повітря	aa	real	0.5
92.	$C_{\text{CO}_2},$ $C_{\text{N}_2},$ $C_{\text{O}_2},$ $C_{\text{H}_2\text{O}},$	Середні питомі теплоємності компонентів продуктів горіння в інтервалі	CserCO2, CserN2, CserO22, CserH2O	real	1.899 1.315 1.367 1.553

		температур 0- 360°C, $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot \text{°C}}$			
93.	$S_{\text{ш}}^{\text{d}}$	Сірчистість шихти, %	Sdsh	real	2.2
94.	$G_{\text{ш}}^{\text{d}}$	Маса сухої вугільної шихти, кг.	Gdsh	real	-
95.	$G'_{\text{к}}$	Маса коксу, кг.	Gk2	real	-
96.	$G'_{\text{с.г}}$	Маса сухого кокового газу, кг.	Gsg2	real	-
97.	$G'_{\text{см}}$	Маса смоли, кг.	Gsm2	real	-
98.	$G'_{\text{б.в}}$	Маса бензольних вуглеводнів, кг.	Gbv2	real	-
99.	$G'_{\text{ам}}$	Маса аміаку, кг.	Gam2	real	-
100.	$G'_{\text{H}_2\text{S}}$	Маса сірководню, кг.	Gh2s2	real	-
101.	$G'_{\text{пір}}$	Маса пірогенетичної води, кг	Gpir2	real	-
102.	$G_{\text{вол}}$	Маса вологи вугільної шихти, кг.	Gvol	real	-
103.	$G'_{\text{вол}}$	Маса вологи вугільної шихти, кг.	Gvol2	real	-
104.	$G'_{\text{нев}}$	Нев'язка балансу, кг.	Gnev	real	-
105.	$G_{\text{прих}}$	Прибуткова частина.	Gprh	-	-
106.	$G_{\text{витр}}$	Витратна частина.	Gvut	-	-
107.	$G'_{\text{к}}$	Маса сухого вугілля, %	Gk2pr	real	-
108.	$G'_{\text{с.г}}$	Маса сухого газу, %	Gsm2pr	real	-
109.	$G'_{\text{см}}$	Маса безводної смоли, %	Gsm2pr	real	-
110.	$G'_{\text{б.в}}$	Маса бензольних вуглеводнів, %.	Gbv2pr	real	-
111.	$G'_{\text{ам}}$	Маса аміаку, %.	Gam2pr	real	-
112.	$G'_{\text{H}_2\text{S}}$	Маса сірководню, %.	Gh2s2pr	real	-
113.	$G'_{\text{пір}}$	Маса води	Gpir2pr	real	-

		пірогенетичної, %.			
114	$G'_{\text{вол}}$	Маса вологої шихти, %.	Gvol2pr	real	-
115	$G'_{\text{нев}}$	Нев'язка балансу, %.	Gnevpr	real	-
116	$G_{\text{ш}}^d$	Маса сухої вугільної шихти, %	Gdshpr	real	-
117	$G'_{\text{вол}}$	Маса вологи вугільної шихти, %.	Gvol2pr	real	-
118	$G_{\text{витр}}$	Сума витратної частини, кг.	Gvutsum	real	-
119	$G_{\text{витр}}$	Сума витратної частини, %.	Gvutsum pr	real	-
120	$G_{\text{прих}}$	Сума прибуткової частини, %.	Gprhpr	real	-

3.4 Вихідні дані для розрахунку матеріального та теплового балансів процесу коксування

1) Показники технічного аналізу вугільної шихти:

- вологість на робочу масу $W_{\text{ш}}^r = 10 \%$;
- зольність на суху масу $A_{\text{ш}}^d = 8,5 \%$;
- сірчистість на суху масу $S_{\text{ш}}^d = 1,6 \%$;
- вихід летючих речовин на суху масу $V_{\text{ш}}^d = 30 \%$.

- 2) Інтервал варіювання вологості шихти, % 8 – 12
- 3) Інтервал варіювання зольності шихти, % 7 – 10
- 4) Інтервал варіювання сірчистості шихти, % 1,0 – 2,2
- 5) Інтервал варіювання виходу летючих речовин з шихти, % 27 – 33
- 6) Температура коксового газу на вході у корнюри, °C 50
- 7) Температура точки роси коксового газу, °C 30
- 8) Надлишковий тиск коксового газу в газопроводах по сторонах коксової батареї, Па 1280
- 9) Атмосферний тиск, мм рт. ст. 745

10) Температура повітря в тунелі, °C	24
11) Середньорічна температура повітря, °C	16
12) Відносна вологість повітря	0,55
13) Коефіцієнт надлишку повітря	1,3
14) Температура вугілля, що завантажується в камери коксування, °C	18
15) Температура коксу, що вивантажується з камер коксування, °C	1050
16) Середня температура парогазових продуктів на виході з камери коксування, °C	750
17) Середня молярна маса бензольних вуглеводнів, г/моль	83
18) Температура продуктів горіння на виході з регенераторів, °C	360
19) Склад опалювального сухого коксового газу, % об.:	
H ₂	59,0
CH ₄	25,6
CO	5,8
N ₂	4,0
CO ₂	2,3
C _m H _n	2,6
O ₂	0,7

3.5 Результати розрахунку матеріального та теплового балансів процесу коксування та теплотехнічних характеристик коксових печей

Матеріальний баланс коксування 1000 кг вологої шихти

Прибуткова частина			Витратна частина		
Компоненти шихти	Маса, кг	%	Продукти коксування	Маса, кг	%
Вугілля сухе	900	90	Кокс валовий	668.61	66.86
Волога шихта	100	10	Сухий газ	148.54	14.85
			Смола безводна	35.87	3.59
			Бензольні вуглеводні	11.77	1.18
			Аміак	3.32	0.33
			Сірководень	3.67	0.37
			Вода пірогенетична	28.17	2.82
			Волога шихти	100.00	10.00
			Нев'язка балансу	0.05	0.00
Всього	1000	100	Всього	1000.00	100.00

Матеріальний баланс процесу горіння коксового газу в опалювальних каналах коксових печей

Статті приходу	Маса кг	Об'єм, нмЗ	Статті витрати	Маса, кг	Об'єм, нмЗ	% об.
Газ сухий	0.4468	1	Вуглекислий газ	0.7675	0.3908	6.10
Водяна пара газу	0.0354	0.0440	Азот	5.6106	4.4885	70.03
Повітря сухе	7.2499	5.6310	Кисень	0.3898	0.2729	4.26
Водяна пара повітря	0.0460	0.0572	Водяна пара	1.0101	1.2570	19.61
Всього	7.7781	6.7323	Всього	7.7781	6.4092	100.00

Тепловий баланс коксування 1000 кг вологої шихти

Прибуткова частина			Витратна частина		
Назва статті	q, кДж	%	Назва статті	q, кДж	%
Теплота вологої шихти	24515	0.84	Теплота коксу	1107911	37.77
Теплота коксового газу	11604	0.40	Теплота сухого коксового газу	394440	13.45
Теплота повітря	28378	0.97	Теплота парів смоли	78114	2.66
Теплота горіння коксового газу	2868494	97.80	Теплота парів бензольних вуглеводнів	21455	0.73
			Теплота аміаку	6350	0.22
			Теплота сірководню	4498	0.15
			Теплота водяної пари	517549	17.65
			Теплота продуктів горіння	515825	17.59
			Втрати теплоти у навколишнє середовище	286849	9.78
Всього	2932991	100.00	Всього	2932991	100.00

Витрата сухого коксового газу на коксування 1000 кг вугільної шихти:

$V_{sg}=159.745$ нмЗ

Теплотехнічний ККД=72.63 %

Термічний ККД=82.41 %

Питома витрата теплоти на коксування 1 кг вологої шихти

$q_{rgor}=2868$ кДж/кг

Питома витрата теплоти на коксування 1 кг сухої шихти

$q_{dgor}=3187$ кДж/кг

3.6 Результати дослідження впливу технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей

Таблиця 3.2 - Залежність показників коксування від вологості шихти

Wrsh, %	qrgor, кДж/кг	Vsg, нм3	Gk2, кг	Gsg2, кг	Gsm2, кг	Gbv2, кг	Gam2, кг	Gh2s2, кг	Gpir2, кг
8.0	2763.46	153.896	683.47	151.84	36.671	12.032	3.3955	3.754	28.792
8.5	2789.72	155.358	679.75	151.02	36.472	11.967	3.3771	3.733	28.636
9.0	2815.98	156.820	676.04	150.19	36.273	11.902	3.3586	3.713	28.479
9.5	2842.24	158.282	672.32	149.36	36.073	11.836	3.3402	3.692	28.323
10.0	2868.49	159.745	668.61	148.54	35.874	11.771	3.3217	3.672	28.166
10.5	2894.75	161.207	664.90	147.71	35.675	11.706	3.3033	3.652	28.010
11.0	2921.01	162.669	661.18	146.89	35.475	11.640	3.2848	3.631	27.853
11.5	2947.27	164.132	657.47	146.06	35.276	11.575	3.2664	3.611	27.697
12.0	2973.53	165.594	653.75	145.24	35.077	11.509	3.2479	3.590	27.540

Таблиця 3.3 - Залежність показників коксування від сірчистості шихти

Sdsh, %	qrgor, кДж/кг	Vsg, нм3	Gk2, кг	Gsg2, кг	Gsm2, кг	Gbv2, кг	Gam2, кг	Gh2s2, кг	Gpir2, кг
1.0	2869.43	159.797	668.61	149.44	36.090	11.842	3.3417	2.295	28.337
1.1	2869.27	159.788	668.61	149.29	36.054	11.830	3.3384	2.525	28.308
1.2	2869.12	159.780	668.61	149.14	36.018	11.818	3.3350	2.754	28.280
1.3	2868.96	159.771	668.61	148.99	35.982	11.807	3.3317	2.984	28.251
1.4	2868.81	159.762	668.61	148.84	35.946	11.795	3.3284	3.213	28.223
1.5	2868.65	159.753	668.61	148.69	35.910	11.783	3.3251	3.443	28.195
1.6	2868.49	159.745	668.61	148.54	35.874	11.771	3.3217	3.672	28.166
1.7	2868.34	159.736	668.61	148.39	35.838	11.759	3.3184	3.902	28.138
1.8	2868.18	159.727	668.61	148.24	35.802	11.747	3.3151	4.131	28.110
1.9	2868.03	159.719	668.61	148.09	35.766	11.735	3.3117	4.361	28.081
2.0	2867.87	159.710	668.61	147.94	35.730	11.723	3.3084	4.590	28.053
2.1	2867.71	159.701	668.61	147.79	35.694	11.712	3.3051	4.820	28.025
2.2	2867.56	159.693	668.61	147.64	35.658	11.700	3.3017	5.049	27.996

Таблиця 3.4 - Залежність показників коксування від виходу летких речовин шихти

Vdsh, %	qrgor, кДж/кг	Vsg, нм3	Gk2, кг	Gsg2, кг	Gsm2, кг	Gbv2, кг	Gam2, кг	Gh2s2, кг	Gpir2, кг
27.0	2852.75	158.868	691.75	133.45	32.229	10.575	2.9842	3.672	25.304
27.5	2855.38	159.014	687.89	135.96	32.837	10.774	3.0405	3.672	25.781
28.0	2858.00	159.160	684.04	138.48	33.444	10.974	3.0967	3.672	26.258
28.5	2860.62	159.306	680.18	140.99	34.052	11.173	3.1530	3.672	26.735
29.0	2863.25	159.453	676.32	143.51	34.659	11.372	3.2092	3.672	27.212
29.5	2865.87	159.599	672.47	146.02	35.267	11.572	3.2655	3.672	27.689
30.0	2868.49	159.745	668.61	148.54	35.874	11.771	3.3217	3.672	28.166
30.5	2871.12	159.891	664.75	151.06	36.482	11.970	3.3780	3.672	28.643
31.0	2873.74	160.037	660.90	153.57	37.089	12.170	3.4342	3.672	29.120
31.5	2876.37	160.183	657.04	156.09	37.697	12.369	3.4905	3.672	29.597
32.0	2878.99	160.329	653.18	158.60	38.304	12.568	3.5467	3.672	30.074
32.5	2881.61	160.475	649.33	161.12	38.912	12.768	3.6030	3.672	30.551
33.0	2884.24	160.622	645.47	163.63	39.519	12.967	3.6592	3.672	31.028

3.7 Аналіз результатів дослідження

Провівши розрахунок матеріального балансу, встановили, що при коксуванні 1000 кг вологої шихти виходи продуктів коксування наступні: 668,61 кг (66,86 %) валового коксу, 148,54 кг (14,85 %) сухого коксового газу, 35,87 кг (3,49 %) смоли безводної, 11,77 кг (1,18 %) бензольних вуглеводнів, 3,32 кг (0,33 %) аміаку; 3,67 кг (0,37 %) сірководню; 28,17 кг (2,82 %) пірогенетичної води.

Розрахунок матеріального балансу процесу горіння коксового газу в опалювальних каналах коксових печей показав, що при згорянні 1 нм^3 сухого коксового газу утворюється 6,41 нм^3 продуктів горіння: 4,49 нм^3 азоту (70,03 % об.), 1,26 нм^3 водяної пари (19,61 % об.), 0,39 нм^3 вуглекислого газу (6,10 % об.), 0,27 нм^3 кисню (4,26 % об.).

Тепловий баланс процесу коксування 1000 кг вологої вугільної шихти показав що сновним джерелом теплоти є теплота горіння коксового газу – 97,80 %. Фізични теплоти вологої шихти, коксового газу та повітря є незначними джерелами теплоти: 0,84; 0,40; 0,97 % відповідно.

Аналізуючи витратну частину теплового балансу, можемо сказати, що найбільшими статтями є наступні: теплота коксу (37,77 %); теплота сухого коксового газу (13,45 %); теплота водяної пари (17,65 %); теплота продуктів горіння (17,59 %); втрати теплоти у навколишнє середовище (9,78 %).

Також були розраховані наступні теплотехнічні характеристики коксових печей: термічний ККД – 82,41 %, теплотехнічний ККД – 72,83 %, питомі витрати теплоти на коксування 1 кг вологої шихти – 2868 кДж/кг та 1 кг сухої шихти – 3187 кДж/кг, витрата сухого коксового газу на коксування 1000 кг вугільної шихти – 159,745 нм^3 .

Вплив вологості

Аналізуючи значення ККД та питомої витрати теплоти на коксування 1 кг вологої та сухої шихти при зміні вологості від 8 до 12 % , можна сказати, що

теплотехнічний та термічний ККД не змінюються: теплотехнічний ККД становить 72,63 %; термічний ККД становить 82,41 %.

При збільшенні вологості робочої шихти від 8 до 12 %: питома витрата теплоти на коксування 1 кг вологої шихти зростає на 210,07 кДж/кг (7,62 %) з 2763,46 до 2973,53 кДж/кг (рис.3.1); витрата сухого опалювального (кокового) газу на коксування 1000 кг вологої шихти збільшується на 11,698 нм³ (7,60 %) від 153,896 до 165,594 нм³ (рис.3.2); вихід сухого коксу при коксуванні 1000 кг вологої шихти зменшується на 29,72 кг (4,35 %) від 683,47 до 653,75 кг (рис.3.2); вихід сухого коксового газу зменшується на 6,6 кг (4,35 %) від 151,84 до 145,24 кг (рис.3.4); вихід смоли зменшується на 1,594 кг (4,35 %) від 36,671 до 35,077 кг (рис.3.5); вихід бензольних вуглеводнів зменшується на 0,523 кг (4,35 %) від 12,032 до 11,509 кг (рис.3.6); вихід аміаку зменшується на 0,1476 кг (4,35 %) від 3,3955 до 3,2479 кг (рис.3.7); вихід сірководню зменшується на 0,164 кг (4,37 %) від 3,754 до 3,59 кг (рис.3.8); вихід пірогенетичної води зменшується на 1,252 кг (4,35 %) від 28,792 до 27,54 кг (рис.3.9).

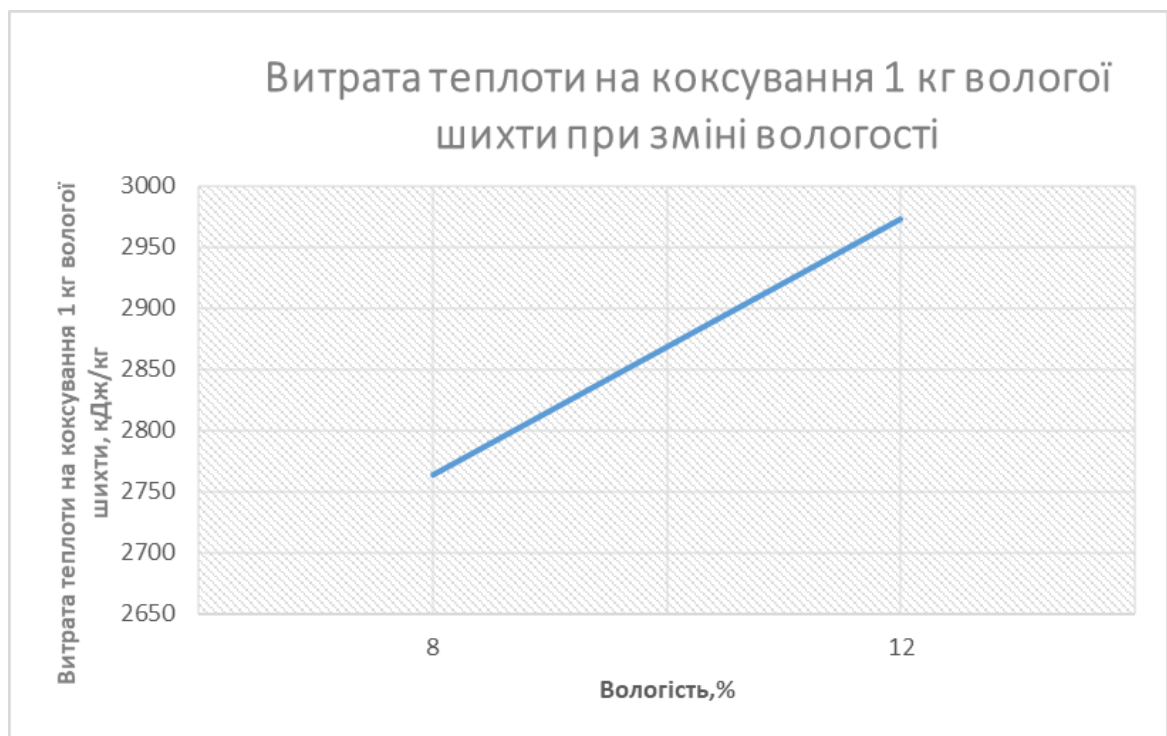


Рисунок 3.1 – Залежність витрати теплоти на коксування 1 кг вологої шихти від її вологості

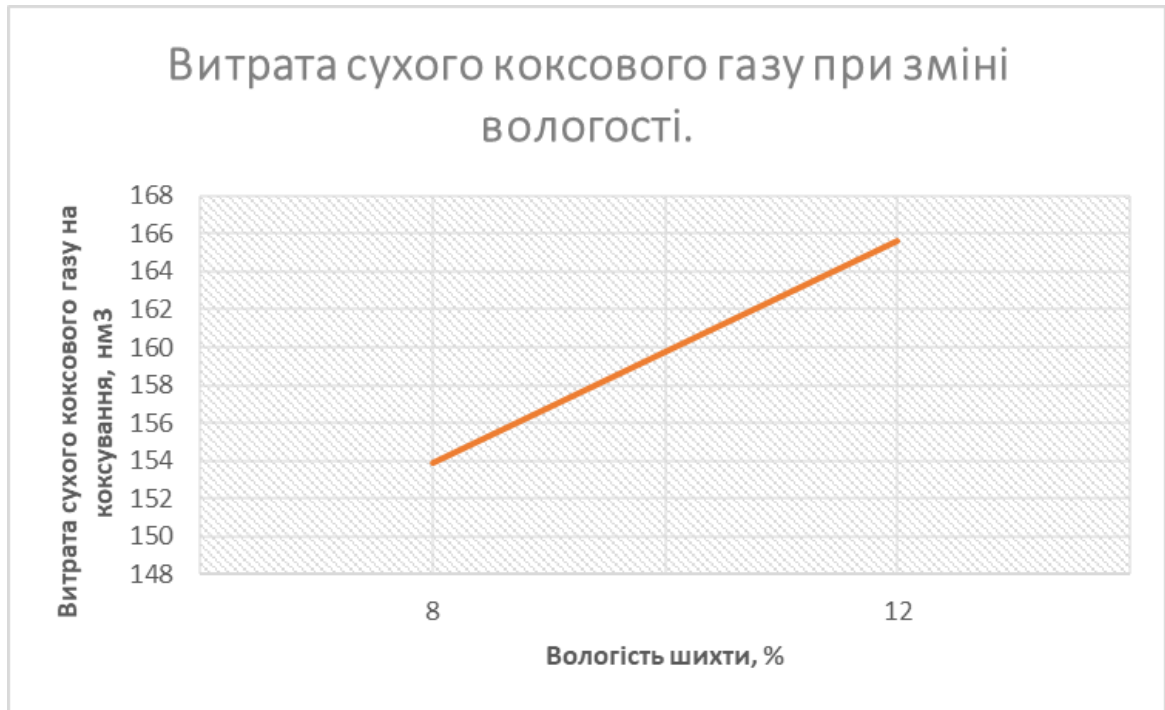


Рисунок 3.2 – Залежність витрати сухого коксового газу на коксування 1000 кг вологої шихти від її вологості

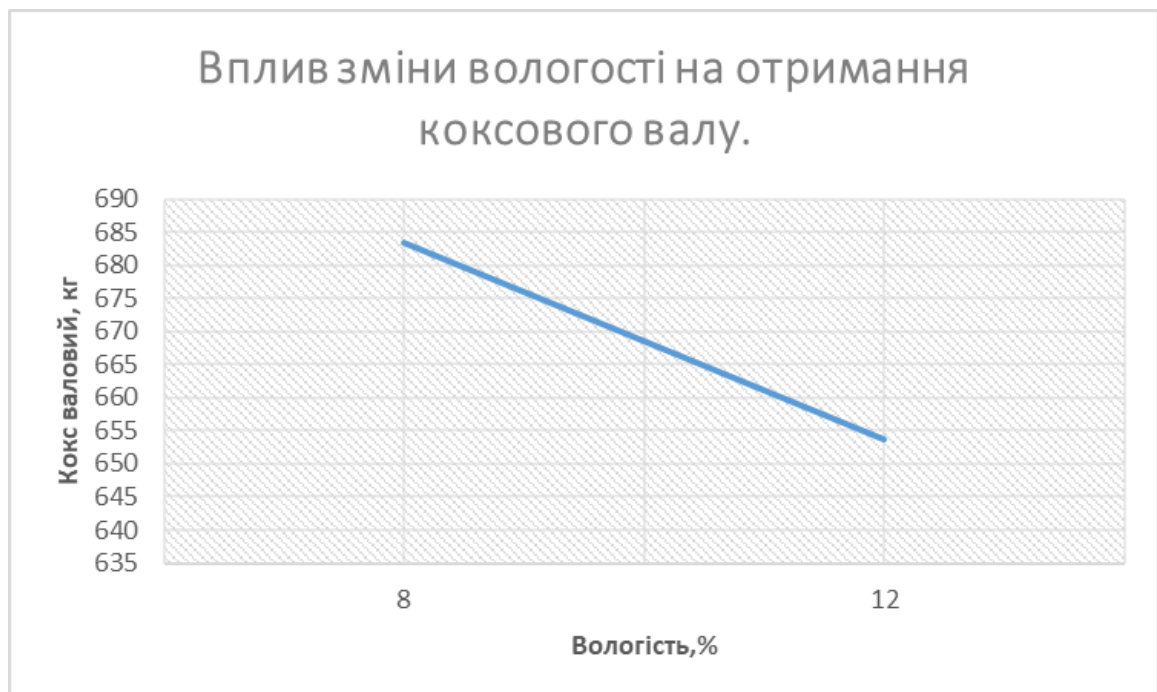


Рисунок 3.3 – Залежність виходу сухого коксу при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її вологості

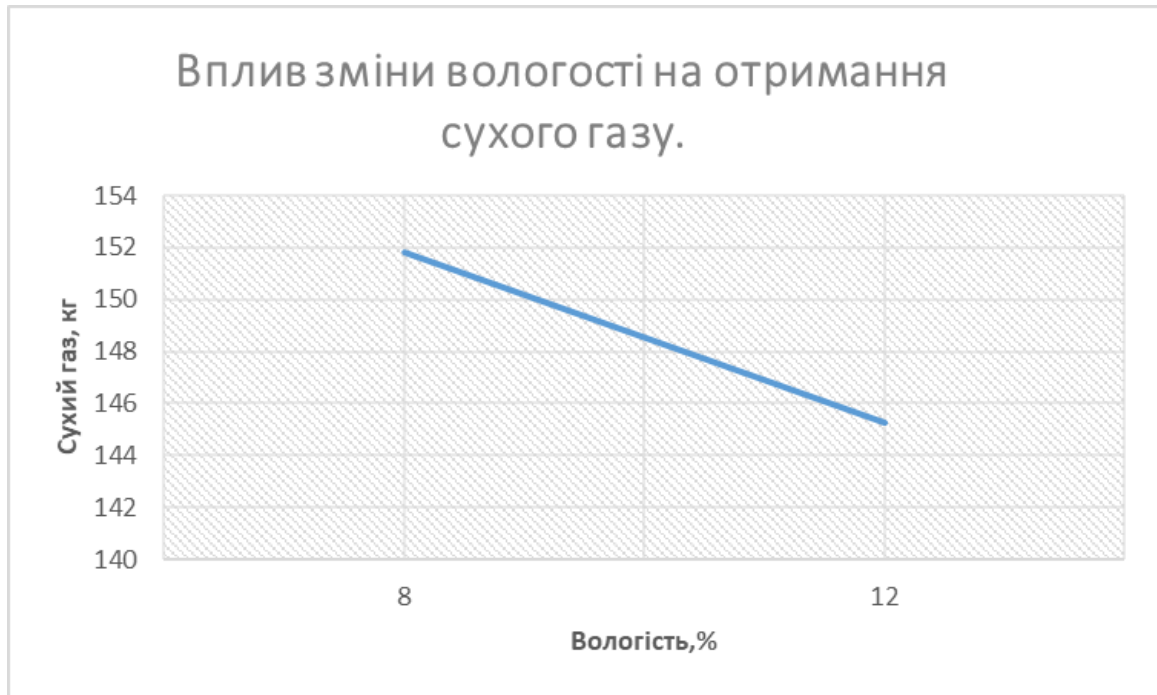


Рисунок 3.4 – Залежність виходу сухого коксового газу при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її вологості

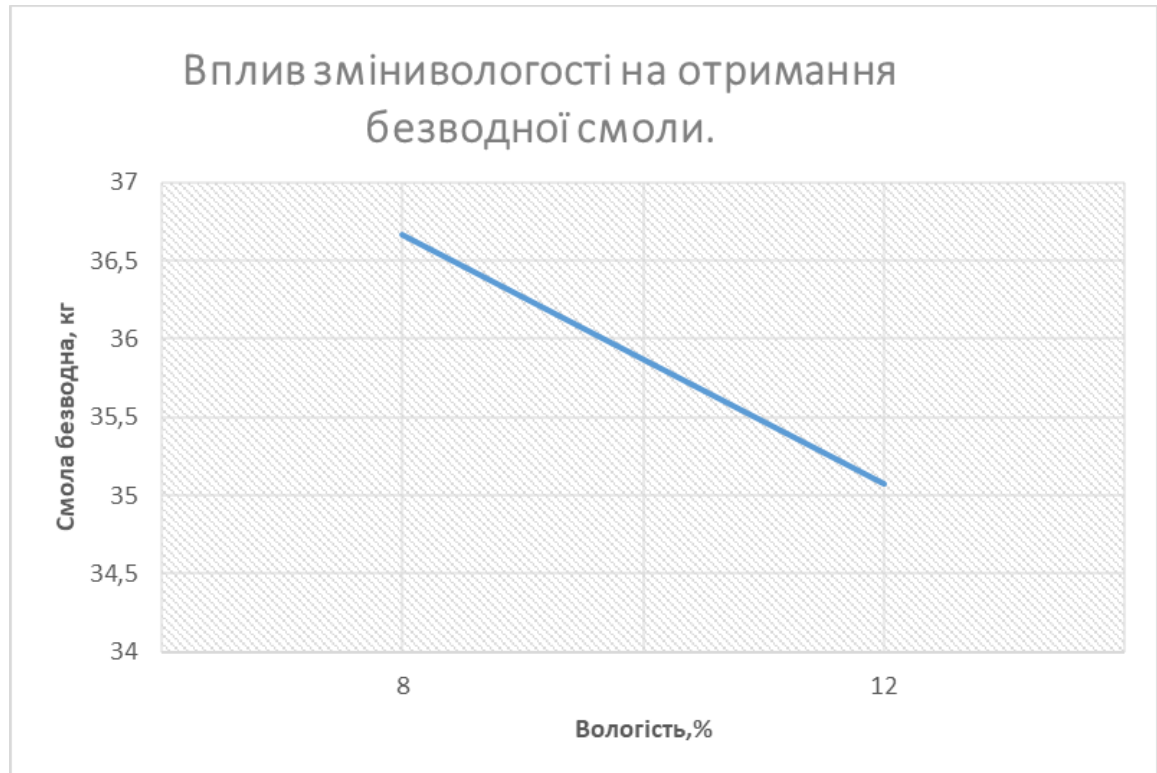


Рисунок 3.5 – Залежність виходу смоли при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її вологості

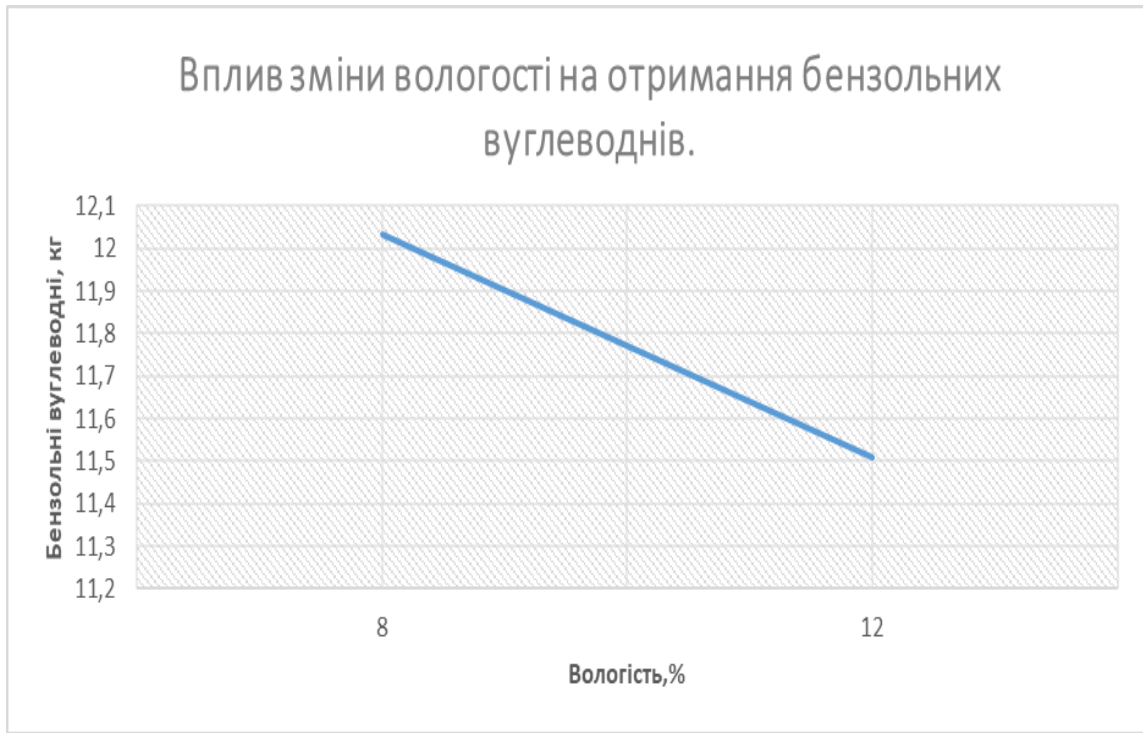


Рисунок 3.6 – Залежність виходу бензольних вуглеводнів при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її вологості

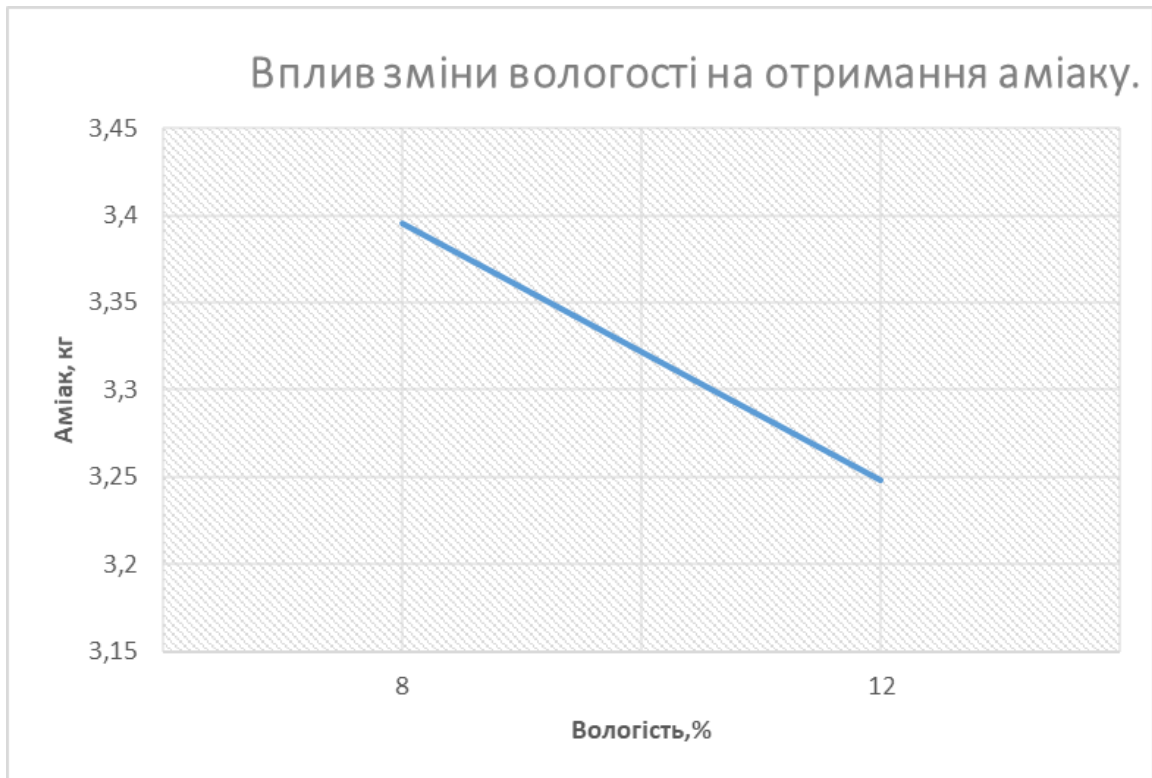


Рисунок 3.7 – Залежність виходу аміаку при коксуванні 1000 кг вологої шихти від зміни вологості

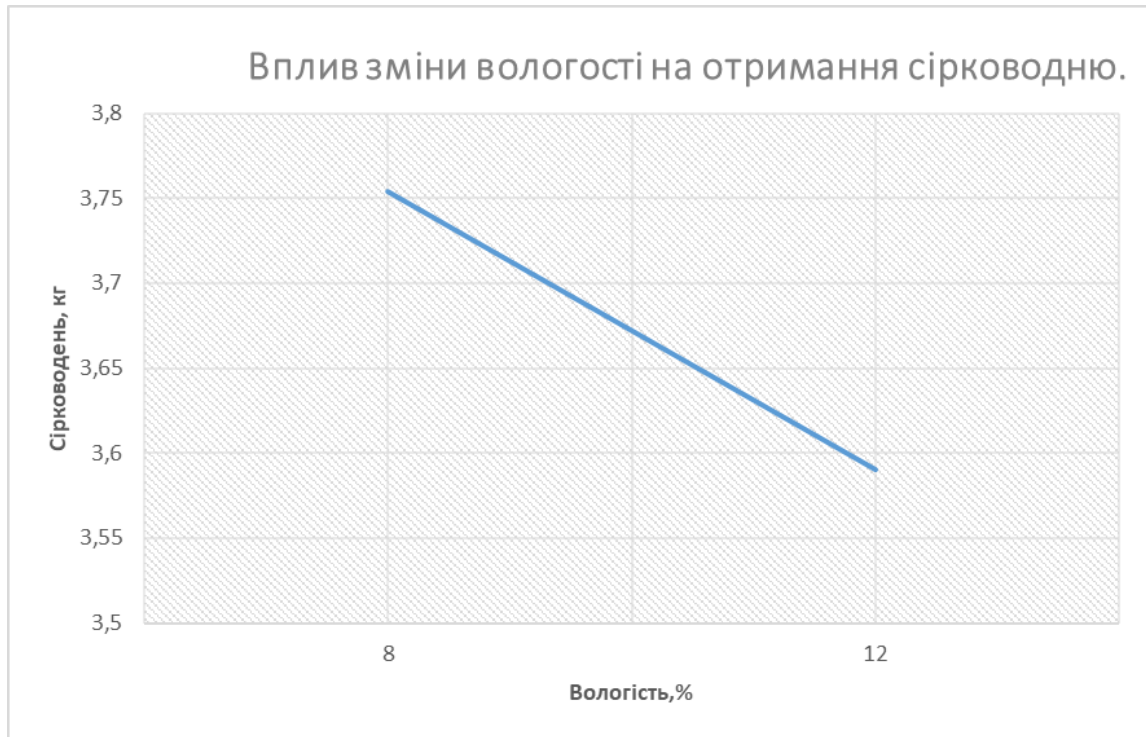


Рисунок 3.8 – Залежність виходу сірководню при коксуванні 1000 кг вологої шихти від зміни вологості

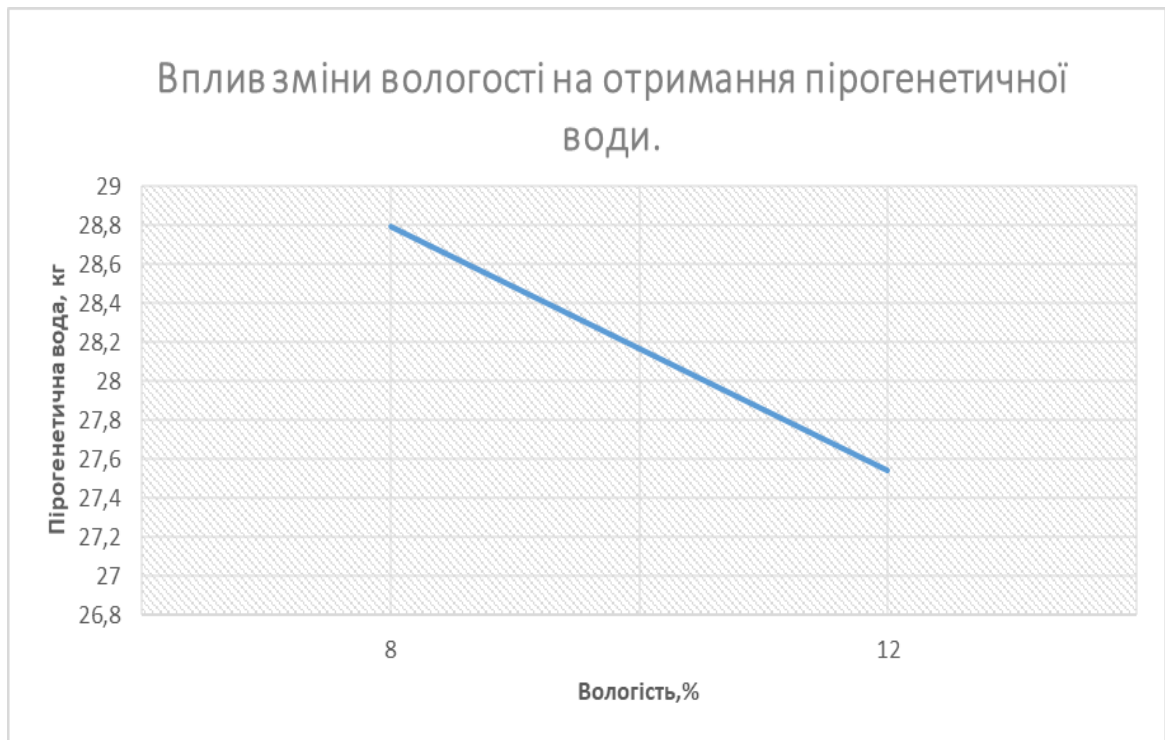


Рисунок 3.9 – Залежність виходу пірогенетичної води при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її вологості

Таким чином, збільшення вологості робочої шихти з 8 до 12 % призводить до зростання витрати сухого опалювального газу й питомої теплоти на коксування на 7,61 % і зменшення виходу всіх основних продуктів коксування на 4,35 % та не впливає на термічний та теплотехнічний ККД коксових печей.

Вплив сірчистості

Аналіз значень термічного та теплотехнічного ККД коксових при зміні сірчистості вугільної шихти на суху масу від 1 до 2.2 % показав, що теплотехнічний та термічний ККД не змінюються: теплотехнічний ККД становить 72,63 %; термічний ККД становить 82,41%.

При збільшенні сірчистості робочої шихти на суху масу від 1 до 2.2 %: питома витрата теплоти на коксування 1 кг вологої шихти зменшується на 1,87 кДж/кг (0,065 %) з 2869,43 до 2867,56 кДж/кг (рис.3.10); витрата сухого опалювального (коксового) газу на коксування 1000 кг вологої шихти зменшується на 0,104 нм³ (0,065 %) від 159,797 до 159,693 нм³ (рис.3.11); вихід сухого коксу при коксуванні 1000 кг вологої шихти при зміні сірчистості не змінюється і становить 668,61 кг (рис.3.12); вихід сухого коксового газу зменшується на 1,8 кг (1,2 %) від 149,44 до 147,64 кг (рис.3.13); вихід смоли зменшується на 0,432 кг (1,197 %) від 36,09 до 35,658 кг (рис.3.14); вихід бензольних вуглеводнів зменшується на 0,142 кг (1,199 %) від 11,842 до 11,7 кг (рис.3.15); вихід аміаку зменшується на 0,04 кг (1,196 %) від 3,3417 до 3,3017 кг (рис.3.16); вихід сірководню збільшується на 2,754 кг (120 %) від 2,295 до 5,049 кг (рис.3.17); вихід пірогенетичної води зменшується на 0,341 кг (1,2 %) від 28,337 до 27,996 кг (рис.3.18).

Таким чином, збільшення сірчистості робочої шихти на суху масу від 1 до 2,2 % призводить до зменшення витрати сухого опалювального газу й питомої теплоти на коксування на 0,065 % і зменшення виходу всіх основних продуктів коксування на 1,2 % окрім виходу сірководню. Вихід сірководню збільшується дуже суттєво на 120 %.

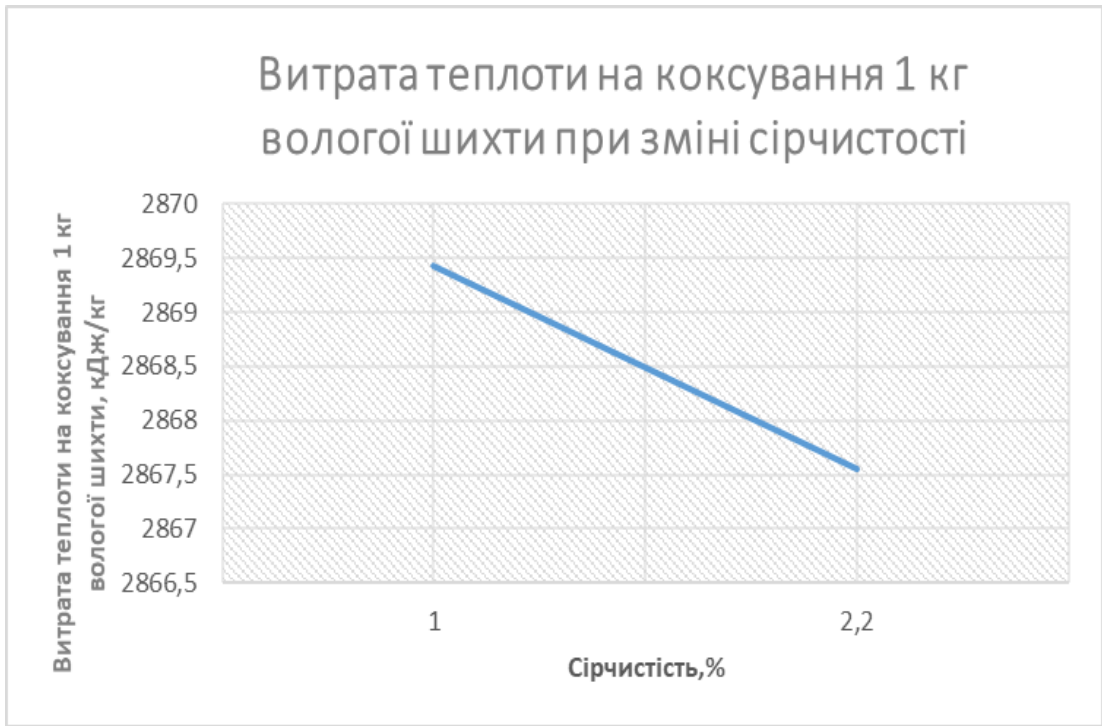


Рисунок 3.10 – Залежність питомої витрати теплоти на коксування 1000 кг вологої шихти від її сірчистості на суху масу



Рисунок 3.11 – Залежність витрати сухого коксового газу на коксування 1000 кг вологої шихти від її сірчистості на суху масу

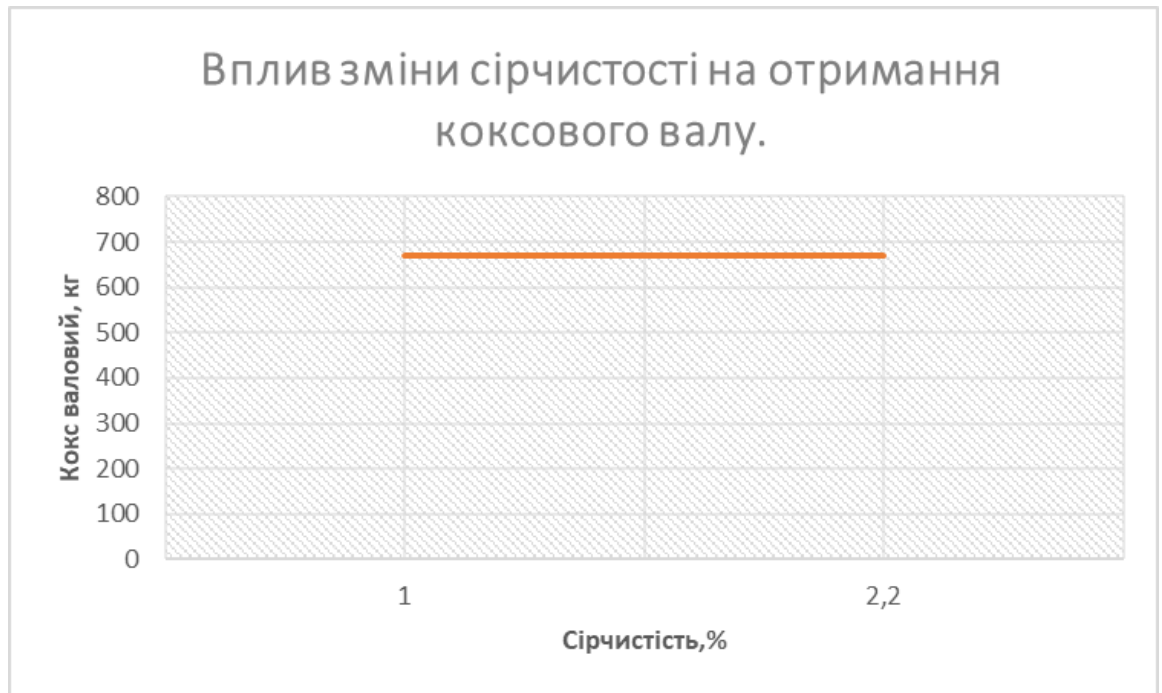


Рисунок 3.12 – Залежність виходу сухого коксу при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її сірчистості на суху масу

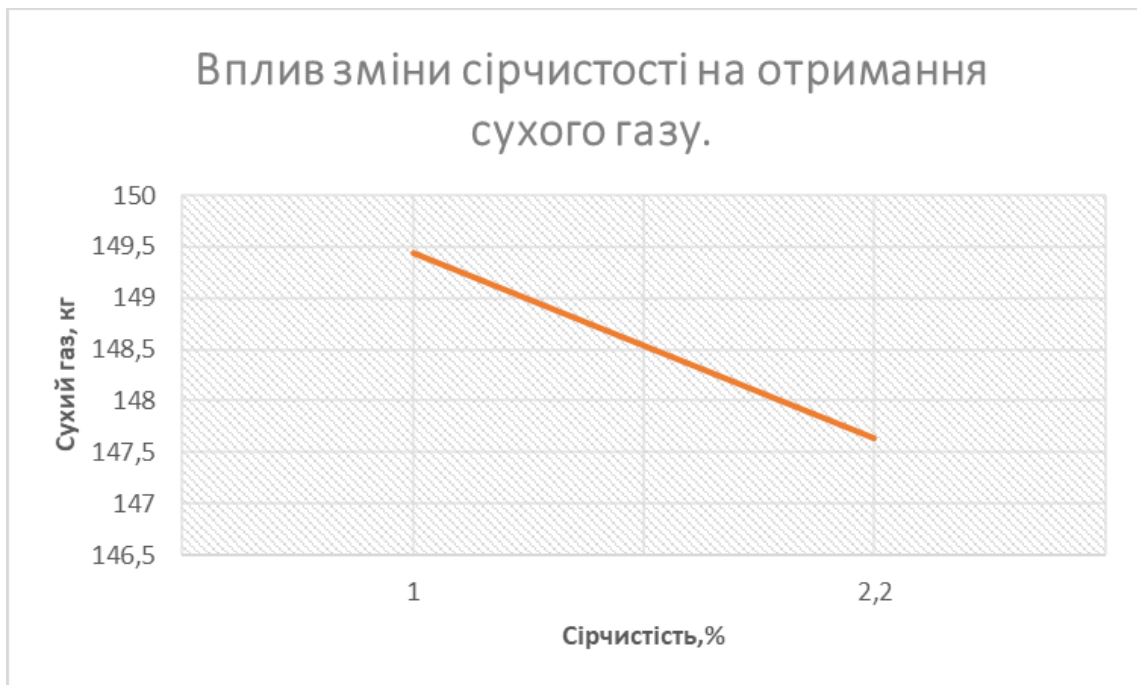


Рисунок 3.13 – Залежність виходу сухого коксового газу при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її сірчистості на суху масу

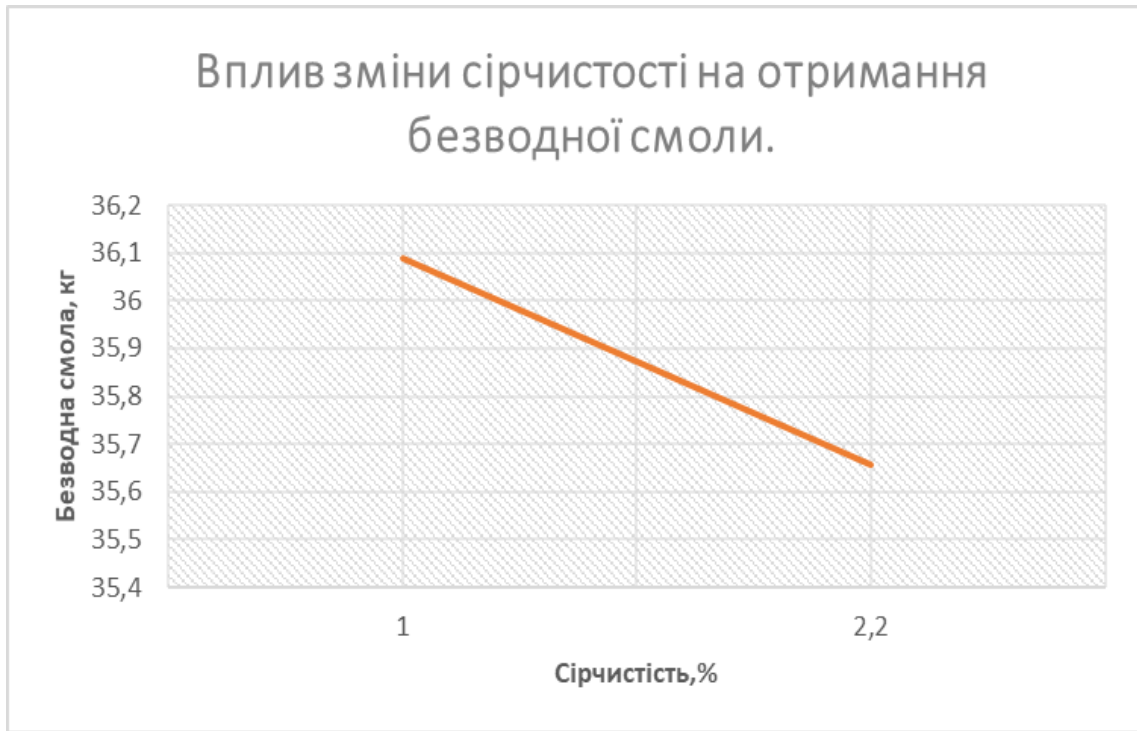


Рисунок 3.14 – Залежність виходу смоли при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її сірчистості на суху масу

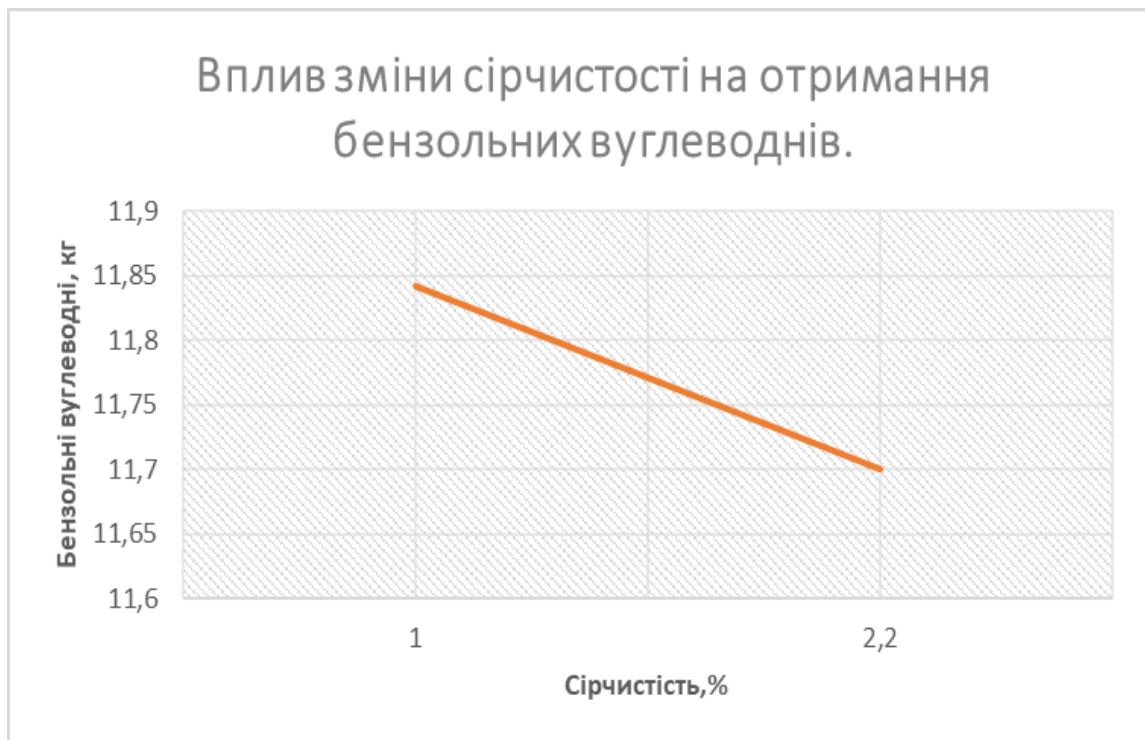


Рисунок 3.15 – Залежність виходу бензольних вуглеводнів при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її сірчистості на суху масу

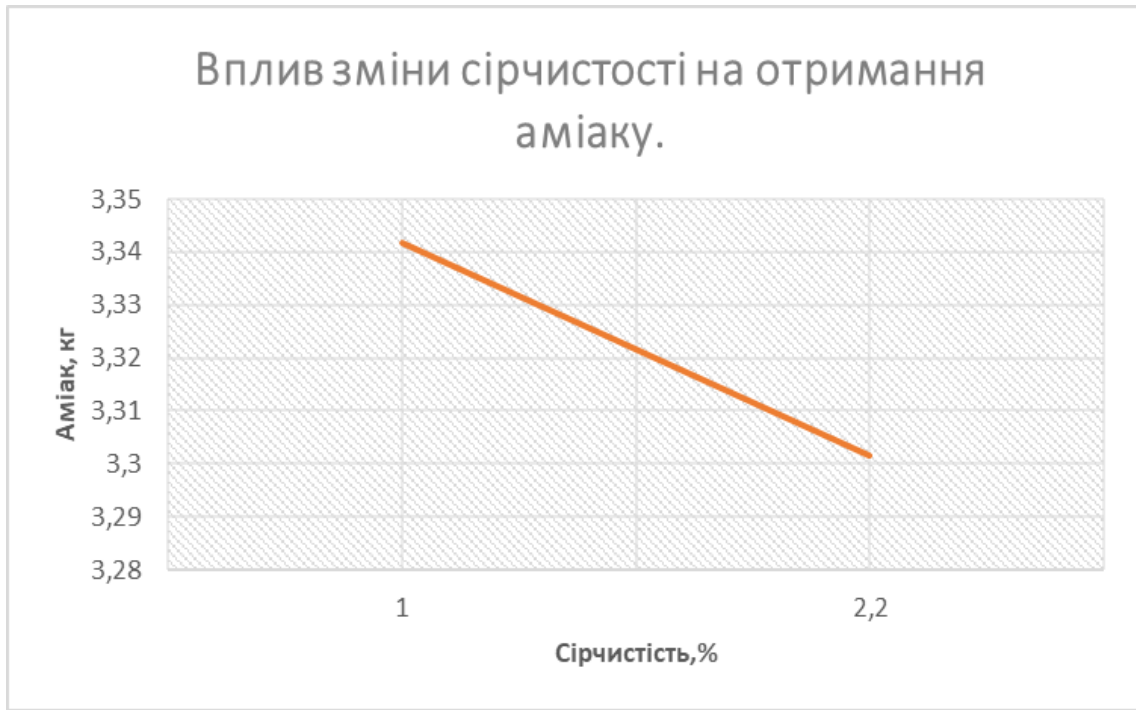


Рисунок 3.16 – Залежність виходу аміаку при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її сірчистості на суху масу

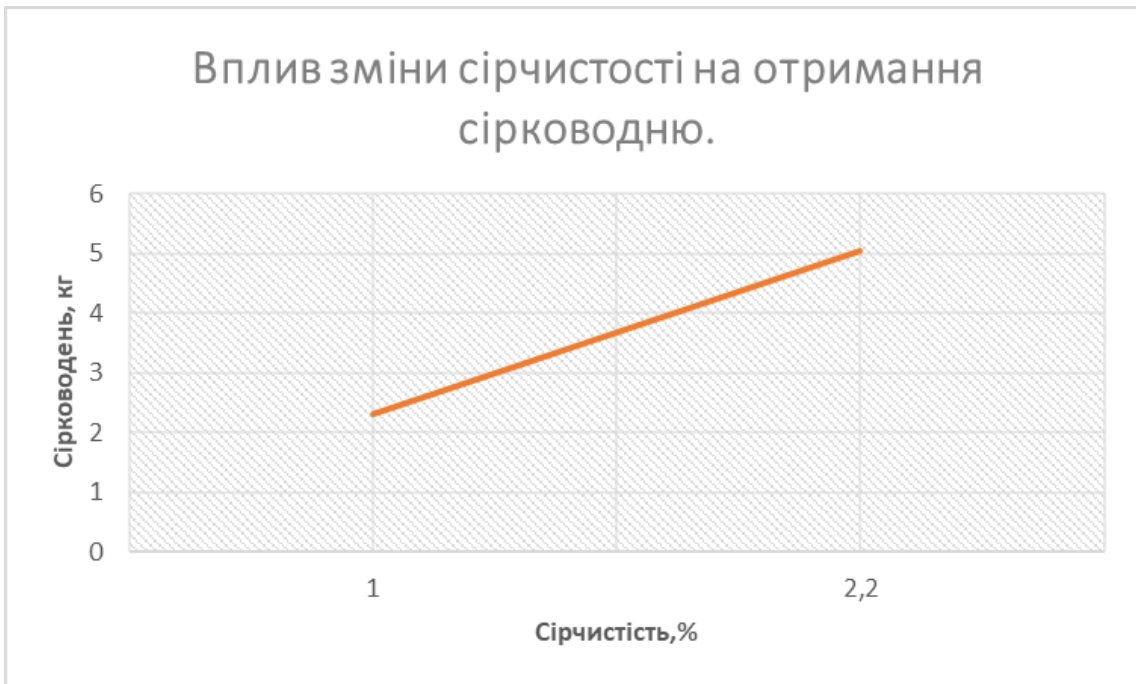


Рисунок 3.17 – Залежність виходу сірководню при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її сірчистості на суху масу

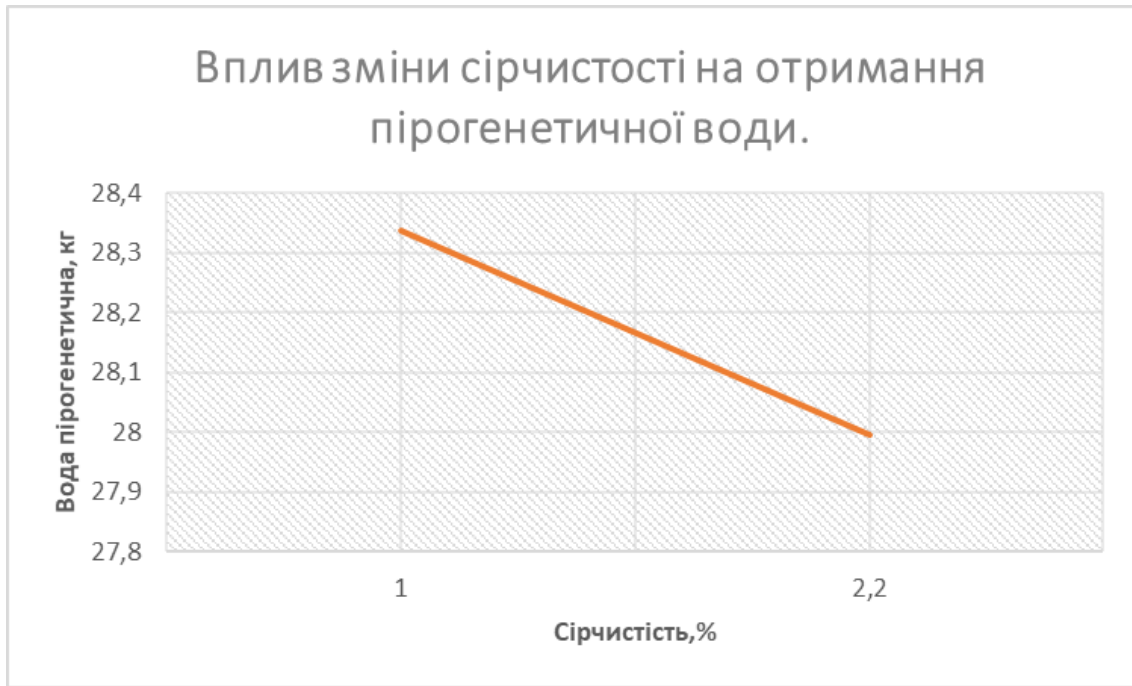


Рисунок 3.18 – Залежність виходу пірогенетичної води при коксуванні 1000 кг вологої шихти від її сірчистості на суху масу

Вплив виходу летких речовин

Аналіз показав, що значення термічного та теплотехнічного ККД коксових печей при збільшенні виходу летких речовин на суху масу шихти від 27 до 33 % не змінюються: теплотехнічний ККД становить 72,63 %; термічний ККД становить 82,41%.

При збільшенні виходу летких речовин на суху масу шихти від 27 до 33 % питома витрата теплоти на коксування 1 кг вологої шихти збільшується на 31,49 кДж/кг (1,1 %) з 2852,75 до 2884,24 кДж/кг (рис. 3.19); витрата сухого опалювального (коксового) газу на коксування 1000 кг вологої шихти збільшується на 1,754 нм³ (1,1 %) від 158,868 до 160,622 нм³ (рис. 3.20); вихід сухого коксу при коксуванні 1000 кг вологої шихти зменшується на 46,28 кг (6,69 %) від 691,75 до 645,47 кг (рис. 3.21); вихід сухого коксового газу збільшується на 30,18 кг (22,615 %) від 133,45 до 163,63 кг (рис. 3.22); вихід смоли збільшується на 7,29 кг (22,619 %) від 32,229 до 39,519 кг (рис. 3.23); вихід бензольних вуглеводнів збільшується на 2,392 кг (22,612 %) від 10,575 до

12,967 кг (рис. 3.24); вихід аміаку збільшується на 0,675 кг (22,619 %) від 2,9842 до 3,6592 кг (рис. 3.25); вихід сірководню не змінюється і становить 3,672 кг (рис. 3.26); вихід пірогенетичної води збільшується на 5,724 кг (22,62 %) від 25,304 до 31,028 кг (рис. 3.27).

Таким чином, збільшення виходу летких речовин на суху масу шихти від 27 до 33 % призводить до збільшення витрати сухого опалювального газу й питомої теплоти на коксування на 1,1 %; зменшення виходу сухого коксу на 6,69 %; збільшення виходу сухого газу, безводної смоли, бензольних вуглеводнів, аміаку та пірогенетичної води на 22,62 %. Вихід сірководню при цьому не змінюється й становить 3,672 кг.

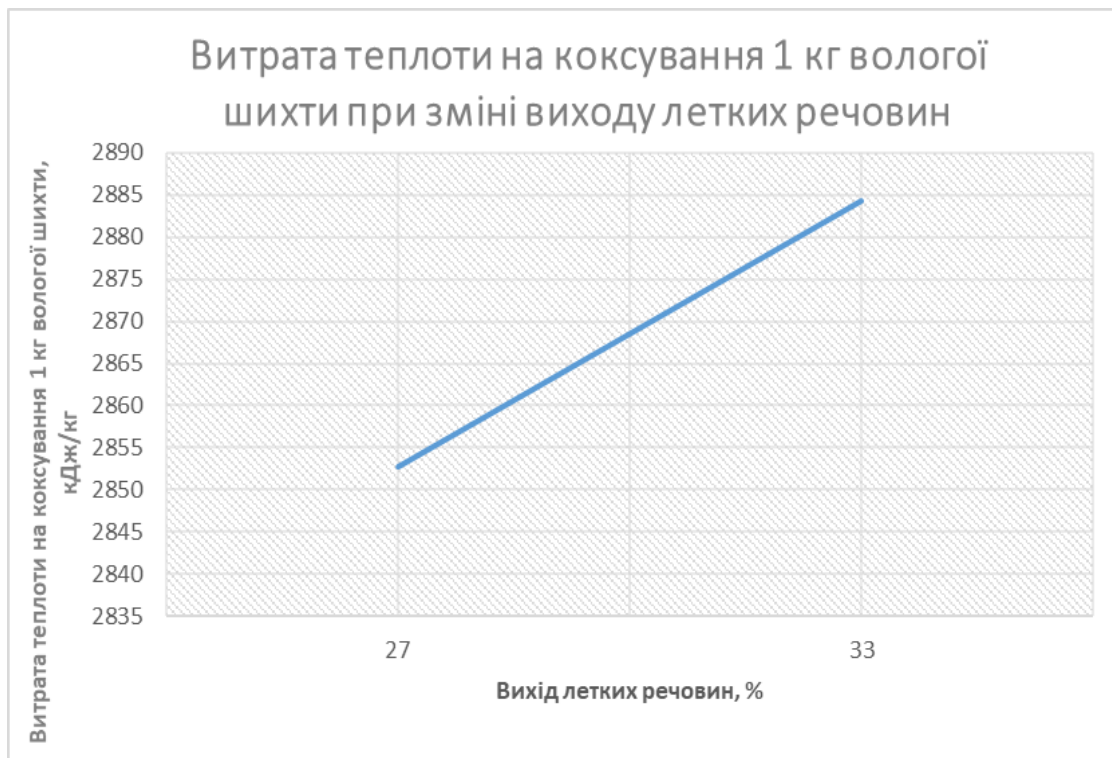


Рисунок 3.19 – Залежність питомої витрати теплоти на коксування 1 кг вологої шихти від виходу летких речовин на суху масу шихти

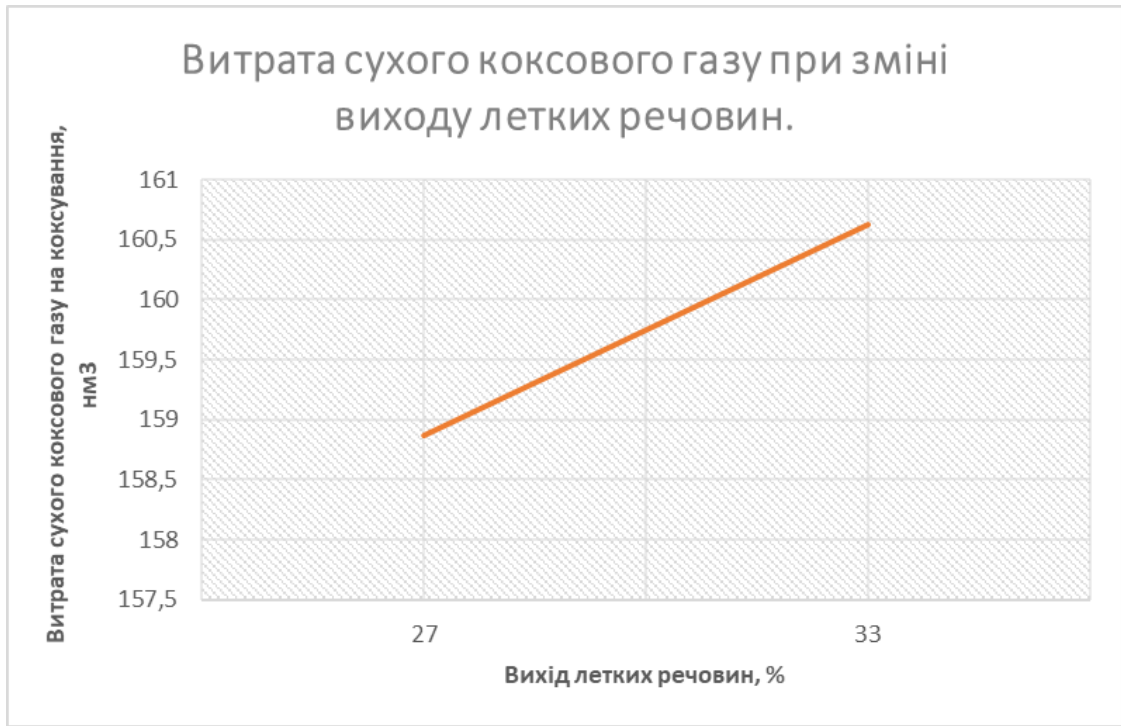


Рисунок 3.20 – Залежність витрати сухого коксового газу на коксування 1000 кг вологої шихти від виходу летких речовин на суху масу шихти

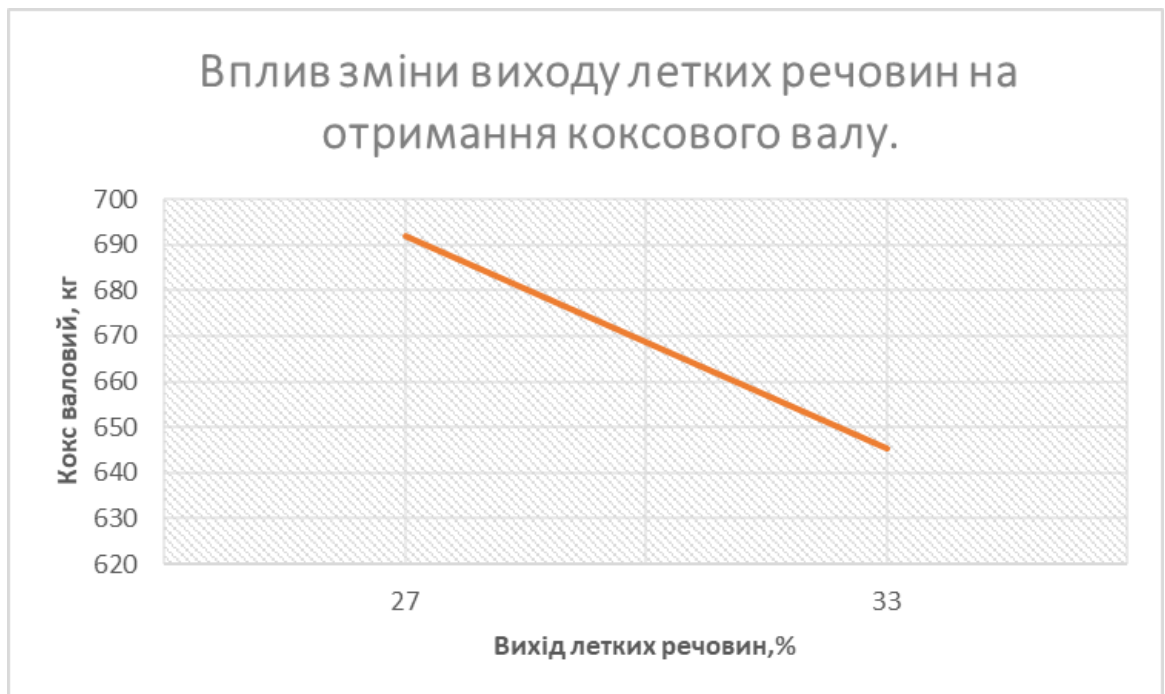


Рисунок 3.21 – Залежність виходу сухого коксу при коксуванні 1000 кг вологої шихти від виходу летких речовин на суху масу шихти

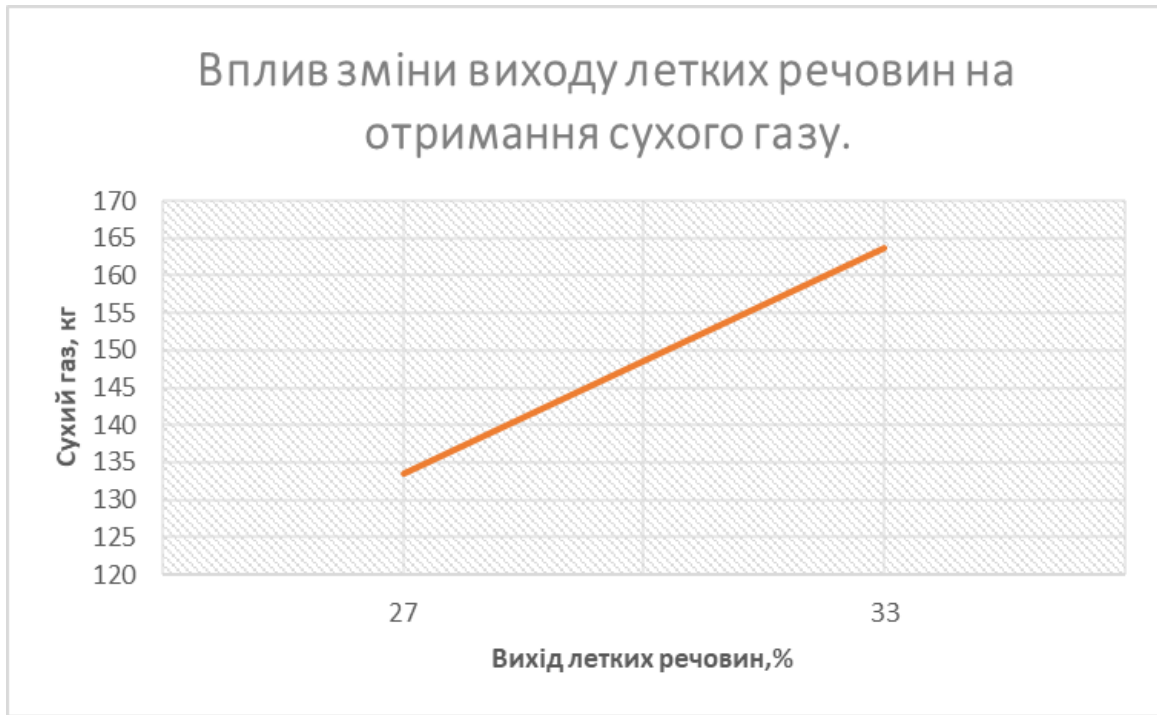


Рисунок 3.22 – Залежність виходу сухого газу при коксуванні 1000 кг вологої шихти від виходу летких речовин на суху масу шихти

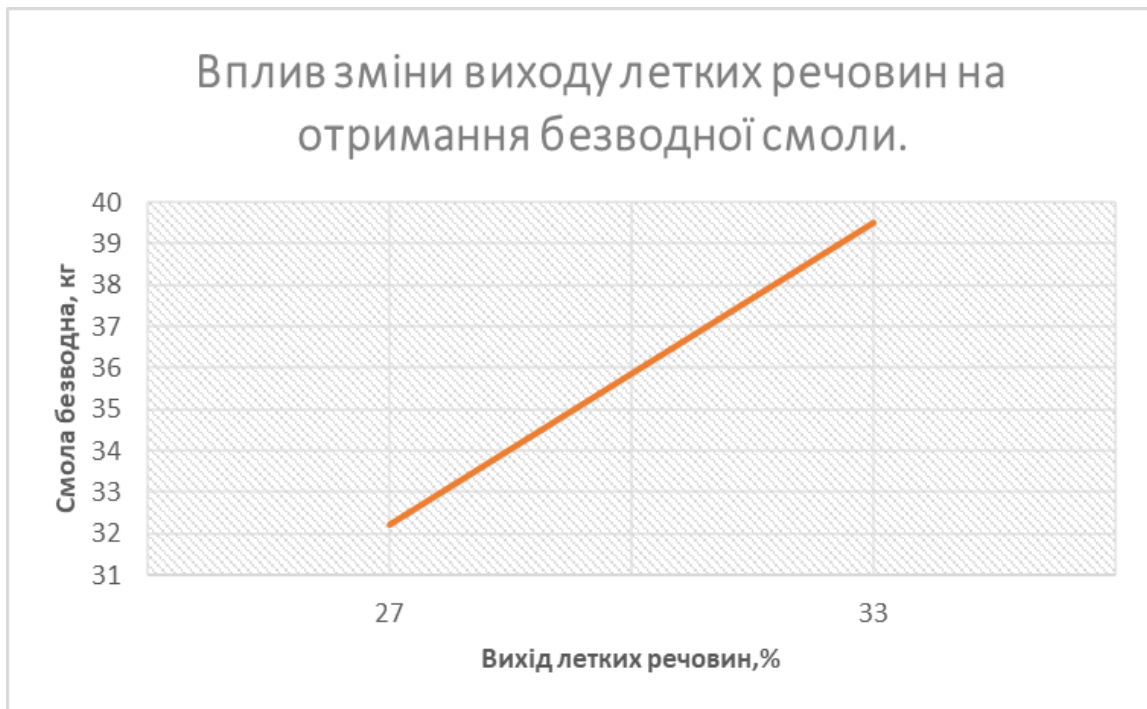


Рисунок 3.23 – Залежність виходу безводної смоли при коксуванні 1000 кг вологої шихти від виходу летких речовин на суху масу шихти

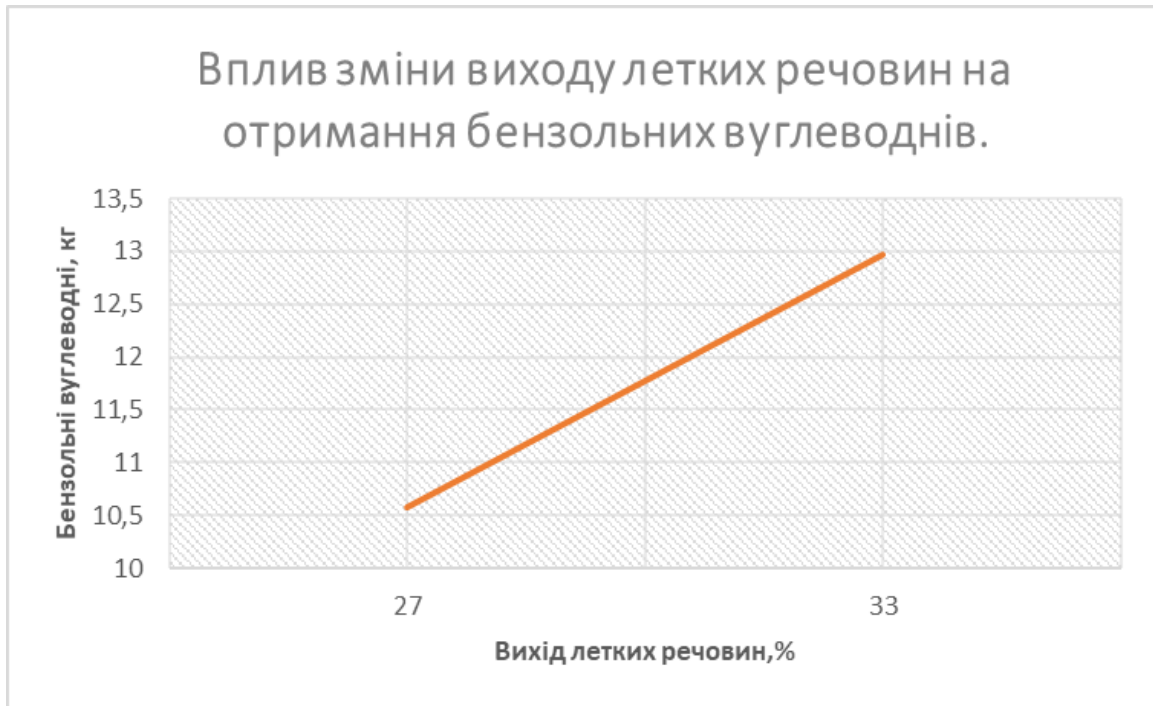


Рисунок 3.24 – Залежність виходу бензольних вуглеводнів при коксуванні 1000 кг вологої шихти від виходу летких речовин на суху масу шихти

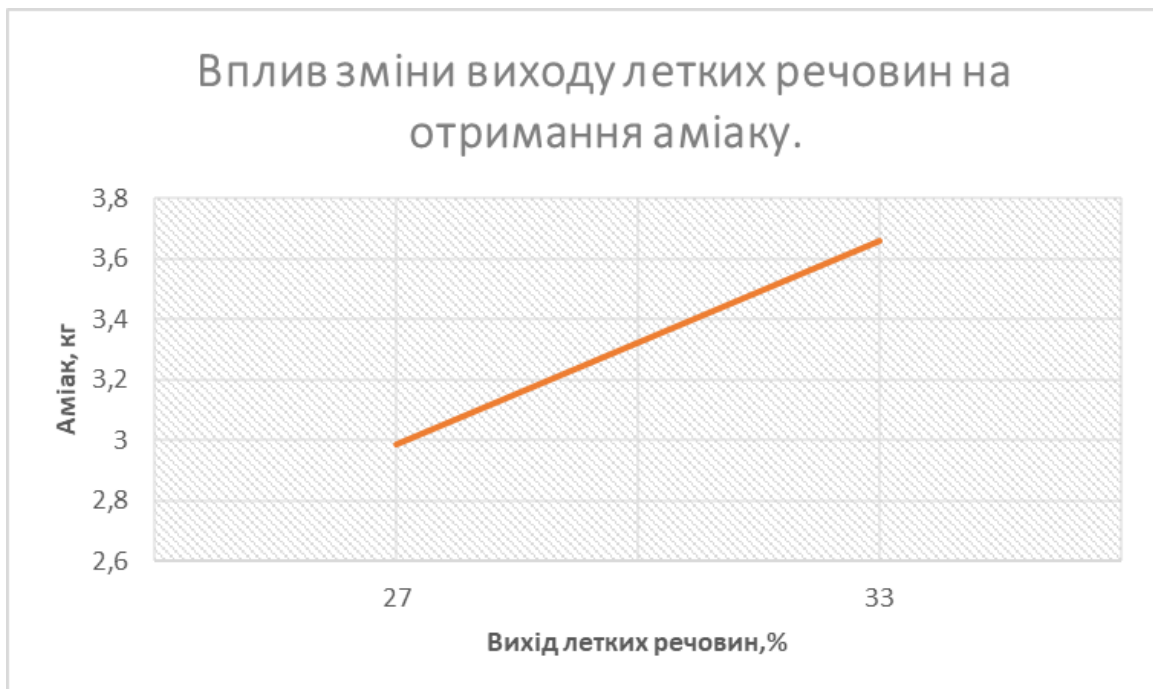


Рисунок 3.25 – Залежність виходу аміаку при коксуванні 1000 кг вологої шихти від виходу летких речовин на суху масу шихти

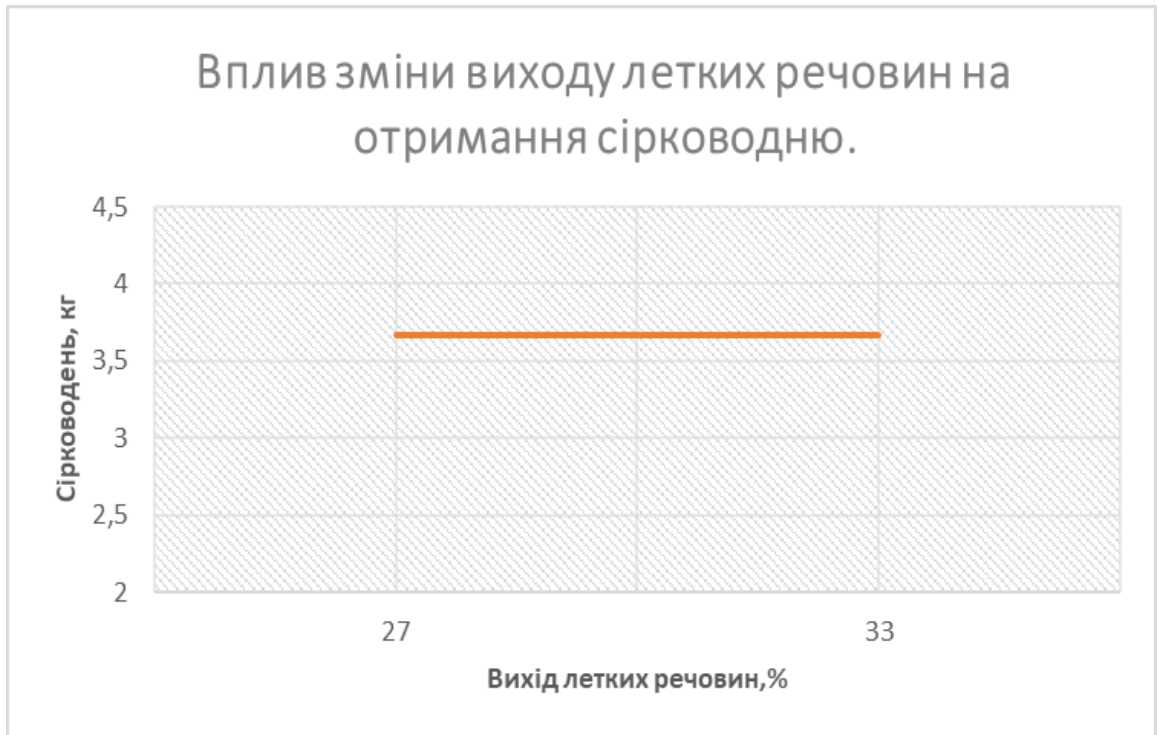


Рисунок 3.26 – Залежність виходу сірководню при коксуванні 1000 кг вологої шихти від виходу летких речовин на суху масу шихти

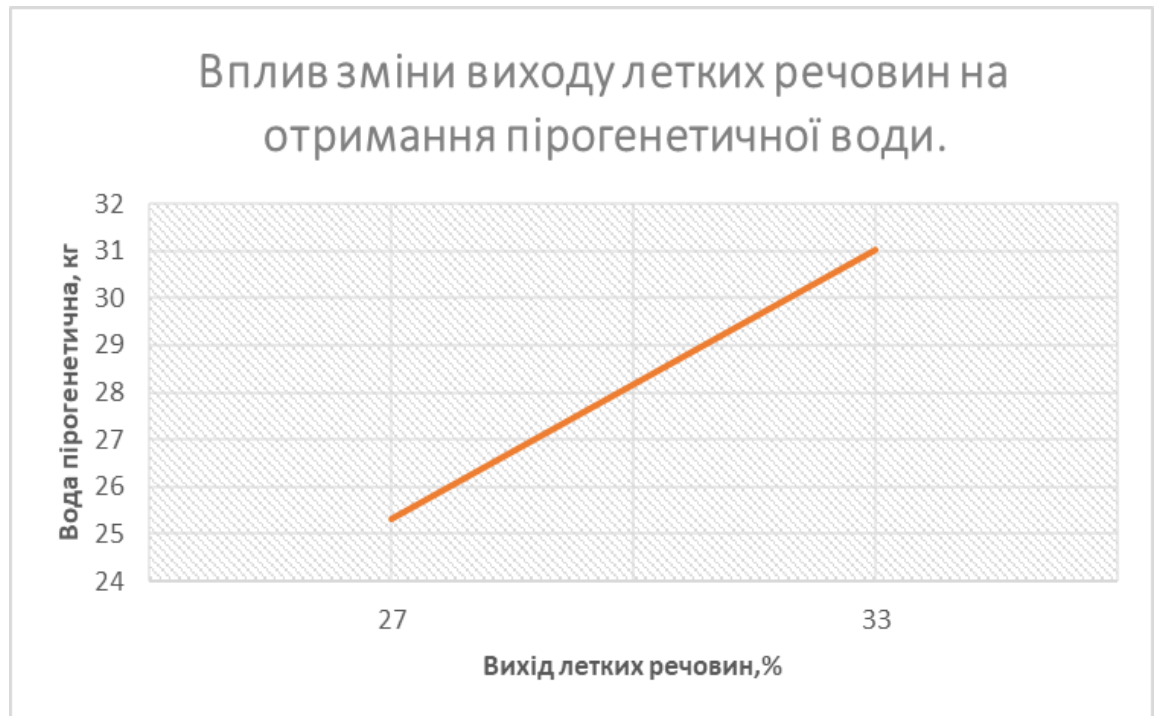


Рисунок 3.27 – Залежність виходу пірогенетичної води при коксуванні 1000 кг вологої шихти від виходу летких речовин на суху масу шихти

3.8 Розробка рекомендацій щодо проведення процесу коксування вугільної шихти в сучасних коксових печах

Як показали результати проведених досліджень, збільшення вологості вугільної шихти з 8 до 12 % призводить до зростання витрати сухого опалювального коксового газу й відповідно питомої теплоти на коксування на 7,6 % і зменшення виходу всіх основних продуктів коксування на 4,4 %. Для промислових підприємств такі наслідки збільшення вологості шихти навіть на 1 % викликають суттєві економічні втрати. Тому необхідно приймати всі необхідні заходи, щоб запобігти збільшенню вологості вугілля, що йде на коксування. Наприклад, побудова на підприємстві закритого складу вугілля замість відкритого дозволить, крім всіх інших переваг, запобігти додатковому збільшенню вологості вугілля при його зберіганні.

Збільшення сірчистості шихти на суху масу з 1,0 до 2,2 % призводить до незначного (0,07 %) зменшення витрати сухого опалювального коксового газу; більше, ніж двократного, на 119,6 % збільшення виходу сірководню; зменшення на 1,3 % виходів сухого коксового газу, смоли, бензольних вуглеводнів, аміаку і пірогенетичної води. Вихід коксу – головного продукту коксування не змінюється, але збільшується його сірчистість, а значить погіршується якість. Отже, збільшення сірчистості вугільної шихти є економічно не вигідним. Треба підбирати для формування вугільних шихт концентрати таких збагачувальних фабрик, продукція яких має мінімальну сірчистість.

Збільшенні виходу летких речовин на суху масу шихти з 27 до 33 % призводить до зростання витрати сухого опалювального коксового газу на 1,2 %, суттєвого зменшення виходу коксу на 6,7 %. Але це частково компенсується збільшенням виходу на 23 % інших продуктів коксування: сухого коксового газу, смоли, бензольних вуглеводнів, аміаку, пірогенетичної води. Тобто, якщо вугільна шихта поточного складу забезпечує за даного режиму коксування отримання якісного коксу з високими механічними властивостями, то треба запобігати змінам її марочного складу або заміні постачальників концентратів

окремих марок на інших, якщо це призводить до збільшення виходу летких речовин з шихти. Такі зміни призведуть до економічних втрат.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота була присвячена дослідженню впливу технологічних факторів на вихід продуктів коксування, витрату опалювального газу та теплотехнічні характеристики коксових печей.

Для проведення дослідження за математичною моделлю процесу коксування в сучасних коксових печах була розроблена програма на мові PascalABC. Був вивчений вплив таких технологічних факторів: збільшення вологості шихти від 8 до 12 %; збільшення сірчистості шихти на суху масу від 1,0 до 2,2 %; збільшення виходу летких речовин на суху масу шихти від 27 до 33 %.

Збільшення вологості робочої шихти з 8 до 12 % призводить до зростання витрати сухого опалювального газу й питомої теплоти на коксування на 7,61 % і зменшення виходу всіх основних продуктів коксування на 4,35 % та не впливає на термічний та теплотехнічний ККД коксових печей.

Збільшення сірчистості робочої шихти на суху масу від 1 до 2,2 % призводить до зменшення витрати сухого опалювального газу й питомої теплоти на коксування на 0,065 % і зменшення виходу всіх основних продуктів коксування на 1,2 % окрім виходу сірководню. Вихід сірководню збільшується дуже суттєво на 120 %.

Збільшення виходу летких речовин на суху масу шихти від 27 до 33 % призводить до збільшення витрати сухого опалювального газу й питомої теплоти на коксування на 1,1 %; зменшення виходу сухого коксу на 6,69 %; збільшення виходу сухого газу, безводної смоли, бензольних вуглеводнів, аміаку та пірогенетичної води на 22,62 %. Вихід сірководню при цьому не змінюється.

Результати дослідження підтвердили, що властивості вугільної шихти мають визначальний вплив на процес коксування, виходи продуктів коксування та їх якість.

Були розроблені рекомендації щодо оптимізації процесу коксування в сучасних коксових печах.

Збільшення вологості шихти навіть на 1 % призводить до суттєвого збільшення економічних втрат. Тому необхідно приймати всі необхідні заходи, щоб запобігти збільшенню вологості вугілля, що йде на коксування.

При збільшенні сірчистості шихти вихід коксу не змінюється, але збільшується його сірчистість, отже погіршується якість. Також зменшуються на 1,1 % при збільшенні сірчистості на 1 % виходи сухого коксового газу, смоли, бензольних вуглеводнів, аміаку й пірогенетичної води. Тобто, збільшення сірчистості вугільної шихти є економічно не вигідним. Треба підбирати для формування вугільних шихт концентрати з мінімальною сірчистістю.

Збільшенні виходу летких речовин з шихти на 1 % призводить до зростання питомої витрати сухого опалювального коксового газу на 0,2 %, суттєвого зменшення виходу цільового продукту – коксу на 1,1 %. Це частково компенсується збільшенням виходу на 3,8 % інших продуктів коксування: сухого коксового газу, смоли, бензольних вуглеводнів, аміаку, пірогенетичної води. Тобто, треба запобігати збільшенню виходу летких речовин з шихти, навіть, якщо це суттєво не впливає на якість коксу.

Результати роботи можуть бути корисними для коксових підприємств, а також для планування та проведення подальших досліджень у цій області.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Справочник коксохимика. В 6-ти томах. Том 2. Производство кокса. – Харьков: Издательский Дом «ИНЖЭК», 2014. – 725 с.
2. Ковальов Е.Т., Шмалько В.М., Шульга И.В., Рыщенко А.И. Формирование свойств кокса. Реакционная способность // Углехимический журнал. – 2006. – № 5 – 6. – С. 13 – 20.
3. Сысков К.И. Теоретические основы оценки и улучшения качества доменного кокса. – М.: Металлургия, 1984. – 184 с.
4. Мучник Д. А. Формирование свойств доменного кокса. - М.: Металлургия, 1983. – 182 с.
5. Мениович Б.И., Пинчук С.И., Дюканов А.Г. Повышение эффективности процесса слоевого коксования. – К.: Техніка, 1985. – 229 с.
6. Гагарин С.Г. Моделирование комплекса свойств угольной шихты для коксования // Кокс и химия. – 2000. – № 10. – С. 4 – 10 .
7. Справочник коксохимика. В 6-ти томах. Том 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию. – Харьков: Издательский Дом «ИНЖЭК», 2010. – 536 с.
8. Дроздник И. Д. Проблемы сырьевой базы коксования заводов Юга страны и пути их решения // Кокс и химия. – 1990. – № 6. – С. 6 – 8.
9. Склад М.Г. Интенсификация коксования и качество кокса. – М.: Металургія, 1976. – 255 с.
10. Гордиенко А.И., Бирченко А.Н., Шевченко А.А. и др. Повышение качества доменного кокса ОАО «Ясиновский КХЗ» путем введения в шихту углеводородных добавок // Углехимический журнал. – 2008. – № 5 – 6. – С. 32 – 37.
11. Бондарчук П.Н., Рыщенко А.И., Телешев Ю.В. и др. Разработка режимных показателей для коксовой батареи // Кокс и химия. – 2005. – № 9. – С. 21 – 28.

12. Збиковський О.І. Матеріальні, теплові та гідравлічні розрахунки коксових печей. – Дніпро: «Середняк Т.К.», 2023. – 248 с.

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ В КОКСОВОМУ ЦЕХУ

Характеристика небезпечних факторів

У коксовому цеху робітники піддаються впливу великої кількості небезпечних факторів. Нижче приведені їх основні види.

1. Висока температура: процес виробництва коксу в батареях коксових печей пов'язаний з дуже високими температурами, що може створювати ризик опіків та перегріву для працівників.

2. Токсичні гази: пари та гази, що утворюються під час коксування, містять токсичні речовини, такі як бензопірен, аміак, сірководень та інші, що можуть становити смертельну небезпеку для здоров'я працівників.

3. Вугільний та коксовий пил, аерозолі: обробка вугільної сировини, коксування, видача, гасіння, сортування, транспортування та завантаження у вагони коксу призводять до утворення вугільного та коксового пилу, аерозолів, які можуть викликати проблеми органів дихання та зору.

4. Звукове забруднення: робота машин і механізмів у коксовому цеху супроводжується високим рівнем шуму, що може викликати порушення слуху у працівників.

5. Викиди газів: процеси виробництва коксу в коксовому цеху можуть призводити до викидів газів, які містять шкідливі речовини, такі як оксиди азоту, діоксид сірки, аміак та інші.

6. Пожежа та вибух: високі температури, наявність вибухонебезпечних газових сумішей та інші умови у коксовому цеху можуть створювати ризик виникнення пожежі та вибухів.

7. Фізичне напруження: тяжка фізична праця, керування важкими та габаритними машинами та механізмами, цілодобова робота у важкій для дихання атмосфері можуть призвести до фізичних травм.

8. Хімічні реагенти: використання хімічних реагентів у процесах виробництва може становити небезпеку в разі неправильного використання чи зберігання.

Розробка охоронних заходів у коксовому цеху

Для викиду надлишку очищеного коксового газу в атмосферу необхідно встановити спеціальний газовідвідний пристрій, який автоматично включається, коли тиск в газопроводі перевищує встановлений. Газовідвідний пристрій (свічка) для коксового газу на газозбірнику має бути оснащений засобами запалювання. Свічка на газозбірнику має бути сконструйована таким чином, щоб забезпечувати тиск у газозбірнику не більше 250 Па й автоматично відкриватися при перевищенні цього тиску. На всіх батареях висота свічки має становити не менше 4 м від зони обслуговування газозбірника.

Щоб уникнути утворення застійних зон, слід забезпечити примусову вентиляцію не менше 10-кратного повітрообміну до й після проведення ремонтних робіт в тунелі коксової батареї з газорозподільним трубопроводом.

Під час подачі газу в систему опалення коксової печі нагрівання коксовим газом повинно здійснюватися послідовно, за допомогою послідовного відкриття запірного клапана на вході, потім зворотний клапан. Під час нагрівання доменним газом, необхідно запустити регенератор, який заповнений продуктами згоряння за групами не більше 10-15 в наступному порядку:

Робочі майданчики на коксовій батареї мають мати огорожу висотою не менше 1 м. Плити, розміщені на майданчику обслуговування, не повинні мати виступів висотою більше 5 мм, пошкоджену плиту слід негайно замінити.

На кінцях колій коксових машин повинен бути передбачений тупик. Рейки коксової машини повинні бути заземлені з обох кінців. При з'єднанні рейок повинні бути забезпечені надійні електричні контакти. Машина коксової печі повинна бути оснащена гальмівним пристроєм для забезпечення надійної фіксації.

Електропроводка в місцях, схильних до впливу вогню, має бути вогнестійкою.

Між коксовиштовхувачем, вуглезавантажувальним вагоном і дверізнімною машиною необхідно забезпечити надійний зв'язок з сигналізацією й блокуванням. Коксові машини мають мати пристрої для запобігання наїзду на людей. Поворотні огорожі та сходи мають блокувати вихід у небезпечних місцях. При відкритих сходах і огорожах має бути виключена можливість включення відповідних механізмів. Платформа кожної коксової машини має мати поручні. Вхід на дах коксових машин має бути закритий запірним пристроєм, який не відкривається без спеціального ключа.

Стінка кабіни дверізнімної машини з боку гасильного вагона, стінка кабіни вуглезавантажувального вагону з боку стояків мають бути теплоізовані. Верх коксової батареї має бути теплоізований та мати рівну поверхню без вибоїн. Стояки коксової батареї мають мати ізолюючий екран, що пофарбований у білий колір.

Тунель коксової печі повинен бути обладнаний металевою віконною рамою або фрамугою, що легко відкривається.

Забезпечення безпеки та дотримання вимог стандартів безпеки є важливими аспектами для мінімізації ризиків у коксовому цеху. Слід використовувати відповідний захисний одяг та обладнання, а також проводити регулярні навчання та перевірки знань правил техніки безпеки для працівників.

Розрахунок перегородки для захисту від виробничого шуму

Розрахуємо перегородку з шаром звукопоглинального матеріалу (ЗПМ).

Вихідні дані:

- товщина залізобетонної перегородки 100 мм;
- товщина шару ЗПМ із супертонкого скловолокна 80 мм.

Розрахунок проведемо у восьми октавних смугах частот. Загальна звукоізоляція перегородки з шаром звукопоглинального матеріалу (ЗПМ) R_c визначається за формулою:

$$R_c = R + \Delta R,$$

де R – звукоізоляція перегородки (обирається в залежності від матеріалу перегородки);

ΔR – додаткова звукоізоляція за рахунок шару ЗПМ (дБ) визначається за формулою:

$$\Delta R = 8,7\beta \cdot \delta + 20\lg[(m_n + m_{пс})/m_n],$$

де β – коефіцієнт затухання, 1/м,

δ – товщина шару ЗПМ, м;

m_n – поверхнева густина матеріалу перегородки, кг/м²;

$m_{пс}$ – поверхнева густина шару ЗПМ, кг/м² знаходиться за формулою:

$$m_{пс} = \rho \cdot \delta,$$

де ρ – об'ємна густина ЗПМ ($\rho = 20$ кг/м³).

Розрахунок

$$m_{пс} = 20 \cdot 80 = 1600$$

$$1) \Delta R = 8,7 \cdot 3 \cdot 80 + 20\lg[(250 + 1600)/250] = 2105$$

$$2) \Delta R = 8,7 \cdot 5 \cdot 80 + 20\lg[(250 + 1600)/250] = 3497$$

$$3) \Delta R = 8,7 \cdot 6 \cdot 80 + 20\lg[(250 + 1600)/250] = 4193$$

$$4) \Delta R = 8,7 \cdot 9 \cdot 80 + 20\lg[(250 + 1600)/250] = 6281$$

$$5) \Delta R = 8,7 \cdot 14 \cdot 80 + 20\lg[(250 + 1600)/250] = 9761$$

$$6) \Delta R = 8,7 \cdot 24 \cdot 80 + 20\lg[(250 + 1600)/250] = 16721$$

$$7) \Delta R = 8,7 \cdot 34 \cdot 80 + 20 \lg[(250 + 1600)/250] = 23681$$

$$8) \Delta R = 8,7 \cdot 45 \cdot 80 + 20 \lg[(250 + 1600)/250] = 31337$$

$$1) R_c = 38 + 2105 = 2143$$

$$2) R_c = 38 + 3497 = 3535$$

$$3) R_c = 38 + 4193 = 4231$$

$$4) R_c = 44 + 6281 = 6325$$

$$5) R_c = 50 + 9761 = 9811$$

$$6) R_c = 58 + 16721 = 16779$$

$$7) R_c = 60 + 23681 = 23741$$

$$8) R_c = 60 + 31337 = 31397$$