

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Хімічних технологій та інженерії

(підпис) доцент, к.т.н.
Шмельцер К.О.
(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)
« 15 » листопада 2026 року

ЗАВДАННЯ

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ
ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Алексєєнко Валентину Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра Прогнозування виходів коксу і основних хімічних продуктів коксування при використанні дослідної установки «Карботест»

керівник кваліфікаційної роботи магістра Кормер Марина Віталіївна, к.х.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу №718-ст від «20» жовтня 2025 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 15.01.2026
р.

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра Техніко-економічні показники роботи вуглепідготовчого цеху КХВ ПАТ «АМКР»

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

4.1 Аналітична частина: Аналіз залежності виходу продуктів коксування від зольності та виходу летючих речовин. Вплив петрографічних характеристик вугільної шихти на вихід коксу і хімічних продуктів коксування. Дослідження залежності виходу коксу та хімічних продуктів коксування від елементного складу вугільної сировини

4.2 Основна частина: Розробка кількісних залежностей прогнозування виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування на дослідній установці «Карботест». Конструкція і принцип роботи установки «Карботест». Отримання даних прогнозування виходу продуктів коксування і їх кількісних залежностей. Розрахунок економічної ефективності дослідницьких рішень

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Завданням графічний матеріал не передбачений

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Кормер М.В., доцент		
2 Основна частина	Кормер М.В., доцент		

7. Дата видачі завдання «15» листопада 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	1.12.2025	
2.	Основна частина	19.12.2025	
3.	Оформлення пояснювальної записки	26.12.2025	
4.	Подання роботи до кафедри	15.01.2026	
5.	Захист роботи в ЕК	20.01.2026	

Здобувач

(підпис)

_____ Алексєєнко В.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

_____ Кормер М.В.

(прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Алексєєнко В.А. Прогнозування виходів коксу і основних хімічних продуктів коксування при використанні дослідної установки «Карботест». – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню впливу петрографічних характеристик вугільної сировини на якість та вихід продуктів коксування та можливості використання установки «Карботест» для прогнозування виходів коксу та хімічних продуктів на коксохімічному виробництві.

В роботі представлено аналітичний огляд літературних джерел та аналіз моделей прогнозування виходу коксу та хімічних продуктів коксування в залежності від властивостей вугільної сировини.

Показано, що обов'язковим є формування вугільної суміші з урахуванням мацєрального складу, показника відбиття вітриніту та розподілу вітринітової складової за стадіями метаморфізму, оптимального співвідношення між спікливими (ΣSK) і опіснюючими компонентами (ΣOK).

В якості вугілля для дослідження було використано вугілля, яке входить у сировинну базу коксохімічного виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». В результаті проведення коксування в дослідній установці «Карботест», були отримані такі продукти коксування: кокс, смола, пірогенетична, аміак, CO_2 , H_2S , бензол, коксовий газ.

Використання установки «Карботест» дозволяє провести тест коксування в умовах, які наближені до промислових. Установа управляється запрограмованою системою SIMATIC, що працює спільно з комп'ютером, що дозволяє здійснювати спостереження за ходом процесу коксування в реальному часі, а також архівацію даних всіх здійснених випробувальних циклів коксування залежно від петрографічних показників якості виробничих шихт.

Прогнозуючі рівняння враховують конструктивні особливості діючих на заводі коксових батарей, а також особливості технології підготовки вугілля до коксування. Це у свою чергу дозволить оптимізувати склад вугільної шихти й спосіб підготовки вугілля, які дозволять досягти максимального виходу коксу й хімічних продуктів коксування.

Отримані кількісні залежності рівнянь регресії виходів продуктів коксування. Тісний зв'язок з високими коефіцієнтами кореляції від 0,7 до 0,9 відзначені для таких пар, які мають зворотну залежність: кокс-смола, кокс-пірогенетична вода, кокс-газ, кокс-відбиття вітриніту, вода-відбиття вітриніту, пірогенетична вода – відбиття вітриніту. Тісний зв'язок з високими коефіцієнтами кореляції від 0,7 до 0,9 відзначені для таких пар, які мають пряму залежність: смола – відбиття вітриніту, смола – вода, смола – відбиття вітриніту, смола – бензол, бензол – відбиття вітриніту, пірогенетична вода – вода.

Статистична оцінка адекватності рівнянь залежності для прогнозу виходу для продуктів коксування показала високі коефіцієнти кореляції від 0,648 до 0,998 і коефіцієнти детермінації від 41,99 до 99,60 %; стандартна похибка розрахунку при прогнозуванні виходу коксу складає 0,019 %, смоли – 0,016 %, сирого бензолу – 0,015 %, пірогенетичної вологи – 0,456 %.

В кваліфікаційній роботі доведено, що використання дослідницької установки «Карботест» дозволяє оптимізувати склад виробничих шихт та досягти збільшення виходу смоли, бензолу, аміаку, що обумовлює економічний ефект 264484550 грн.

Ключові слова: продукти коксування, петрографічний склад вугілля, елементний склад, рівняння регресії, дослідницька установка «Карботест».

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Залежність виходу продуктів коксування від зольності та виходу летючих речовин	10
1.2 Вплив петрографічних характеристик вугільної шихти на вихід коксу і хімічних продуктів коксування	18
1.3 Залежність виходу коксу та хімічних продуктів коксування від елементного складу вугілля	30
1.4 Висновки до аналітичної частини	43
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	46
2.1 Розробка кількісних залежностей прогнозування виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування на дослідній установці «Карботест»	46
2.1.1 Конструкція і принцип роботи установки «Карботест»	46
2.1.2 Характеристика вихідного вугілля та дослідних шихт	51
2.1.3 Отримання даних прогнозування виходу продуктів коксування і їх кількісних залежностей	54
2.2 Економічна ефективність дослідницьких рішень	58
2.3 Висновки до основної частини	67
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТКИ	76

ВСТУП

У сучасних умовах до числа найбільш гострих для коксохімічної промисловості проблем відносяться погіршення якості сировинної бази коксування і дефіцит коксівного вугілля. У сформованих умовах стає вельми актуальним наукові дослідження, спрямовані на прогнозування виходу коксу, та хімічних продуктів коксування.

Сучасна сировинна база коксування характеризується нестабільністю і різномірністю за якістю, що в сукупності з нерівномірністю постачання вугілля має великий вплив на вихід і якість хімічних продуктів коксування (коксу, кам'яновугільної смоли, сирого бензолу та ін.). В умовах підвищеного вмісту петрографічно неоднорідного вугілля у вугільних шихт прогноз виходу коксу та основних хімічних продуктів коксування тільки за величиною виходу летких речовин стає важким.

Вихід одних і тих же продуктів коксування розрізняється навіть при однаковому виході летючих речовин. Тому для прогнозу виходу продуктів коксування також необхідно застосовувати дані петрографічного, та елементного складу вугілля, що входять в шихту.

На українських коксохімічних виробництвах наразі загострена проблема поставки вугілля, через що марочний склад шихт постійно змінюється. І так як властивості отриманого коксу у більшості залежать від вихідної вугільної сировини, необхідно розглядати та підбирати параметри підготовки вугільних шихт та покращувати методи прогнозування якості задля отримання якісного коксу.

Прогнозування виходу та якості (M_{25} , M_{10} , CRI, CSR) доменного коксу, а також супутніх основних хімічних продуктів коксування (смоли, сирого бензолу, пірогенетичної вологи, сірководню, аміаку, коксового газу) – важливий захід при плануванні роботи коксохімічного виробництва багато в чому визначає його техніко-економічні показники.

Враховуючи викладене, доцільним є більш глибоко вивчити природу виходу основних продуктів коксування з вугілля різних родовищ, яке має різний елементний і петрографічний склад.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Залежність виходу продуктів коксування від зольності та виходу летючих речовин

Величина валового виходу сухого коксу з сухої шихти є важливою характеристикою, що впливає на показники роботи коксового цеху в цілому. При виробництві коксу основна частина витрат припадає на вартість вугілля, тому природно прагнення виробників до збільшення виходу коксу, який безпосередньо визначає величину питомої витрати вугілля на коксування. Зміна цього показника навіть на невелику величину призводить до економії або перевитрати вугілля.

Основні технологічні фактори, які впливають на вихід коксу, - це властивості вугільної шихти, підготовка її до коксування і режим процесу коксування.

Так, склад шихти визначає вихід з неї летких речовин і її технологічні властивості, тому бажано мати шихту з найменшими коливаннями по виходу летких речовин, спікливості. Встановлено, що у прийнятих звичайних умовах високотемпературного коксування збільшення виходу летких речовин шихти на 1% призводить до зниження виходу коксу на 0,5-0,6 %, а при V^{daf} 35-36 % практичні значення виходу коксу можуть відрізнятися від розрахункових показників на 3,5-4 % і більше [1].

Швидкість коксування і кінцева температура поряд з властивостями шихти впливають на додатковий вихід коксу (так званий «припік коксу»). При цьому оцінити, який саме фактор більшою мірою впливає на величину «припіку» важко. Виходячи з багаторічного досвіду роботи коксових заводів відомо, що фактичний вихід валового коксу відрізняється від розрахункового.

Скляр М.М вважав, що «припік» коксу обумовлений в основному незіставністю швидкостей тигельного лабораторного і промислового коксування, а не тільки додатковим крекінгом летких продуктів коксування як вважали багато дослідників. Вплив летких продуктів крекінгу залежить від часу перебування їх в зоні високих температур, а це час тим вище, чим менше вихід летких речовин. Проте відомо, що «припік» коксу тим вище, ніж більше вихід летких речовин. Для коксового вугілля за даними Баркінга і Еймана, «припік» коксу складає 2,7 %, а для газового вугілля 5,0 % [2]. За даними ж Гаармана, «припік» коксу прямопропорційний виходу летких речовин і становить 0,8% на кожен відсоток летких речовин >10%. Б. В. Кушовим та В. А. Копеловичем [3]. У виробничих умовах були отримані наступні дані: «припік» коксу при періоді коксування 15 год і 45 хв становить 3,3 %, а за період коксування 14 годин 30 хвилин 3%, що узгоджується з висновками В. І. Касаточкина, показав, що збільшення швидкості нагріву від 3 до 1000 С/хв призводить до підвищеної деструкції, що виражається в зниженні виходу твердого залишку. Це також узгоджується з тим, що в динасових печах, в яких швидкість значно вище, ніж у шамотних, величина «припіку» менше. Так, величина «припіку» при коксуванні в динасових печах становить 5 %, при коксуванні ж в шамотних печах доходить до 7 %.

Таким чином, при форсованому режимі роботи печей величина «припіку» повинна бути нижче, ніж при нормальному режимі. Виходячи з літературних даних величина «припіку» змінюється від 1 до 10 %.

Роботи Н.П. Аксеніна і М. Р. Скляра довела, що ефект збільшення виходу коксу «припік» при зниженні темпу нагріву проявляється тим сильніше, чим більше вихід летких речовин [4]. На це вказували й інші дослідники у своїх більш ранніх роботах. Так С. М. Григор'єв показав, що «припік» коксу у виробничих умовах при коксуванні вугілля з виходом летких речовин ≤ 20 % рівній нулю, а при виході летких речовин 40 % досягає 5 %. Таким чином, розрахунок виходу з урахуванням «припіку» коксу може дати значні розбіжності у виробничому виході коксу.

Так, якщо залежність між виходом летючих речовин і виходом коксу чітко проявляється при виробництві коксу з петрографічно однорідного вугілля різних басейнів (до того ж петрографічно неоднорідних), таку залежність встановити важко. Адже вугілля навіть одного і того ж басейну, якими, наприклад, є газове вугілля основного Донбасу і Західного, розрізняються за своїми технологічними властивостями. Вони мають різну твердість, дробимість, вологоємність, а як було встановлено виконаними раніше в ДП «УХН» дослідженнями, введення в шихту газового вугілля Західного Донбасу призводить до зниження виходу коксу і збільшення виходу хімічних продуктів коксування [5].

У Румунії був виконаний огляд відомих способів розрахунку виходу коксу, а також експериментальні дослідження у дослідній печі об'ємом $0,3 \text{ м}^3$ і в промисловій пічній камері об'ємом $41,6 \text{ м}^3$ для вивчення залежності виходу сухого валового коксу від виходу летких із сухої шихти і виходу металургійного коксу від зольності сухої шихти [6].

Необхідно зазначити, що розрахунок виходу коксу за формулами відрізняється від фактичного, виробничого за тієї причини, що у формулах не відображаються всілякі викривлення, які спостерігаються на практиці, тобто формули розраховані на ідеальне ведення технологічного процесу. Приміром неякісного визначення виходу летких речовин, невідповідність марочної приналежності вугілля, що надходять, це спостерігається на практиці досить часто, ступінь заграфічення стін камер коксування, зношеність пічного фонду, коливання в періодах коксування, насипної маси вугільного завантаження, часті перешихтовки, «забурювання» печей, неточний облік і контроль вугілля та ін. обов'язково призведуть до спотворення виходу коксу.

Для розрахунку виходу валового коксу $V_{\text{к.в}}$ (%) використовують відоме рівняння:

$$V_{к.в} = [(100 - V_{ш}^d)/(100 - V_{ш}^d)](100 + \Pi_{к}), \quad (1.1)$$

де $V_{ш}^d$ і $V_{к}^d$ - вихід летючих речовин на суху масу шихти і коксу;

$\Pi_{к}$ - «припік» коксу, який обумовлений утворенням твердого вуглецю в результаті часткового піролізу газоподібних вуглеводнів в процесі коксування шихти.

Для розрахунку $\Pi_{к}$ запропоновані декілька рівнянь:

$$\Pi_{к} = 47,1 - 0,58[(100 - V_{ш}^d)/(100 - V_{к}^d)] \cdot 100 \quad (1.2)$$

$$\Pi_{к} = -3 + 0,25V_{ш}^d \quad (1.3)$$

Для розрахунку виходу сухого валового коксу від сухої шихти (з урахуванням «припіку») використовують наступні рівняння [6]:

$$V_{к.в} = 96,74 - 0,755 V_{ш}^d \text{ (Ласк і Сандхофер, ФРГ)}, \quad (1.6)$$

$$V_{к.в} = 98,182 - 0,761 V_{ш}^d \text{ (Грей, США)}, \quad (1.7)$$

$$V_{к.в} = 96,1 - 0,75 V_{ш}^d \text{ (Калькотт, Австралія)}, \quad (1.8)$$

$$V_{к.в} = 94,92 - 0,84 V_{ш}^d + 7,77H_{к}^{daf} \text{ (Аксенін, СРСР)}, \quad (1.9)$$

$$V_{к.в} = 103,19 - 0,75V_{ш}^d - 0,0067t_{к} \text{ (Японія)}, \quad (1.10)$$

де $H_{к}^{daf}$ - вміст водню в коксі, %;

$t_{к}$ - кінцева температура коксування, °С.

Більші або менші значення P_k і $V_{к.в}$, розраховані за наведеними рівняннями для одних і тих же значень $V_{ш}^d$, пояснюють розходженням умов коксування таких як об'єм камери, насипна щільність шихти, швидкість, кінцева температура коксування та ін. [7].

При коксуванні в пічної камері об'ємом $0,3 \text{ м}^3$ вугілля і шихт різного складу з виходом летких речовин на суху масу від 15 до 35 % вихід сухого валового коксу становив відповідно від 80 до 60 %, причому залежність $V_{к.в}$ від $V_{ш}^d$ може бути апроксимирована рівнянням прямої:

$$V_{к.в} = 92 - 0,80 V_{ш}^d \quad (1.11)$$

Завдяки введенню в шихту неорганічних добавок (глина, FeCO_3 , NaHCO_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$) змінили її зольність від 5 до 18 % і визначали вплив цього фактора на вихід металургійного коксу $V_{к.в}$ від сухої шихти. Представлена графічна залежність апроксимується рівнянням прямої [6]:

$$V_{к.в} = 85,9 - 2,8 A_{ш}^{daf} \quad (1.12)$$

З аналізу рівнянь 1.11 і 1.12 випливає, що збільшення в інтервалі досліджених значень показника $V_{ш}^d$ на 1 % зумовлює зниження виходу валового коксу від маси сухої шихти на 0,8 %, а збільшення показника $A_{ш}^{daf}$ на 1 % викликає зниження виходу металургійного коксу від маси сухої шихти в досліджуваному інтервалі її варіювання змінюється (знижується) по кривій, причому при $A_{ш}^{daf} > 8 \%$, відбувається її круте падіння від $V_{к.м} = 95 \div 92 \%$ при $A_{ш}^{daf} = 5 \div 8 \%$ до 62-65 % при $A_{ш}^{daf} \geq 16 \%$.

В промисловій коксовій печі об'ємом $41,6 \text{ м}^3$, коксування шихти $V_{ш}^d = 28 \div 30,5 \%$ при $A_{ш}^{daf} = 8,6 \div 9,9 \%$. В цій серії дослідів вихід сухого валового коксу змінився від 81,3 до 79,3 %, причому графічна залежність показників $V_{к.в}$ і $V_{ш}^{daf}$ апроксимується рівнянням прямої:

$$V_{к.в} = 104,2 - 0,84 V_{ш}^d. \quad (1.13)$$

А вихід металургійного коксу від валового в досліджуваному інтервалі варіювання зольності шихти знизився з 89,7 до 85,3 %.

Графічна залежність $V_{к.в}$ від $A_{ш}^{daf}$ апроксимується рівнянням прямої:

$$V_{к.в} = 118,8 - 3,38 A_{ш}^d. \quad (1.14)$$

Результати дослідів достатньо добре кореспондуються з результатами дослідів [8] в дослідній печі і відображають негативний вплив збільшення показників $V_{ш}^d$ і $A_{ш}^{daf}$ на вихід валового і металургійного коксу, відносна близькість коефіцієнтів при показниках $V_{ш}^d$ в рівняннях (1.11) і (1.13). Ця близькість свідчить про подібність умов прогріву засипу і коксоутворення в дослідних і промислових камерах коксування [6].

Для зіставлення виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування (смоли, бензолу, прямого коксового газу), як зазначено в таблиці 1.1, обчислених за наведеним рівнянням, обрані наступні значення якості шихти і коксу і технологічних параметрів: вихід летких речовин з шихти на суху беззольну масу $V_{ш}^d = 26 \div 30$ % (при зольності шихти 8,4 %); вихід летких речовин з коксу на суху масу $V_{к}^d = 1$ %; кінцева температура коксування по осі коксового пирога $t_k = 1050$ °С; середня температура в контрольних опалювальних каналах $t_{об} = 1300$ °С.

Аналізуючи дані таблиці 1.1, слід зазначити, що різниця між максимальним і мінімальним значеннями виходу коксу при виході летких речовин $V_{ш}^d$ в інтервалі 26 – 30 % коливається від 3,71 до 5,92 % вихід смоли від 2,55 до 2,82 % сирого бензолу від 0,80 до 0,85 %, прямого коксового газу від 3,29 до 3,65 %.

Таблиця 1.1

Розрахункові значення виходу коксу та основних продуктів коксування

Рівняння	Вихід летючих речовин				
	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6
Вихід коксу					
2.14	78,33	77,70	77,06	76,43	75,79
2.15	79,84	79,42	79,00	78,58	78,16
2.16	78,57	78,14	77,72	77,29	76,87
2.20	76,13	75,43	74,74	74,04	73,34
2.21	76,66	75,91	75,16	74,41	73,66
2.17	77,92	76,97	76,01	75,04	74,07
2.18	77,64	76,98	75,71	74,73	73,75
2.19	76,21	75,22	74,23	73,24	72,24
Min	76,13	75,22	74,23	73,24	72,24
Max	79,84	79,42	79,00	78,58	78,16
Δ	3,71	4,20	4,77	5,34	5,92
Вихід бензолу					
2.23	1,05	1,11	1,17	1,22	1,27
2.25	0,64	0,69	0,75	0,80	0,84
2.28	0,67	0,68	0,73	0,73	0,76
2.31	1,20	1,23	1,26	1,30	1,35
2.34	0,89	0,91	0,93	0,96	1,00
2.27	1,44	1,47	1,51	1,56	1,62

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6
Min	0,64	0,68	0,70	0,73	0,76
Max	1,44	1,47	1,51	1,56	1,62
Δ	0,80	0,79	0,81	0,83	0,85
Вихід смоли					
2.22	5,47	5,75	5,98	6,16	6,30
2.24,2.30	2,96	3,02	3,23	3,40	3,59
2.33	2,92	3,04	3,18	3,35	3,53
2.27, 2.36	3,30	3,44	3,60	3,78	3,99
Min	2,92	3,04	3,18	3,35	3,53
Max	5,47	5,75	5,98	6,16	6,30
Δ	2,55	2,70	2,80	2,82	2,77
Вихід газу					
2.26	13,14	13,52	13,90	14,26	14,63
2.29	14,28	14,55	14,82	15,08	15,34
2.32	15,25	15,69	16,12	16,55	16,97
2.36	14,34	14,76	15,16	15,56	15,96
2.38	16,43	16,91	17,37	17,83	18,28
Min	13,14	13,52	13,90	14,26	14,63
Max	16,43	16,91	17,37	17,83	18,28
Δ	3,29	3,39	3,48	3,57	3,65

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8]

В цілому, за результатами даного дослідження можна зробити наступні основні висновки: в умовах міжбасейнової вугільної сировинної бази коксування використання для прогнозу виходу основних продуктів коксування єдиного параметра – виходу летких речовин – недостатньо, так як останній не в повній мірі враховує особливості речовинного складу і властивостей окремих складових органічної маси вугілля [8].

Підвищений вміст петрографічно неоднорідних компонентів в сучасних вугільних шихт, а також при введенні до їх складу окисленого вугілля або органічних добавок стає важко прогнозувати вихід коксу і основних продуктів коксування тільки за величиною виходу летких речовин.

Для прогнозу виходу хімічних продуктів коксування найбільш доцільно використовувати результати елементного і петрографічного аналізів вугілля (вугільних шихт), причому дані елементного складу вугільних шихт слід застосовувати в першу чергу за участю у вугільних шихт окисленого вугілля або органічних добавок [8].

1.2 Вплив петрографічних характеристик вугільної шихти на вихід коксу і хімічних продуктів коксування

В умовах залучення та використання для коксування імпоротної вугільної сировини, що відрізняється за технологічними властивостями, петрографічними характеристиками, надходить з різних країн, басейнів та континентів, складання вугільної шихти з урахуванням марок вугілля не відображає фактичного складу суміші та її характеристик, не повною мірою враховує особливості речовинного складу та властивостей окремих складових органічної маси вугілля. Класифікація вугілля далекого зарубіжжя та його об'єднання у класи та групи [6] відрізняється від прийнятої класифікації за марками згідно з ДСТУ 3472-96 [7].

Важливим моментом, який зумовлює необхідність урахування петрографічних характеристик при складанні шихт, є те, що збагачувальні фабрики України здебільшого не мають постійної вугільної сировинної бази. В результаті змушені збагачувати вугілля двох і більше марок, що призводить до взаємного засмічення та зниження технологічної цінності одержуваного концентрату [8]. У зв'язку з цим задекларована марка концентратів часто не відповідає дійсності, що ускладнює отримання коксу планованої якості.

Важливість використання петрографічних характеристик вугілля для визначення їх цінності на світовому ринку показана японськими дослідниками ще на початку 80-х років [6, 9].

Петрографічні характеристики вугілля використовуються для оцінки їхньої поведінки та формування нових структур при термічній переробці [8, 10], а також для прогнозування якості коксу з їх урахуванням.

Органічна маса вугілля складається з трьох груп її складових, які розпізнаються під мікроскопом, – мацералів. Вони ідентифікуються за елементним складом, рельєфом, кольором, структурою, відбивною здатністю, технологічними властивостями і спікливості, як мацерали групи вітриніту, ліптиніту (або екзиніту) і інертиніту. Вважається, що вони утворені з різних рослинних залишків. Вітриніт утворився із целюлози та лігніну, ліптиніт – із смол, восків, кутикул, спор, водоростей [8]. Вітриніт є найбільш поширеною групою кам'яного вугілля, і його відбивна здатність зазвичай менша, ніж у інертиніту, але вище, ніж у ліптиніту [6, 8]. Інертиніт характеризується найвищою відбивною здатністю, яка значно варіюється для різного вугілля, і характеризується найвищим вмістом вуглецю в основному в ароматичній формі. Як правило, мацерали групи інертиніту залишаються інертними при карбонізації, за винятком інертиніту деякого австралійського вугілля [4].

У роботі [11] зазначено, що інтенсивність газифікації коксу вуглекислим газом за високої температури під час доменної плавки (понад 800 °C) залежить від особливостей його структури. Так, кокс із ізотропною мікротекстурою реагує легше, ніж з анізотропною мікротекстурою. Причому формування анізотропної мікроструктури обумовлено наявністю носіїв спікливої здатності вугілля – мацералів групи вітриніту і ліптиніту, а інертиніт, що не спікається, зумовлює утворення ізотропної мікроструктури.

На рис. 2.1 показана залежність індексу гарячої міцності коксу CSR від ступеня метаморфізму вугілля, що кількісно характеризується показником відбиття вітриніту R_0 [12].

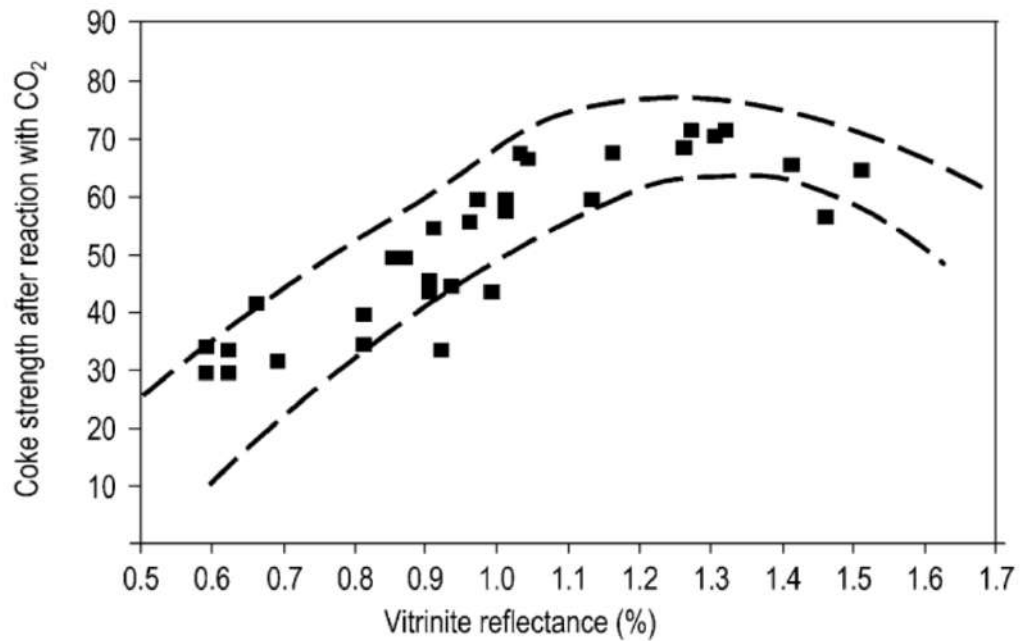


Рис. 1.1. Залежність міцності коксу після реакції з CO₂ (CSR) від показника відбиття вітриніту R₀

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]

Так, мінімальні значення CSR характерні для низькометаморфізованого вугілля, а максимум досягається в області вугілля середньої стадії метаморфізму ($1,1 \geq R_0 \leq 1,3$), що пояснюється відмінністю структури вугілля залежно від ступеня вуглефікації [4, 12,13].

У роботах [14, 15] показано, що більш високий вміст інертиніту у вихідному вугіллі може збільшувати реакційну здатність і знижувати післяреакційну міцність у коксу, що утворюється, причому цей вплив проявляється більшою мірою для вугілля середніх стадій метаморфізму, ніж низькометаморфізованих.

Автори [16] проаналізували кінетичні характеристики реакційноздатних текстур коксу і показали, що для досить точного прогнозу реакційної здатності CRI необхідно враховувати чотири найбільш активні типи текстури коксу в реакції з CO₂: ізотропну (з вітриніту і інертиніту), дрібно-і середньомозаїчну (зернисту), анізотропну (з вітриніту). Для отримання коксу з після-

реакційною міцністю $CSR = 65-70\%$ необхідно, щоб у текстурі коксу переважали анізотропні структури, що досягається при введенні в шихту вугілля, яке містить не менше 50% вітриніту з показником відбиття від 1,0 до 1,6%.

У статті [17] наводять дані, що свідчать, що реакційна здатність коксу з вугільної фракції, збагаченої інертинітом (кокс з інертиніту), вище, ніж для коксу з фракції збагаченої вітринітом (кокс з вітриніту). Це, мабуть, пов'язане з площею поверхні мікропор, яка збільшується при збільшенні вмісту у вугіллі мацералів групи інертиніту. Ступінь упорядкованості вуглецевої структури коксу залежить від мацерального складу та марки вихідного вугілля. Так, кокс із вітриніту має більш високий ступінь упорядкованості вуглецевої структури L_c , ніж кокс, отриманий з інертиніту.

Таким чином, металургійний кокс слід розглядати як композитний матеріал, міцність та реакційна здатність якого залежать від вмісту ізотропного вуглецю, форми та розмірів інертних анізотропних вуглецевих одиниць, а також пористості та хімічного складу мінеральної складової [4].

В роботі [18] встановлено, що для вугілля, що має різний хімічний склад, пластичні властивості та географічне походження, ступінь анізотропії коксу, який оцінюється за індексом оптичної текстури (ОТІ), явно збільшується зі зростанням ступеня вуглефікації вугілля. Встановлено причинно-наслідковий зв'язок між оптичною текстурою та індексом реактивності (CRI) та міцністю після реакції (CSR) коксів, який показує безперервне погіршення якості коксу за показниками CRI та CSR при зниженні ОТІ.

Автори [19, 20] на підставі експериментальних даних повідомляють, що менший ступінь упорядкованості, характерний для ізотропної та мозаїчної структур коксу, однозначно характеризується зниженням якості коксу, що супроводжується підвищенням реакційної здатності та зменшенням післяреакційної міцності.

Обов'язковим є формування вугільної суміші з урахуванням мацерального складу, показника відбиття вітриніту та розподілу вітринітової складової за стадіями метаморфізму, оптимального співвідношення між спікливими

(Σ СК) і опіснюючими компонентами (Σ ОК). При прогнозуванні виходу та властивостей коксу, береться до уваги, що мацерали групи вітриніту, ліптиніту та 1/3 семівітриніту становлять суму реакційно-здатних, спікливих компонентів, а весь інертиніт та 2/3 семівітриніту надають опіснюючий вплив на систему в цілому [10, 21, 22]. У період на 2009 рік єдиним методом, який дозволяє визначити справжній хімічний потенціал вугілля та їх сумішей, є лабораторний метод визначення виходу хімічних продуктів коксування. Метод застосовується для кам'яного вугілля і їх сумішей і дає можливість визначити вихід коксу, смоли, сирого бензолу, пірогенетичної вологи, коксового газу, H_2S , NH_3 і CO_2 при нагріванні без доступу повітря до температури 900°C .

У роботі [7] був визначений хімічний потенціал вугілля Донецького і Львівсько-Волинського басейнів і деяких проб Закавказького родовища. Досліджувалися вугілля всього метаморфічного ряду від марки ДГ до марки Т.

В даний час в сировинну базу заводів України входять крім вугілля Донбасу, вгіулля Печорського, Кузнецького і Південно-Якутського басейнів (Росія), а також вугілля США, Австралії та Канади. Зазначені вугілля різко розрізняються за складом, будовою та властивостями.

В роботі [9] зазначається, що деякі кузнецькі вугілля, які мають однаковий вихід летких речовин утворюють різну кількість хімічних продуктів коксування, деякі вугілля мають різний вихід летких речовин. Це пояснюється їх різним петрографічним складом і, зокрема, наявністю тої або іншої кількості мацералів групи інертиніту, які характеризуються зниженим виходом летких речовин ($V^{\text{daf}} < 15\%$), причому вихід летких речовин з цієї групи мацералів практично не залежить від стадії метаморфізму. При цьому мацерали групи інертиніту при термічній деструкції не утворюють конденсуючі вуглеводневі продукти (смоли, бензолу і т. д.).

Вихід смоли $V_{\text{см}}$ і сирого бензолу V_6 , знаходять по формулам С.Г Аронова і Р.Л Мішуловича [9]:

$$B_{\text{CM}} = -18,36 + 1,53V^{daf} - 0,0236(V^{daf})^2, \quad (1.15)$$

$$B_{\text{G}} = -1,61 + 0,144V^{daf} - 0,0016(V^{daf})^2, \quad (1.16)$$

$$B_{\text{CM}} = 7,69 + 0,52V_{\text{ш}}^d - 0,0135(V_{\text{ш}}^d)^2, \quad (1.17)$$

$$B_{\text{G}} = -1,74 + 0,138V_{\text{ш}}^d - 0,0016(V_{\text{ш}}^d)^2. \quad (1.18)$$

Ці рівняння, які були отримані в середині минулого століття знаходять застосування і в 2011 році, хоча відбулися суттєві зміни, які стосуються умов коксування і властивостей шихти, а в результаті чого спостерігається розбіжність між експериментальними і прогнозними величинами.

У період на 2011 рік планування обсягів виробництва смоли і бензолу а також коксового газу на коксохімічних підприємствах України здійснювалося за такими формулами [9]:

$$B_{\text{Г}} = 3,93\sqrt{V_{\text{ш}}^d} - 6,90, \quad (1.19)$$

де $B_{\text{Г}}$ – вихід коксового газу.

У зв'язку з викладеним, порівнянне вугілля можуть мати однаковий вихід летких речовин, який в петрографічно однорідному вугіллі буде визначатися тільки стадією метаморфізму вітриніту, а в петрографічно неоднорідному вугіллі - ще й кількістю інертинітової складової. Це неминуче призведе до різного виходу хімічних продуктів коксування з цих вугілля.

З метою розробки прогнозуючих моделей в якості основних параметрів властивостей вугілля і вугільних шихт були використані їх петрографічні характеристики: середній довільний показник відбиття вітриніту (R_0 , %) і сума фюзинізованих компонентів ($\sum \text{OK} - 1 + 2/3Sv$ %), а в якості додаткового –

вихід летючих речовин. В таблиці 1.2 наведені мінімальні та максимальні значення показників, які приймають участь в статичній обробці.

Таблиця 1.2

**Мінімальне і максимальне значення і інтервали зміни
показників властивості вугілля**

Показники	Значення		Інтервал
	Max	Min	
$R_0, \%$	1,92	0,51	1,41
$\Sigma OK, S_v, \%$	51,0	0	51,0
V^{daf}	45,8	14,5	31,3
Вихід продуктів коксування, %			
Кокс	87,0	62,6	24,4
Смола	8,3	0,68	7,62
Бензол	2,13	0,22	1,91
Коксовий газ	20,38	6,73	13,65

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [10]

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 1.2, можна прийти до висновку, що розглянута вибірка характеризується значними інтервалами між мінімальними і максимальними значеннями окремих показників. Так, величина середнього довільного показника відбиття вітриніту змінюється від 0,51 до 1,92 % (майже в чотири рази), сума фюзенізованих компонентів від 0 до 51 %, вихід летких речовин від 14,5 до 45,8 % (більш ніж у 3 рази) [10].

В цілому, можна відзначити, що дана вибірка містить вугілля всього метаморфічного ряду (причому як пластові проби, так і товарну продукцію), яке характеризується набором найрізноманітніших поєднань значень показників якості. Зазначена обставина зумовлює і досить великий діапазон зміни

показників, які характеризують вихід коксу і основних продуктів коксування. Так вихід коксу змінюється від 62,6 до 87,0 %, смоли від 0,68 до 8,3 %, бензолу від 0,22 до 2,13 % і газу від 6,73 до 20,38 % [10].

На першому етапі дослідження, були розраховані коефіцієнти парної кореляції для показників властивостей вугілля. Дані свідчать про те, що середній довільний показник відбиття вітриніту і вихід летких речовин знаходяться в тісній залежності. Це підтверджує отримані раніше дані про зв'язок даних показників. Значення коефіцієнта парної кореляції дорівнює 0,96. Дана обставина виключає необхідність спільного використання цих двох показників у моделі прогнозу виходу коксу та основних продуктів коксування. Навпаки, сума фюзенізованих компонентів є незалежним показником, так як характеризує склад і властивості органічної маси вугілля, які впливають на вихід основних хімічних продуктів коксування [10].

Вихід коксу з високою точністю прогнозується за показниками відбиття вітриніту і суми фюзенізованих мікрокомпонентів. При цьому статистичні оцінки взаємозв'язку показників властивостей вугілля та виходу коксу краще, ніж при використанні в якості основного прогнозованого параметру виходу летких речовин.

Аналогічно виходу смоли, вихід бензолу практично з однаковою точністю прогнозується або петрографічними показниками (R_0 і $\sum OK$), або виходом летючих речовин і сумою фюзенізованих мікрокомпонентів. При цьому вихід бензолу на 92 – 98 % детермінується використаними для прогнозу показниками. У найменшій мірі детермінується показниками властивостей вугілля виходу коксового газу (66 – 68 %). Таким чином, коефіцієнти кореляції, які свідчать про наявність та тісноту зв'язку між показниками властивостей вугілля (R_0 і $\sum OK$) і виходами коксу, смоли, сирого бензолу та коксового газу, що укладаються в інтервалі значень 0,89 – 0,99. Отримані величини практично аналогічні тим (а за деякими показниками і вище), які були отримані в роботі [7], незважаючи на те, що при розробці математичних моделей крім вугілля Донбасу на статистичні вироблення були включені

дані, отримані для вугілля Кузнецького, Печорського і Південно-Якутського басейнів, а також вугілля США, Австрії та Канади. Як вже зазначалося вище, всі ці вугілля істотно відрізняються за складом, будовою та властивостями.

Були проведені дослідження з метою визначення виходу продуктів коксування з вітчизняного та імпортного вугілля, яке має близький вихід летких речовин, але розрізняється за величиною вихідної зольності, вихід коксу наведено як на сухе, так і на сухий беззольний стан.

Можна констатувати (див. табл. 1.3), що вміст фюзенізованих компонентів у вугіллі істотно впливає на вихід коксу і основних хімічних продуктів коксування.

Таблиця 1.3

Вплив суми фюзенізованих компонентів досліджуваного вугілля на вихід хімічних продуктів коксування

Шахта, розріз	Технічний аналіз, %		Сума фюзенізованих компонентів, %	Вихід продуктів коксування, %			
	A ^d	V ^{daf}		Кокс	Смола	C ₆ H ₆	Газ+виграти
1	2	3	4	5	6	7	8
ш. «Ювілейна» (Україна)	8,2	39,5	32	68,11/59,91	5,84	1,44	16,90
ш. «Новодонецька» (Україна)	11,1	39,8	4	67,23/56,13	6,31	1,72	14,99

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8
р-з «Кедровський»	6,5	24,6	78	80,66/74,16	1,80	0,70	11,26
Wolverine (Канада)	8,4	24,4	39	79,42/71,02	3,25	0,83	11,14
р-з «Кедровський»	5,1	22,2	83	82,43/77,33	1,77	0,60	11,45
малі розрізи «Нерюнгри»	13,3	22,9	1	81,86/68,56	2,30	0,68	9,7

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]

Більший вміст фюзенізованих компонентів при одному рівні виходу летких речовин у вугіллі приводить до збільшення виходу з них коксу і газу з одночасним зниженням виходу смоли і бензолу. Необхідно зазначити, що чим більше різниця у вмісті суми фюзенізованих компонентів у вугіллі з рівним виходом летких речовин, тим більш різко різниться вихід отриманого з них коксу [11].

З різних петрографічних складових газового вугілля утворюється різна кількість хімічних продуктів коксування, як показано в таблиці 1.4, з підвищенням вмісту інертиніту у вугіллі можна очікувати помітного зниження виходу смоли та бензолу.

Досліджуючи вихід хімічних продуктів коксування з карагандинського вугілля, автор роботи вивів математичні залежності:

$$V_K = 68,6 + 8,08R_0 + 0,0627\sum OK - 0,181L, \quad (1.20)$$

$$V_{CM} = 4,60 + 0,62R_0 + 0,0428\sum OK - 0,089L, \quad (1.21)$$

$$V_G = 1,653 + 0,543R_0 + 0,0055\sum OK - 0,0225L, \quad (1.22)$$

$$V_r = 355,5 + 10,02R_0 + 0,831\sum OK - 0,935L. \quad (1.23)$$

Збільшення показання відбиття вітриніту вугілля веде до збільшення виходу коксу і зменшення виходу смоли, бензолу і газу. До того ж результату веде і збільшення вмісту у вугіллі ліптиніту, що навпаки, призводить до зменшення виходу коксу і збільшення виходу хімічних продуктів коксування.

Таблиця 1.4

**Вихід продуктів хімічних продуктів коксування з
концентрату газового вугілля**

Петрографічний компонент	Вихід хімічних продуктів коксування, %	
	Смола	Бензол
Ліптиніт	7,56	2,50
Вітриніт	4,69	1,50
Інертиніт	0,63	0,50

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]

Виконано комплексне дослідження [11] з метою визначення виходу основних хімічних продуктів коксування з різних петрографічних компонентів (ліптиніт, інертиніт, вітриніт) різної стадії метаморфізму. Результат даного дослідження наведені в таблиці 1.5. Можна бачити, що петрографічні складові різної стадії метаморфізму характеризуються різним елементним складом і виходом хімічних продуктів коксування.

Вихід коксу з збільшенням стадії метаморфізму вугілля найбільш істотно збільшується для ліптиніту, потім для вітриніту і інертиніту. Вихід пірогенетичної води із зростанням стадії метаморфізму найбільш різко зменшується для всіх компонентів. Зміна виходу газу найбільш помітно для ліптиніту. Для коксового вугілля вихід газу з ліптиніту стає меншим порівняно з виходом його з вітриніту.

Таблиця 1.5

**Вихід хімічних продуктів коксування з петрографічних
мікрокомпонентів різних марок**

Марка вугілля	Петрографічний мікрокомпонент	V ^{daf}	Елементний склад, %					Вихід основних хімічних продуктів коксування, %				
			C ^{daf}	H ^{daf}	N ^{daf}	S ^{daf}	O ^{daf}	Кокс	Смола	Бензол	H ₂ O	газ, м ³ /т
Г	Вітриніт	36,13	83,45	5,06	0,78	0,93	9,78	69,58	3,62	2,05	7,18	342
	Інертиніт	22,54	86,77	3,91	0,55	0,66	8,11	80,02	1,24	0,98	4,07	333
	Ліптиніт	68,77	85,49	7,34	0,46	0,91	5,80	58,28	7,93	4,17	4,31	473
ГЖ	Вітриніт	31,97	87,98	4,88	0,78	0,82	7,78	73,09	3,49	1,89	3,49	338
	Інертиніт	23,37	87,41	4,17	0,56	0,48	6,81	80,77	2,15	1,07	5,66	315
	Ліптиніт	59,81	88,36	6,74	0,64	0,54	4,67	61,73	6,58	3,60	3,49	434
Ж	Вітриніт	28,36	89,59	5,11	0,83	0,97	4,73	77,42	3,63	1,92	3,10	346
	Інетиніт	19,18	89,10	4,34	0,60	0,52	4,95	82,41	2,31	1,13	1,83	323
	Ліптиніт	37,08	88,84	5,96	0,67	0,52	3,75	74,34	5,46	2,34	1,75	427
К	Вітриніт	23,50	89,78	4,94	1,56	0,71	3,95	79,85	3,68	1,62	1,37	347
	Інертиніт	16,98	89,79	4,25	0,92	0,53	4,52	84,63	2,10	0,99	2,02	293
	Ліптиніт	22,57	89,29	4,91	1,45	0,60	3,75	80,12	3,32	1,68	2,61	327

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11]

Підсумовуючи сказане, видається необхідним оцінити можливість прогнозу виходу хімічних продуктів коксування з петрографічно неоднорідного вугілля (шихт). Відомо, що окремі петрографічні компоненти вугілля характеризуються різними технологічними властивостями, а також елементним складом [9].

1.3 Залежність виходу коксу та хімічних продуктів коксування від елементного складу вугілля

Так, у вугіллі найбільша кількість вуглецю міститься в інертиніті, а в вітриніті і ліптиніті його зміст помітно нижче. З підвищенням ступеня метаморфізму вміст вуглецю збільшується у всіх мікрокомпонентах, але не однаково. Більш різко він підвищується у вітриніті, а менше – в інертиніті.

Найбільша кількість водню в одному і тому ж вугіллі міститься у ліптиніті, а найменше – в інертиніті. З підвищенням ступеня хімічної зрілості вугілля - вміст водню зменшується більш різко для ліптиніту і менш різко для інертиніту. За кількістю водню в одному і тому ж вугіллі вітриніт займає проміжне положення між ліптинітом і інертинітом.

Найбільше кисню в одному і тому ж вугіллі містить вітриніт, а найменше - ліптиніт. З підвищенням ступеня зольності вугілля вміст кисню зменшується у всіх мікрокомпонентах. У ліптиніту воно змінюється незначно. Найбільш помітно зменшується кількість кисню у вітриніті.

Таким чином, вміст в органічній масі кам'яного вугілля вуглецю, водню і кисню залежить від кількісного співвідношення, а також структури і властивостей трьох основних груп мацералів. В таблиці 1.6 наведений порівняльний аналіз складу та властивостей ліптиніту, вітриніту і інертиніту [10].

Для цих мікрокомпонентів за допомогою інфрачервоних спектрів було розраховано розподіл різних форм водню, як зазначено в таблиці 1.7.

Як видно, ліптиніт порівняно з іншими мікрокомпонентами характеризується найбільш високим вмістом водню, який входить в склад головним чином бічних ланцюгів і радикалів. В інертиніті, навпаки більша частина водню безпосередньо пов'язана з ароматичним ядром.

Таблиця 1.6

Характеристика мікрокомпонентів

Мікрокомпонент	Технічний аналіз, %			Елементарний склад (daf), %					
	W	A ^d	V ^{daf}	C	H	O	N	S	H/C
Вітриніт	1,7	3,6	35,2	83,9	5,5	8,0	1,4	1,2	0,780
Інертиніт	1,4	7,3	22,9	85,7	3,9	8,0	1,2	1,2	0,542
Ліптиніт	1,3	0,8	66,7	84,1	7,0	6,3	1,3	1,3	0,991

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [10]

Таблиця 1.7

Розподіл водню по формам

Мікрокомпонент	H	H _{ал}	H _{ар}	H _{он}	H _{ал} /H	H _{ар} /H
Вітриніт	5,5	3,3	1,9	0,3	0,60	0,35
Інертиніт	3,9	1,7	2,0	0,2	0,44	0,51
Ліптиніт	7,0	5,4	1,4	0,2	0,77	0,20

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [10]

Цікаві дані дослідження методом парамагнітного резонансу петрографічних компонентів газового вугілля [11]. Згідно з цим дослідженням інертиніт характеризується найвищою концентрацією парамагнітних центрів, що за уявленням відповідає найбільш ядерної частини з характерною для неї системою спряжених вуглець – вуглецевих зв'язків. Концентрація парамагнітних центрів у різних мікрокомпонентах газового вугілля наступна: вітриніт – 6,4, інертиніт – 34,2, ліптиніт – 2,9.

Враховуючи той факт, що за даними [12] подвійні і потрійні вуглець – вуглецеві зв'язки є одними з найміцніших в органічній масі вугілля, можна зробити висновок, що їх зростання призведе до збільшення виходу коксу і зниження виходу хімічних продуктів коксування і навпаки, зниження їх кіль-

кості призведе до збільшення виходу хімічних продуктів коксування. Середні значення енергії розриву вуглець вуглецевих зв'язків, кДж/моль: C–C 346,1, C=C 610,9, C≡C 836,3.

При термічній деструкції різних мікрокомпонентів відщеплюються продукти неоднакового складу за вмістом С, Н й О, як зазначено в таблиці 1.8, і отже, утворюється різна кількість хімічних продуктів коксування.

Дані таблиці 1.8 свідчать, що найбільша втрата маси при нагріванні без доступу повітря спостерігається у спорового концентрату і смоляних тілець, яка доходить до 91 % від органічної маси вугілля. Інертиніт втрачає лише 9,98 % від органічної маси. З урахуванням викладеного стає зрозумілим, що формування виходу коксу багато в чому залежить від вмісту інертиніту в органічній масі вугілля, а хімічних продуктів коксування – від вмісту ліптиніту і вітриніту.

Таблиця 1.8

**Елементний склад продуктів напівкоксування, які видщепилися,
петрографічних мікрокомпонентів**

Петрографічний Компонент	Відщепилося при нагріванні до 550 ⁰ С, % від вихідного складу.			C ^{daf} / O ^{daf}	Співвідношення відщеплених атомів O ^{daf} : C ^{daf} : H ^{daf} .	Відносна ступінь конденсації С/Н
	C ^{daf}	H ^{daf}	O ^{daf}			
Вітриніт	12,8	3,19	7,67	1,59	1:2:6	1,29
Інертиніт	4,94	1,60	3,44	1,44	1:2:8	2,01
Споровий концентрат	36,80	5,80	4,29	8,58	1:11:22	0,95
Смоляні тільця	77,27	10,85	2,91	25,80	1:30:60	-

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]

У цьому зв'язку представляється доцільним розробити математичні моделі, а також визначити внесок петрографічних складових вугілля і вихід різних хімічних продуктів коксування. Для досягнення поставленої мети були складені три вибірки, які включають у собі вугілля, яке найбільш представлене у сировинній базі коксохімічних заводів України, країн-виробників, а саме України, Росії та США [14].

Для дослідження було підібрано неокислене вугілля, щоб усунути вплив даного чинника на вихід хімічних продуктів коксування.

В якості досліджуваного статистичного матеріалу використовували 40 проб українського вугілля, які охоплюють всі стадії метаморфізму.

Максимальні, мінімальні та середні значення показників технологічних властивостей, вміст окремих елементів, структурні та петрографічні характеристики досліджених вибірок вугілля представлені в таблиці 1.9. Найбільш зольними виявилися проби російського вугілля ($A_{cp}^d = 8,9 \%$), а найменш – українського ($A_{cp}^d = 7,4 \%$).

Американське вугілля характеризувалися середньою зольністю на рівні 8,5%.

Варто відзначити, що максимальне (41,6 – 42,7 %), мінімальне (16,8 – 19,3 %) і середні (29,8-32,0 %) значення показника виходу летких речовин для всіх досліджених вибірок досить близькі, що свідчить про практично аналогічні інтервали зміни згаданого показника у всіх трьох групах вугілля.

Розглядаючи пластометричні показники, можна відзначити, що вугілля Росії володіють низькою спікливою (середнє значення товщини пластичного шару $y = 12$ мм), а вугілля США високою ($y = 18$ мм). Вугілля України характеризується проміжною величиною цього показника ($y=15$ мм). Середнє значення вмісту вуглецю, водню і кисню досить близькі в вугіллі України, Росії і США.

Як і слід було чекати, найбільший вміст загальної сірки ($S_{cp}^d = 1,5 \%$) і найменше вміст азоту ($N_{cp}^{daf} = 1,6 \%$) характерне для вугілля України, а най-

менший вміст загальної сірки 0,6% і максимальний вміст азоту 2,2 % - для вугілля Росії. Вугілля США характеризуються проміжними значеннями цих показників вміст сірки 1,0 %, азоту – 1,7 % [15].

В таблиці 1.10 наведені величини розрахункових структурних параметрів вугілля, які знайшли широке застосування при оцінці складу і будови органічної маси вугілля різних басейнів.

Таблиця 1.9

**Технологічні властивості досліджуваних проб
вугілля України, Росії, США**

Країна – постачальник (кількість проб)	Значення	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм	
		A^d	S_t^d	V^{daf}	X	У
Україна (40)	Max	13,0	2,99	42,7	70	29
	Min	2,1	0,48	16,8	3	6
	Δ	10,9	2,51	25,9	67	23
	середнє	7,4	1,49	32,0	30	15
Росія (23)	Max	13,3	1,93	41,6	47	25
	Min	3,9	0,27	19,3	6	0
	Δ	9,4	1,66	22,3	41	25
	середнє	8,9	0,61	29,8	28	12
США (18)	Max	10	3,23	42,4	46	31
	Min	6,8	0,43	17,7	8	10
	Δ	3,2	2,80	24,7	38	21
	середнє	8,5	0,99	31,6	23	18
Спільна ви- борка (81)	Max	13,3	3,2	42,7	70	31
	Min	2,1	0,3	16,8	3	0
	Δ	11,2	3,0	25,9	67	31
	середнє	8,1	1,1	31,3	28	15

Таблиця 1.10

**Елементний склад і структурні параметри досліджуваних проб вугілля
України, Росії, США**

Країна – постачаль- ник (кіль- кість проб)	Значення	Елементний склад, %					Структурні параметри			
		C^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	S_t^d	O_d^{daf}	$C_{ар}$	δ	f_a	c_A
Україна (40)	Мах	90,3	6,3	2,2	3,0	9,3	31,65	10,21	0,75	0,81
	Мін	81,9	4,1	0,2	0,5	1,3	15,38	7,66	0,63	0,72
	Δ	8,4	2,2	2,0	2,5	8,0	16,27	2,56	0,12	0,09
	Середнє	86,1	5,6	1,6	1,5	5,2	21,74	8,79	0,69	0,77
Росія (23)	Мах	91,0	6,2	2,8	1,9	9,3	34,38	10,44	0,75	0,82
	Мін	81,7	4,8	1,0	0,3	1,3	15,18	7,69	0,63	0,72
	Δ	9,3	1,4	1,3	1,6	8,0	19,20	2,75	0,12	0,10
	Середнє	87,3	5,6	2,2	0,6	4,3	24,33	9,09	0,69	0,78
США (18)	Мах	89,5	6,3	2,3	3,2	5,9	28,98	10,12	0,74	0,81
	Мін	84,2	4,9	1,4	0,4	2,8	18,12	7,96	0,65	0,74
	Δ	5,3	1,4	0,9	2,8	3,1	10,86	2,16	0,09	0,08
	Середнє	87,0	5,8	1,7	1,0	4,5	23,07	8,82	0,68	0,77
Спільна виборка (81)	Мах	91,0	6,3	2,8	3,2	9,3	31,65	10,44	0,75	0,81
	Мін	81,7	4,1	0,2	0,3	1,3	15,18	7,66	0,63	0,72
	Δ	9,3	2,2	2,6	2,9	8,0	16,47	2,78	0,12	0,09
	Середнє	86,6	5,7	1,8	1,1	4,8	23,05	8,90	0,69	0,77

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]

Величина $C_{ар}$, що характеризує вміст ароматичного вуглецю в органічній масі вугілля по відношенню до спільного утримання, визначається за формулою:

$$C_{ар.} = \frac{3,4 \cdot C^{daf}}{100 - C^{daf}} \cdot \quad (1.24)$$

Параметри δ , які характеризують ступінь ненасиченості воднем одиниці маси органічних речовин вугілля [16], за формулою:

$$\delta = \frac{\left(\frac{C^{daf}}{6 - H^{daf} + N^{daf}} \right)}{14}, \quad (1.25)$$

де C^{daf} , H^{daf} , N^{daf} – вміст елементів в органічній масі вугілля, %.

Ступінь ароматичності структури органічної маси вугілля (f_a) [16]:

$$f_a = 1,007 + 0,3857 \left(\frac{H}{C} \right) - 0,3725 \left(\frac{O}{C} \right), \quad (1.26)$$

де H/C і O/C – атомне співвідношення.

Показник ступеня молекулярної асоціюваності речовин вугілля (c_A) [16].

$$c_A = 1 - \frac{H^{daf} + 0,125(O^{daf} + N^{daf} + S_t^d)}{0,333 C^{daf}}, \quad (1.27)$$

де C^{daf} , H^{daf} , N^{daf} , S_t^d – вміст елементів в органічній масі вугілля, %.

Дослідження групи вугілля різних країн представлені вугіллям всіх стадій метаморфізму від найменш метаморфізованих ($R_0=0,58$ %) до високо метаморфізованих ($R_0=1,77$ %). Американське вугілля представлене більш метаморфізованими пробами ($R_{0min}=0,74$ %) в порівнянні з українським та російським вугіллям ($R_{0min}=0,58-0,59$ %). Українське вугілля в основному петрографічно однорідні ($V_{cp}=84$ %), а вугілля Росії і США петрографічно неоднорідне ($V_{cp}=68-69$ %). Середній вміст суми фюзинізованих компонентів склали 12 % для українського вугілля, для російських і американських вугілля склали 30 і 27 %. Середній вміст ліптиніту для вугілля всіх груп низька ($L_{cp}=1-4$ %), хоча в деякому вугіллі України ($L_{cp}=18$ %), і США ($L_{cp}=11$ %), він міститься у значних кількостях.

Зазначені особливості технологічних властивостей, елементного та петрографічного складу вугілля досліджених вибірок повинні були відбитися на вихід коксу в основних хімічних продуктів коксування. Ці показники визначали у 20-р лабораторній установці по проекту ДСТУ «Вугілля кам'яне. Метод визначення виходу хімічних продуктів коксування» [16]. Експериментальні значення виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування на сухий беззольний стан.

Середні значення виходу хімічних продуктів коксування розрізняються між вибірками. Так, українське вугілля характеризується найбільшим виходом сірководню і пірогенетичної вологи; російські – коксу, аміаку і вуглекислого газу; американські – смоли, бензолу, ненасичених вуглеводнів та газу. Були розраховані коефіцієнти парної кореляції між виходом хімічних продуктів коксування та даними елементного складу і структурних параметрів для кожної з досліджених вибірок вугілля.

Для українського вугілля вихід коксу, смоли і бензолу на 71,4 – 72,7 % визначається вмістом вуглецю (коефіцієнти парної кореляції складають на 0,845 – 0,850), для пірогенетичної води цей зв'язок менше і дорівнює 65% ($r = 0,806$). Зв'язок виходів продуктів коксування з вмістом водню дещо слабше і коливається в межах 66,3 – 70,6 %.

Що стосується вмісту кисню, то величина взаємозумовленості цього показника з виходом продуктів коксування помітно нижче, ніж у вуглеці і водні, і становить 37,6-69,89 %. Значення коефіцієнтів парної кореляції даних елементного складу і виходу продуктів коксування для російського і американського вугілля трохи вище, ніж для українського, у зв'язку з чим коефіцієнт детермінації у них сягає 87 %.

Необхідно зазначити, що структурні параметри, які розраховані за даними елементного аналізу, більш тісно пов'язані з виходом хімічних продуктів коксування, ніж окремі елементи. Найбільш точно вихід хімічних продуктів коксування можна прогнозувати за даними показника, що характеризує ступінь молекулярної асоційованості речовини вугілля (сА). Значення коефі-

цієнтів парної кореляції між цим показником і виходом коксу для вугілля всіх груп складають 0,889 – 0,942; виходом смоли – від - 0,886 до 0,947; виходом бензолу - від 0,894 до – 0,914, виходом пірогенетичної вологи – від – 0,833 до 0,894.

За даними [16] використані в даній роботі структурні параметри досить тісно взаємопов'язані і кожен з них може служити кількісною оцінкою ступеня метаморфізму, ступеня ароматичності та молекулярної асоційованістю органічної маси вугілля. Отже для прогнозу виходу коксу та хімічних продуктів коксування можна використовувати один структурний параметр, наприклад s_A , внаслідок його найбільш тісної кореляції з виходом коксу і хімічних продуктів коксування.

Були розроблені математичні рівняння прогнозу виходу коксу в залежності від значень структурного параметра s_A в рамках окремих вибірок і для всього масиву даних.

З таблиці 1.11 видно, що за величиною показника ступеня асоціативності можливий прогноз виходу хімічних продуктів коксування з досить великою точністю. Отримані рівняння описують вихід коксу і хімічних продуктів коксування в залежності від величини s_A з коефіцієнтами множинної кореляції r , рівними 0,885 – 0,904, і детермінації D 73,1 – 82,0 %.

Враховуючі той факт, що прогноз виходу коксу та хімічних продуктів коксування повинен здійснюватися на постійній основі, а визначення елементного складу в заводських лабораторіях, як правило, не проводиться [16], вважається доцільним розглянути можливість прогнозу виходу продуктів коксування за даними петрографічних досліджень вугілля, які включені в схему контролю якості вугілля, що надходить на заводи.

Таблиця 1.11

**Математичні рівняння залежності хімічних продуктів
коксування від структурного параметру сА**

Країна- постача- льник	Вид рівняння	Статичні оцінки	
		R	D, %
Україна	$V_K^{daf} = 21,6 \cdot cA + 93,489$	0,889	79,1
	$V_{CM}^{daf} = -64,066 \cdot cA + 54,427$	0,886	78,4
	$V_6^{daf} = -12,773 \cdot cA + 11,124$	0,894	79,9
	$V_{ПВ}^{daf} = -27,226 \cdot cA + 25,155$	0,833	69,2
Росія	$V_K^{daf} = 192,39 \cdot cA - 75,262$	0,922	85,0
	$V_{CM}^{daf} = -63,730 \cdot cA + 53,93$	0,929	85,0
	$V_6^{daf} = -14,690 \cdot cA + 12,559$	0,929	86,3
	$V_{ПВ}^{daf} = -36,900 \cdot cA + 32,442$	0,894	79,9
США	$V_K^{daf} = 206,26 \cdot cA - 86,072$	0,942	88,5
	$V_{CM}^{daf} = -65,460 \cdot cA + 55,915$	0,947	89,7
	$V_6^{daf} = -20,167 \cdot cA + 16,923$	0,914	83,6
	$V_{ПВ}^{daf} = -31,326 \cdot cA + 28,034$	0,843	71,0
Спільне	$V_K^{daf} = 204,67 \cdot cA - 84,501$	0,904	81,8
	$V_{CM}^{daf} = -65,017 \cdot cA + 55,176$	0,905	82,0
	$V_6^{daf} = -14,652 \cdot cA + 12,581$	0,882	77,8
	$V_{ПВ}^{daf} = -31,808 \cdot cA + 28,556$	0,855	73,1

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

Це пояснює встановлений факт залежності між петрографічним та елементним складом.

Аналіз та узагальнення досвіду використання петрографічних методів дослідження вугілля і шихт в УХІНі дозволили розробити межі значень пока

зника відбиття від окремих груп складових вітриніту, які умовно відповідають маркам вугілля, зазвичай використовується для коксування, незалежно від їх басейнової приналежності. Аналіз рефлектограм рекомендується проводити за наступною «умовною шкалою відповідності стадій відбиття вітриніту марками вугілля» [16]: R₀, % Д (<0,5); ДГ (0,50-0,64); Г (0,65 – 0,89); Ж (0,90 – 1,19); К (1,20 - 1,39); ПС (1,40 – 1,69);Т (1,70 – 2,59); А (>2,60). З урахуванням такого поділу, а також вмісту в органічній масі вугілля мацералів групи ліптиніту, семивітриніту і інертиніту, для визначення внеску петрографічних складових вихід хімічних продуктів коксування було вирішено розбити органічну масу вугілля на вісім груп: складові вітриніту, умовно відповідають маркам Д+ДГ(R₀≤0,64 %); Г (R₀ =0,64 – 0,89 %); Ж (R₀ =0,90 – 1,19 %); К (R₀ =1,20 – 1,39 %); ПС (R₀ =1,40 – 1,69 %); П (R₀ =1,70 – 2,20 %) фюзенізована частина, яка об'єднує інертинітову і семивітринітову складові; ліптинітова частина, яка складається з ліптиніту, умовно відповідного марок Д, ДГ, Г, Ж; ліптиніт, відповідної марки, віднесений до вітриніту тієї ж марки з-за незначного вмісту і близькості властивостей [16].

Значення структурного параметра сА визначали методом Гауса, шляхом вирішення системи лінійних рівнянь, що містить m рівнянь і n невідомих, виду:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2, \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m, \end{cases} \quad (1.28)$$

де числа a₁₁...a_{mn} - коефіцієнти системи, відповідні вмісту конкретної петрографічної групи в досліджуваній пробі вугільного концентрату;

b₁...b_m – значення структурного параметра сА, які відповідають даній пробі;

x₁...x_n – значення структурного параметру сА, відповідні вмісту конкретної петрографічної групи.

У ході розв'язання систем рівнянь були отримані коефіцієнти переходу в органічну масу коксу і основних хімічних продуктів коксування з українського, російського та американського вугілля. Можна відзначити, що значення коефіцієнтів переходу вітринітової складової органічної маси вугілля в органічну масу коксу від групи 1 до групи 4 зростають, а смоли, бензолу і пірогенетичної вологи – знижуються. Ця закономірність відзначається для вугілля всіх груп.

Слід зазначити, що значення коефіцієнтів переходу для українського та імпортного вугілля досить близькі на стадіях, умовно відповідних марок Г, Ж, К, ПС, а на стадіях ДГ вугілля США, коефіцієнт переходу склав 0,5396, а найбільший - з вітриніту стадії Т тих же вугілля з коефіцієнтом переходу 0,9290. Коефіцієнту переходу органічної маси вітринітової складової вугілля в сирий бензол для вугілля України та Росії на стадії Д+ДГ складають відповідно 0,0188 і 0,0219, а для вугілля США тієї ж марки 0,0359 на стадії Г – відповідно 0,0170 і 0,0179, для США – 0,0270; на стадії Ж – 0,0130 і 0,0125, для США – 0,0179; на стадіях К, ПС, П – більш близькі значення. Аналізуючи коефіцієнти переходу органічної маси вугілля вітринітової складової в пірогенетичну воду, варто відзначити, що помітне розходження спостерігається лише для шостої групи (марка Т). Значення коефіцієнтів для вугілля України склало 0,0273, Росії 0,0151; США 0,0172.

Аналіз значень коефіцієнтів підтвердив відомий факт, що вихід коксу з мацералів групи ліптиніту нижче, а вихід смоли і сирого бензолу газу вище, ніж з мацералів групи інертиніту. Для прогнозу виходу хімічних продуктів коксування з міжбасейнових шихт були розроблені універсальні рівняння (таблиця 1.11).

В цілому перехід вітринітової складової органічної маси вугілля в основні хімічні продукти коксування (кокс, смола, сирий бензол, пірогенетичну воду) підпорядковується загальновідомою залежності. Із зростанням стадії метаморфізму вугілля вихід коксу збільшується, а смоли, сирого бензолу і пірогенетичної води – зменшується [16].

Статистична оцінка адекватності наведених рівнянь показала високі коефіцієнти кореляції r (від 0,949 до 0,985) D (від 90,1 до 97,1 %), що характеризують ці залежності як придатні для прогнозу виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування на основі даних петрографічного аналізу.

Для підтвердження можливості прогнозу виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування з рівнянь, розрахованими на підставі об'єднаної вибірки, були проведені лабораторні коксування вугільних шихт, технологічні властивості та петрографічні характеристики. Досліджувані шихти характеризуються широким діапазоном зміни технологічних властивостей: зольність змінюється від 8,1 до 11,0 %; вміст загальної сірки від 7,0 до 1,78 % вихід летючих речовин від 26,3 до 35 %; товщина пластичного шару від 13 до 20 мм. Середній довільний показник відбиття вітриніту варіюється в межах 0,91 - 1,16 %; вміст мацералів групи вітриніту від 68 до 90 %.

Такий розкид даних визначено участю в шихті вугілля різних басейнів і країн, що відрізняються властивостями і обумовлено різним виходом коксу і основних хімічних продуктів коксування.

Можна констатувати, що середнє відхилення при прогнозі виходу коксу складе 0,33 %; смоли – 0,17 %; бензолу – 0,11 %; пірогенетичної води – 0,22 %, що не перевищує допустимої похибки визначення проекту ДСТУ «Вугілля кам'яне. Метод визначення виходу хімічних продуктів коксування».

Підсумовуючи сказане, можна сформулювати наступні основні висновки.

Експериментально обґрунтована можливість прогнозування виходу хімічних продуктів коксування за результатами визначення елементного і петрографічного складу вугілля.

Визначено вихід коксу і основних хімічних продуктів коксування з окремих груп петрографічних складових вугілля України, Росії і США.

Отримані результати дозволяють перейти до промислового прогнозу виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування з міжбасейнових шихт, що містять петрографічні неоднорідні компоненти, за допомогою

встановлення перехідних коефіцієнтів від лабораторних до промислових умов.

1.4 Висновки до аналітичної частини

1. Вихід і якість основних продуктів коксування є одними з найважливіших факторів, що визначають техніко-економічні показники виробництва в цілому.

Основний технологічний фактор, який впливає на вихід продуктів коксування, - це властивості вугільної шихти. В роботі показані та проаналізовані, які показники шихти впливають на вихід продуктів коксування: вихід летких речовин, зольність, петрографічний і елементний склад.

2. У роботі встановлено, що раніше для прогнозування якості виходу продуктів коксування використовувався параметр - вихід летких речовин.

В роботі проаналізовано декілька емпіричних формул по виходу продуктів коксування в залежності від виходу летких речовин в шихті.

Був обумовлений факт, що зростання у сировинній базі коксування українських коксохімічних підприємств вмісту імпортного, в тому числі петрографічно неоднорідного вугілля призвело до того, що розроблені раніше математичні залежності для прогнозування виходу основних продуктів коксування тільки за виходом летких речовин не забезпечують необхідної точності прогнозування.

3. Наряду з виходом летючих речовин параметр зольності шихти теж впливає на вихід продуктів коксування: збільшення показника $A_{ш}^{daf}$ на 1 % викликає зниження виходу металургійного коксу від маси сухої шихти.

Різниця у виході коксу, розрахованому за різними формулами, становить 3,71–5,92 %, смоли 2,55–2,82 %, сирого бензолу 0,79–0,85 %. Це обумовлено тим, що різні формули прогнозування базувалися на даних, які отримані при коксуванні вугілля і вугільних сумішей з різними технологічними та петрографічними характеристиками.

4. Наразі петрографічний склад вугілля впливає на вихід продуктів коксування на ряду з виходом летких речовин.

В роботі в якості основних параметрів властивостей вугілля і вугільних шихт були використані їх петрографічні характеристики: середній довільний показник відбиття вітриніту ($R_0, \%$) і сума фюзинізованих компонентів ($\sum OK-1+2/3Sv, \%$), які перебувають у тісному зв'язку з виходами коксу, смоли, сирого бензолу та коксового газу. Більший вміст фюзенізованих компонентів при одному рівні виходу летких речовин у вугіллі приводить до збільшення виходу з них коксу і газу з одночасним зниженням виходу смоли і бензолу.

В розділі проаналізовано вплив петрографічних компонентів на вихід продуктів коксування: з підвищенням вмісту інертиніту у вугіллі можна очікувати помітне зниження виходу смоли та бензолу, збільшення показника відбиття вітриніту вугілля веде до збільшення виходу коксу і зменшення виходу смоли, бензолу і газу, збільшення вмісту у вугіллі ліптиніту веде до зменшення виходу коксу і збільшення виходу хімічних продуктів коксування.

5. На сьогоднішній день в шихтах заводів України використовують петрографічно неоднорідне вугілля, що являє собою суміш мацералів вітриніту, інертиніту і ліптиніту, які різко розрізняються за властивостями.

Оскільки петрографічний склад пов'язаний з елементним складом, отже проаналізовано вплив мацералів на вихід продуктів коксування.

Вміст в органічній масі кам'яного вугілля вуглецю, водню і кисню залежить від кількісного співвідношення, а також структури і властивостей трьох основних груп мацералів: інертиніт, вітриніт, ліптиніт.

Встановили, що вихід коксу, смоли і бензолу з вугілля на 71,4 – 72,7 % визначається вмістом вуглецю, для пірогенетичної води цей зв'язок менше і дорівнює 65 %. Зв'язок виходів продуктів коксування з вмістом водню дещо слабше і коливається в межах 66,3 – 70,6 %. Що стосується вмісту кисню, то величина взаємозумовленості цього показника з виходом продуктів коксування помітно нижче, ніж у вуглеці і водні, і становить 37,6-69,89 %.

Обґрунтовуючи сказане, можна сказати, що формування виходу коксу багато в чому залежить від вмісту інертиніту в органічній масі вугілля, а хімічних продуктів коксування – від вмісту ліптиніту і вітриніту.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка кількісних залежностей прогнозування виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування на дослідній установці «Карботест»

2.1.1 Конструкція і принцип роботи установки «Карботест»

Установка «Карботест» призначена для визначення кількості і якості хімічних продуктів коксування вугілля і вугільних сумішей. Вона дозволяє провести тест коксування в умовах, схожих на промислові.

Установка встановлена в закритому приміщенні, що відповідає загальним умовам, стосовно будівель, а також експлуатується в нормальних умовах мікроклімату робочого середовища: температура 18-25°C, відносна вологість 25-75 % при температурі 20 °C.

Установка не може бути встановлена в приміщеннях з їдким впливом, а також у вибухонебезпечних місцях. Для зручності обслуговування і сервісного доступу відстань між піччю і стіною перевищує 1,5 м з бічних сторін і із заднього боку 0,7 м.

До складу установки входять: трубчата піч з кран-балкою; реторта з нагрівальним вкладишем; охолоджувач; електрофільтр; газовий лічильник; лабораторна сушарка; лабораторні терези; додаткове обладнання (майданчики, штативи, приймальні резервуари, скляні ємкості, термопари, вакуумний насос, кварцовий фільтр, гумові шланги).

Трубчата піч з вертикальною робочою камерою, призначена для обігріву реторти, в якій здійснюється процес коксування. Вона розрахована на робочу температуру в районі коксування, вимірювану на зовнішній стінці реторти, що складає 1100 °C, а в районі коксування біля 1000 °C.

Для формування розподілу температури поздовж робочої камери піч обладнана трьома незалежними нагрівальними секціями.

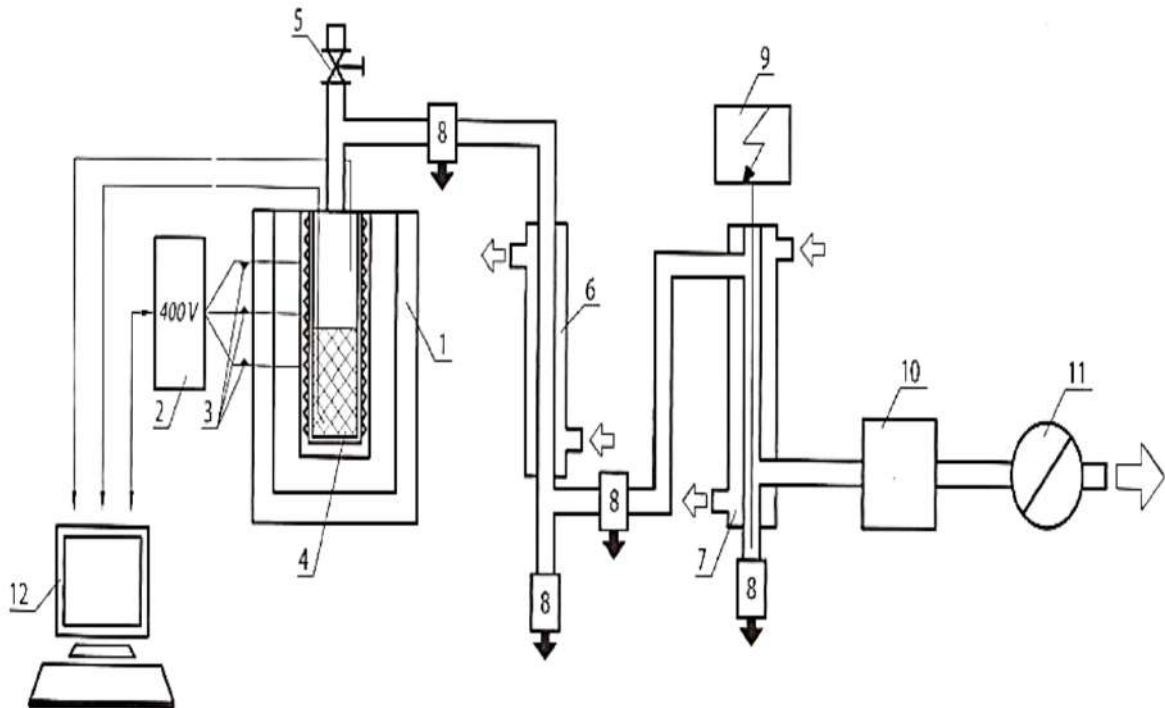
Схема установки «Карботест» зображена на рисунку 2.1.

Нагрівальний блок є трисекційним, з незалежним живленням кожної секції, що дозволяє формувати розподіл температури поздовж його вертикальної осі. Нагрівальним елементом є спіраль, виконана з матеріалу опору Kanthal АРМ. Нагрівальний блок разом з термопарами є замінюваним елементом.

Піч отримує живлення напругою ~ 380 В/24 В. Кожна фаза захищена запобіжником 32 А. На корпусі печі є два гнізда ~ 220 В, одне з яких служить для підключення нагрівального вкладишу.

Установка управляється запрограмованою системою SIMATIC, що працює спільно з комп'ютером, що дозволяє здійснювати спостереження за ходом процесу коксування в реальному часі, а також архівацію даних всіх здійснених випробувальних циклів. Термопара, розташована в центрі реторти призначена виключно для вимірювання температури шихти.

Реторта призначена для коксування вугілля. Вона складається з камери коксування і нагрівальним вкладишем. Реторта і нагрівальний вкладиш виготовлені з жаростійкої сталі Н25тб (1Н18Н9Т). Розміри реторти: внутрішній діаметр 150 мм, висота 850 мм. У нижній частині камери відбувається газифікація і процес коксування вугілля (вугільної шихти), а у верхній – піроліз летючих продуктів коксування. Вбудований в кришку нагрівальний елемент дозволяє підтримувати необхідну температуру летких продуктів коксування, які відводяться газопроводом до охолоджувача через приймач важких смоляних фракцій. У реторті встановлено дві термопари NiCr-Ni, призначені для вимірювання температури в осі вугільного завантаження і районі піролізу летких продуктів коксування.



1 – піч; 2 – контролююча система; 3 – нагрівальна секція; 4 – реторта з вугільним завантаженням;

5- клапан; 6 - холодильник; 7-електрофільтр;

8 – місця відбору газу; 9 – джерело високої напруги; 10 - фільтр;

11 – лічильник газу; 12 - комп'ютер

Рис. 2.1. Схема установки «Карботест»

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]

У кришці реторти є два патрубки, призначені для підключення пристрою для вимірювання тиску газів, що виділяються в реторті, а також для аварійного каналу відведення коксового газу.

Охолоджувач призначений для охолодження коксового газу. Це проточний оболонково-трубчастий обмінник. Агентом, що охолоджує, є вода. Охолоджувач сполучений з ретортою за допомогою сполучної муфти з прокладкою з пароніту. У нижній частині охолоджувача знаходиться металевий приймач, в який стікає смола, що виділилася з газу, і аміачна вода.

Електрофільтр призначений для видалення з охолодженого коксового газу смоляно-водяного туману. Електрофільтр обладнаний оболонкою, що охолоджує (агент, що охолоджує - вода). Усередині електрофільтру знаходиться коронуючий електрод з кантального дроту, натягнутого між двома ізоляторами. Необхідна напруга 8-10 кВ досягається за допомогою живильника високої напруги. Смола, що виділяється з коксового газу, стікає в приймач, герметично сполучений з корпусом електрофільтру. Апарат заземлений.

Підготовка досліджуваної проби - помел (вмісту класу 3-0 мм) досліджуваної проби вугілля (шихти) складає не менше 95 % вміст класу 3-0 мм. Вміст робочої вологи – близько 8 %. Допускається здійснювати процес коксування використовуючи вугільну шихту з іншими значеннями вищезгаданих параметрів.

Підготовка реторти, що карбонізує - перед завантаженням реторти перевіряємо прохідність каналу, відвідного леткі продукти коксування і випускних патрубків, що знаходяться на кришці реторти.

Послідовно виконуємо наступні операції: - встановлюємо реторту в стійці; - встановлюємо приймач важких смоляних фракцій; - зважуємо з точністю до 1 г підготовлену пробу вугілля (шихти) – 4-5 кг і натисненням клавіші «МАСА ШИХТИ» на екрані рапорту фіксуємо масу проби, колір клавіші міняється із зеленого на жовтий; - наповнюємо реторту підготовленою пробою вугілля (шихти); - втрамбуємо пробу ручною трамбівкою до висоти, відповідної потрібної щільності шихти; - закриваємо реторту кришкою і згвинчуємо гайками, змащеними графітовим мастилом; - прикріплюємо реторту до підвіски кран-балки.

Під'єднуємо до охолоджувача і електрофільтру приймачі смоли і води. Відкриваємо подачу води, що охолоджує охолоджувач і електрофільтр, перевіряємо її протікання. З'єднуємо всі гумові шланги на лінії: охолоджувач - електрофільтр - фільтр з кварцовою ватою - газовий лічильник - вихідний канал газу. Перевіряємо правильність всіх з'єднань.

Перед пуском установки перевіряємо заземлення печі і електрофільтру, а також з'єднання термоелементів.

- вмикаємо головний вимикач печі;
- натискаємо кнопку «СТАРТ». Розігрів печі сигналізується миганням зеленої лампочки «РОБОТА», а також на панелі оператора;
- чекаємо до нагріву і стабілізації температури печі (920 °C);
- розміщуємо реторту, що карбонізує, з шихтою в нагрівальній камері печі і з'єднуємо з охолоджувачем;
- до патрубків на кришці реторти під'єднуємо гумові шланги манометра і аварійного відведення газу;
- встановлюємо термопари для вимірювання температури в осі шихти і в районі піролізу летких продуктів коксування;
- затискаємо гайку між відповідним патрубком реторти і охолоджувачем;
- підключаємо нагрівач гайки реторти (синя вилка) до печі;
- натискаємо кнопку «СТАРТ»;
- вмикаємо живильник високої напруги: «оранжевий тумблер» - «зелена кнопка». Після появи у фільтрі з кварцовою ватою забрудненого смолою газу, встановлюємо напругу на живильнику WN на величину 7-8 кВт.

Хід процесу коксування - під час процесу коксування реєструються наступні параметри: температура на стінках реторти; температура в середині вугільної шихти; температура в середині камери піролізу летких продуктів коксування; тиск в середині реторти; величина напруги, що подається на електрофільтр; кількість коксового газу, що виділяється.

Після закінчення процесу коксування швидкість газу, що виділяється, повинна бути менше 0,5 дм³/хв.

Зупинка установки - після закінчення тесту коксування виконуємо наступні операції: - знімаємо напругу на електрофільтрі. Вимикаємо живлення електрофільтру натисканням «жовтого тумблера»; - натискаємо кнопку «СТОП» на печі; - злегка відкручуємо збірку смоли на відповідному патрубку реторти і сполучну гайку між охолоджувачем і відповідним патрубком; - шланг

відведення газу від'єднуємо від газолічильника і під'єднуємо до відведення у витяжній вентиляції;

Після охолодження печі до 200°C (близько 20 години): виймаємо реторту з печі і встановлюємо в стійці на 30 хвилин для охолодження; відкручуємо гайки і знімаємо кришку реторти; відкручуємо приймач важких смоляних фракцій від газового каналу; очищуємо газовий канал і відвідні патрубки, встановлені на кришці реторти; демонтуємо і очищуємо приймачі води і смоли з охолоджувача і електрофільтру; вводимо значення змісту загальної вологи випробовуваної проби на екрані рапорту і фіксуємо його натисненням клавіші «ENTER»; вивантажуємо кокс і зважуємо з точністю до 1 г. Натисненням клавіші «МАСА КОКСУ» на екрані рапорту фіксуємо значення маси коксу, колір клавіші міняється із зеленого на жовтий.

Після вводу всіх даних натискаємо клавішу «ЗБЕРЕГТИ РАПОРТ» для запису рапорту на диск.

2.1.2 Характеристика вихідного вугілля та дослідних шихт

У лабораторних умовах вихід хімічних продуктів коксування визначають за ГОСТ 18635-73 «Вугілля кам'яне. Метод визначення виходу хімічних продуктів коксування». Даний стандарт розповсюджується на кам'яне вугілля і встановлює лабораторний метод визначення виходу хімічних продуктів (коксу, смоли, сирого бензолу, аміаку, сірководню, вуглекислого газу, неорганічних вуглеводнів (C_mH_n), пірогенетичної вологи і коксового газу) при високотемпературному коксуванні вугілля і вугільних сумішей.

Метод заснований на нагріванні випробовуваного вугілля або вугільної суміші до 900 °C у п'ятисекційній або односекційній печі коксування і піролізі продуктів, що утворюються, з подальшим визначенням їх виходу.

У таблицях 2.1, 2.2 приведені технологічні і петрографічні характеристики вугільних компонентів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і шихт, складених на їх основі.

Таблиця 2.1

Технологічні характеристики шихт ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

ЦЗФ; марка вугілля	Варіант шихти				Технічний аналіз, %				Пластометричні показники, мм	
	1	2	3	4	A^d	S_t^d	V^d	V^{df}	X	Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Шолоховська; Г	15	-	-	13,5	6,8	0,41	34,5	37,0	37	8
Роспадська; ГЖ	15	15	13,5	13,5	9,2	0,46	34,6	38,1	27	17
Самсоновська; Ж	30	30	27	27	8,6	3,52	31,7	34,7	-1	33
Вугілля США; Ж	-	-	10	10	6,4	0,82	33,9	36,2	27	18
Пролетарська; К	10	-	-	9	8,1	2,23	26,9	29,3	-1	30
Чумаковська; К	10	30	27	9	9,1	0,78	26,1	28,7	19	12
Шолоховська; КС	20	10	9	18	7,1	0,35	20,4	21,9	29	6
Нерюнгрінська; ПС	-	15	13,5	-	10,3	0,25	17,4	19,3	7	8
Шихта, варіант:										

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	100	-	-	-	8,1	1,56	29,3	31,9	17	19
2	-	100	-	-	8,9	1,43	27,2	29,8	13	18
3	-	-	100	-	8,7	1,37	27,8	30,5	15	18
4	-	-	-	100	7,9	1,48	29,7	32,3	18	19

Примітка. Джерело: розроблено автором

Таблиця 2.2

**Петрографічні характеристики вугільних компонентів
ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг»**

ЦЗФ; марка вугілля	Петрографічний склад (без мінеральних домішок), %					Середній показник відбиття вітриніту R ₀ , %	Стадії метаморфізму вітриніту, %						
	Vr	Sv	I	L	ΣOK		< 0,50 (Д)	0,50-0,65 (ДГ)	0,66-0,89 (Г)	0,90-1,19 (Ж)	1,20-1,39 (К)	1,40-1,59 (Л)	(ОС)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Шолоховська; Г	71	-	27	2	27	0,65	-	50	50	-	-	-	-
Роспадська; ГЖ	89	-	10	1	10	0,81	-	1	90	9	-	-	-
Самсоновська; Ж	90	-	8	2	8	0,90	1	1	51	47	-	-	-
Вугілля США; Ж	72	-	22	6	22	0,89	-	-	55	45	-	-	-
Пролетарська; К	89	-	10	1	10	1,15	-	-	5	70	19	-	6
Чумаковська; К	87	1	11	1	12	1,09	-	-	2	80	18	-	-
Шолоховська; КС	26	2	72	-	74	1,10	-	1	3	81	11	4	-
Нерюнгрінська; ПС	87	2	11	-	13	1,61	-	-	-	1	2	76	21
Шихта, варіант:													

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	74	1	24	1	25	0,93	0	8	38	32	6	1	74
2	82	1	16	1	17	1,07	0	1	30	40	7	12	82
3	81	1	17	2	17	1,05	0	0	32	41	6	11	81
4	74	-	24	2	25	0,93	0	7	39	33	5	1	74

Примітка. У дужках вказані марки вугілля, які умовно відповідають стадіям метаморфізму вітриніту.

Примітка. Джерело: розроблено автором

До складу сировинної бази ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» входять концентрати (див. табл. 2.4), в яких частка петрографічних компонентів, що не спікаються, складає > 22 %. Так, в концентраті ЦЗФ «Шолоховська» (марка Г) вміст суми піснуватих компонентів складає 27 %, концентраті США (марка Ж) 22 %, концентраті ЦЗФ «Шолоховська» (марка КС) - 74 %.

2.1.3 Отримання даних прогнозування виходу продуктів коксування і їх кількісних залежностей

Дослідження генетики вугілля, їх речовинного складу та змінення останнього під впливом природних факторів. В результаті цих досліджень для оцінки шихт для коксування були запропоновані два основні параметри властивостей вугілля - вміст опіснюючих компонентів ΣOK та показник відбиття вітриніту R_0 .

У таблиці 2.5 приведені дані виходу хімічних продуктів коксування з вугілля, що входить в сировинну базу заводу і складених на їх основі шихт.

Виходячи з приведених в таблицях 2.1-2.3 даних можна зробити висновок, що з підвищенням ступеня метаморфізму вугілля і шихт відбувається очікуване зростання виходу сухого коксу, а також зниження виходу смоли,

пірогенетичної вологи, вуглекислого газу, бензолу, неграничних з'єднань і сухого коксового газу.

Таблиця 2.3

**Дані виходу хімічних продуктів коксування з вугілля, що входить в си-
ровинну базу заводу і складених на їх основі шихт**

ЦЗФ; марка вугілля	Вихід хімічних продуктів коксування, %								
	Кокс	смола	H ₂ O пір.	NH ₃	CO ₂	H ₂ S	C _m H _n	C ₆ H ₆	газ+ втрати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шолоховська Г	69,78	5,53	4,83	0,58	2,99	0,27	0,77	1,73	13,52
Роспадська ГЖ	72,55	5,05	-4,08	0,48	1,70	0,31	0,71	1,58	13,54
Самсоновська Ж	73,96	4,72	3,82	0,29	0,56	1,28	0,53	1,49	13,35
Вугілля США Ж	73,55	4,65	4,82	0,23	0,61	0,46	0,81	1,49	13,38
Пролетарська К	77,75	3,74	3,06	0,22	0,52	0,72	0,45	1,22	12,32
Чумаковська К	76,79	3,96	3,78	0,29	0,59	0,38	0,57	1,28	12,36
Шолоховська КС	75,78	3,41	1,91	0,48	0,86	0,12	0,16	1,22	16,06
Нерюнгрінська ПС	84,72	1,95	2,53	0,14	0,57	0,06	0,11	0,74	9,18
Шихта, варіант:									
1	74,15	4,46	3,55	0,39	1,15	0,61	0,52	1,44	13,73
2	76,39	4,00	3,46	0,32	0,77	0,57	0,47	1,30	12,72
3	76,11	4,06	3,60	0,31	0,76	0,55	0,50	1,32	12,79
4	74,09	4,47	3,68	0,38	1,10	0,59	0,54	1,44	13,71

Примітка. Джерело: розроблено автором

В цілому дані таблиці 2.3 придатні для статистичної обробки і розробки математичних залежностей впливу технологічних властивостей вугільних компонентів і шихт на вихід основних продуктів коксування.

У таблиці 2.4 приведені коефіцієнти парної кореляції між петрографічними показниками (R_o , ΣOK) якості вугілля і шихт і отриманих при їх використанні значень виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування.

Вихід коксу, смоли, води, вуглекислого газу, ненасичених сполук, бензолу і газу досить тісно корелює з показником відбиття вітриніту. Щоб досліджувати вплив однієї випадкової величини на зміну іншої, необхідно розглядати умовні закони розподілу ймовірностей однієї величини при фіксованих значеннях іншої величини. Щільність стохастичного лінійного зв'язку між величинами X і Y незалежно від їхнього роду характеризує коефіцієнт кореляції.

Таблиця 2.4

**Коефіцієнти парної кореляції між петрографічними показниками
(R_o , ΣOK) якості вугілля і шихт**

	Коефіцієнти парної кореляції досліджених взаємозв'язків								
	Кокс	Смола	вода	CO ₂	C _m H _n	C ₆ H ₆	Газ	R _o	ΣOK
Кокс	-	-0,968	-0,683	-0,648	-0,788	-0,988	-0,722	0,996	-0,136
Смола	-0,968	-	0,802	0,618	0,886	0,995	0,553	-0,987	-0,116
Вода	-0,683	0,802	-	0,481	0,960	0,762	0,047	-0,731	-0,465
CO ₂	-0,648	0,618	0,481	-	0,469	0,631	0,263	-0,641	0,125
C _m H _n	-0,788	0,886	0,960	0,469	-	0,854	0,239	-0,830	-0,376
C ₆ H ₆	-0,988	0,995	0,762	0,631	0,854	-	0,624	-0,998	-0,018
Газ	-0,722	0,553	0,047	0,263	0,239	0,624	-	-0,666	0,678
R _o	0,996	-0,987	-0,731	-0,641	-0,830	-0,998	-0,666	-	-0,044
ΣOK	-0,136	-0,116	-0,465	0,125	-0,376	-0,018	0,678	-0,044	-

Примітка. Джерело: розроблено автором

Для підвищення точності прогнозування використовували також додатковий параметр, а саме суму опіснюючих компонентів - незалежний чинник, визначуваний одночасно з показником відбиття вітриніту в рамках контролю якості виробництва. Розроблені рівняння приведені в таблиці 2.5.

Тісний зв'язок з високими коефіцієнтами кореляції від 0,7 до 0,9 відзначені для таких пар, які мають зворотну залежність: кокс-смола, кокс-

пірогенетична вода, кокс-газ, кокс-відбиття вітриніту, вода-відбиття вітриніту, пірогенетична вода – відбиття вітриніту. Тісний зв'язок з високими коефіцієнтами кореляції від 0,7 до 0,9 відзначені для таких пар, які мають пряму залежність: смола – відбиття вітриніту, смола – вода, смола – відбиття вітриніту, смола – бензол, бензол – відбиття вітриніту, пірогенетична вода – вода.

Вихід аміаку і сірководню не залежить від ступеня метаморфізму, а залежить від вмісту азоту і сірки в органо-мінеральній масі початкового вугілля. Остання (сірка) характеризується наявністю різних форм (піритна, органічна або сульфатна), які по-різному переходять в кокс і газоподібні продукти коксування, що також накладає певний відбиток на точність прогнозу виходу сірководню.

Для прогнозування виходу коксу та основних продуктів коксування з міжбасейнових шихт були розроблені універсальні рівняння на підставі даних загальної вибірки вугілля України, Росії та США, а також зроблено їх статистичну оцінку. В таблиці 2.5 наведені математичні моделі, які можна використовувати для оперативного прогнозування виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування залежно від петрографічних показників якості заводських шихт.

Статистична оцінка адекватності даних рівнянь показала високі коефіцієнти кореляції від 0,648 до 0,998 і коефіцієнти детермінації від 41,99 до 99,60 %; стандартна похибка розрахунку при прогнозуванні виходу коксу складає 0,019 %, смоли – 0,016 %, сирого бензолу – 0,015 %, пірогенетичної вологи – 0,456 %, що не перевищує допустимої похибки визначення згідно проекту ДСТУ «Вугілля кам'яне. Метод визначення виходу хімічних продуктів коксування» і характеризує дані залежності як придатні для прогнозування виходу коксу та основних хімічних продуктів коксування на основі даних петрографічного аналізу.

Отриманні результати прогнозування виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування залежить від петрографічних показників якості виробничих шихт.

Таблиця 2.5

Математичні моделі для оперативного прогнозування виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування залежно від петрографічних показників якості виробничих шихт

Модель	Вид моделі	Статистичні оцінки*		
		R	D, %	σ , %
2.1	$V_k = 15,283R_o - 0,0188\sum OK + 60,363$	0,998	99,60	0,019
2.2	$V_{cm} = -3,8481R_o - 0,00182\sum OK + 8,25$	0,996	99,20	0,016
2.3	$V_{H_2O} = -2,6687R_o - 0,0234\sum OK + 6,8085$	0,884	78,15	0,456
2.4	$V_{CO_2} = -1,9218R_o - 0,0039\sum OK + 2,8815$	0,648	41,99	0,634
2.5	$V_{C_{mH_n}} = -0,7615R_o - 0,0049\sum OK + 1,3912$	0,927	85,93	0,093
2.6	$V_{C_6H_6} = -1,0480R_o - 0,0009\sum OK + 2,4366$	0,996	99,20	0,015
2.7	$V_{\Gamma} = -4,2286R_o - 0,0571\sum OK + 16,1091$	0,930	86,49	0,674
Примітка. *R– коефіцієнт множинної кореляції; D - коефіцієнт детермінації; σ - середньоквадратичне відхилення.				

Примітка. Джерело: розроблено автором.

Отримані рівняння можна використовувати для прогнозу виходу продуктів коксування.

2.2 Ефективність запропонованих дослідницьких рішень

Кваліфікаційною роботою передбачається дослідження та отримання кількісних залежностей при прогнозуванні виходу коксу та основних хімічних продуктів коксування на дослідницькій установці «Карботест» цеху КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Як вже зазначалося, установка «Карботест» призначена для визначення кількості і якості хімічних продуктів коксування вугілля і вугільних сумішей.

Вона дозволяє провести тест коксування в умовах, які наближені до промислових. Установка управляється запрограмованою системою SIMATIC, що працює спільно з комп'ютером, що дозволяє здійснювати спостереження за ходом процесу коксування в реальному часі, а також архівацію даних всіх здійснених випробувальних циклів коксування залежно від петрографічних показників якості виробничих шихт. Як параметр, що застосовується в прогнозованих рівняннях, використано показник виходу летких речовин із шихти. Прогнозуючі рівняння враховують конструктивні особливості діючих на заводі коксових батарей, а також особливості технології підготовки вугілля до коксування. Це у свою чергу дозволить вибрати склад вугільної шихти й спосіб підготовки вугілля, які дозволять досягти максимального виходу коксу й хімічних продуктів коксування, тобто буде сприяти зниженню втрат хімічних продуктів коксування, зокрема аміаку й бензолу на 0,31 %, а смоли на 1,21 %.

Використовуючи дані з матеріального балансу коксування визначимо збільшення виходу хімічних продуктів коксування, до якого приводить правильне прогнозування виходу хімічних продуктів коксування, завдяки даним, які отримали на дослідницькій установці.

Капітальні витрати на монтаж установки «Карботест» включають первісну вартість апарату та додаткові капітальні витрати (вартість монтажу і транспортування і визначаються за формулою:

$$K_B = K_1 + K_d, \quad (2.8)$$

де K_1 – первісна вартість установки, 75000000 грн.;

K_d – додаткові капітальні витрати, включають вартість монтажу і транспортування і складають 30 % вартості установки «Карботест».

Тоді:

$$K_d = 75000000 \cdot 0,3 = 22500000 \text{ грн ,}$$

$$K_B = 75000000 + 22500000 = 97500000 \text{ грн.}$$

Для визначення витрат на поточний ремонт (згідно з плановими графіками проведення ППР) установки використано формулу:

$$PP_2 = K_B \cdot 6/100 , \quad (2.9)$$

де 6 % – витрати на поточний ремонт установки, які встановлено за статистичними даними цеху у відсотках до суми первісної балансової вартості основних фондів.

Отже:

$$PP_2 = 97500000 \cdot 6 / 100 = 5850000 \text{ грн.}$$

Згідно ЗУ «Про оподаткування прибутку підприємств» на собівартість продукції можуть бути віднесені затрати на капітальний ремонт в розмірі 10 % в балансової вартості основних фондів.

Тому, величина капітальних витрат на капітальний ремонт по дослідницькій установці повинна складати:

$$97500000 \cdot 10/ 100 = 9750000 \text{ грн,} \quad (2.10)$$

Але, необхідно зауважити, що згідно з графіком проведення капітальних ремонтів вони проводяться з періодичністю 1 раз 3-5 років.

Витрати на електроенергію.

Дослідна установка працює 6 годин на добу при цьому вона споживає 90 кВт/год. За плановою калькуляцією на 2011 рік для коксового цеху установлена ціна електроенергії за 1кВт - 0,59.

Розрахуємо скільки електроенергії витрачається на добу при роботі установки «Карботест»:

$$90 \cdot 6 = 540 \text{ кВт.} \quad (2.11)$$

На рік витрачається:

$$E = 540 \cdot 269 = 145260 \text{ кВт,}$$

де 269 – номінальний час роботи установки.

Якщо ціна за 1 кВт дорівнює 9 грн., тоді витрати за рік складуть:

$$BE = 145260 \cdot 9 = 1307340 \text{ грн.} \quad (2.12)$$

Розраховуємо витрати на розмитнення на кордоні при ввезенні установки:

75000000 грн. – загальна вартість установки;

5 % від загальної вартості йде на розмитнення на кордоні.

Витрати складають 3750000 грн.

Процес амортизації означає перенесення частинами вартості основних фондів протягом терміну їх використання на вироблену продукцію. Нарахування амортизації здійснюється протягом строку корисного використання цих фондів. Величина амортизаційних відрахувань залежить від методів їх нарахування і визначається на основі норм амортизації.

Розрахунок величини амортизаційних відрахувань здійснюється за формулою

$$A = \frac{K_B}{H_A}, \quad (2.13)$$

де A – амортизаційні відрахування групи основних засобів за плановий період, тис. грн.;

H_A – норма амортизацій.

Річна норма амортизаційних відрахувань для 3 групи основних засобів - 20 % в рік, або 5 % за квартал.

Річна сума амортизаційних відрахувань (A) складе:

$$A = \frac{97500000}{5} = 19500000 \text{ грн.} \quad (2.14)$$

За I кв. сума амортизаційних відрахувань (A_1) складе:

$$A_1 = \frac{A}{4}, \quad (2.15)$$

$$A_1 = \frac{19500000}{4} = 4875000 \text{ грн.}$$

За II кв. сума амортизаційних відрахувань (A_2) складе:

$$A_2 = A + A_1, \quad (2.16)$$

$$A_2 = 19500000 + 4875000 = 24375000 \text{ грн.}$$

За III кв. сума амортизаційних відрахувань (A_3) складе:

$$A_3 = A_2 + A, \quad (2.17)$$

$$A_3 = 24375000 + 19500000 = 43875000 \text{ грн.}$$

За VI кв. сума амортизаційних відрахувань (A_4) складе

$$A_4 = A_3 + A, \quad (2.18)$$

$$A_4 = 43875000 + 19500000 = 19543875 \text{ грн.}$$

Абсолютна ефективність капіталовкладень відбиває загальну величину їх віддачі на підприємстві.

Для визначення абсолютної ефективності застосовують два взаємозв'язані показники:

- коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень;
- період окупності капіталовкладень, який є оберненим.

Впровадження в дію технології «Карботест» як зазначалось дає можливість прогнозувати вихід коксу та хімічних продуктів коксування залежно від петрографічних показників якості заводських шихт.

Це в свою чергу дає можливість отримати максимальний вихід хімічних продуктів коксування без втрат.

За рахунок цього передбачено отримання значної суми економії грошових коштів.

З таблиці 1 (Додаток А) узятий склад дослідницької вугільної шихти для якого зроблено матеріальний баланс коксування.

Дані для визначення виходу та вартості коксу та хімічних продуктів коксування взяті з таблиці 2 (Додаток А).

В таблиці 2.6 наведені вихідні дані для розрахунку зниження втрат аміаку, сирого бензолу та смоли коксування при впровадженні та роботі установки «Карботест».

Таблиця 2.6

Вихідні дані для розрахунку зниження втрат аміаку, сирого бензолу та смоли коксування при впровадженні та роботі установки «Карботест»

Продукти коксування	Матеріальний баланс виходу продуктів коксування, %	Кількість продуктів, т	Вихід продуктів коксування з дослідної установки «Карботест», %	Приріст виходу продуктів коксування, %
Смола	3,26	88020	4,47	1,21
NH ₃	0,26	7020	0,38	0,12
бензол	1,13	30510	1,44	0,31
Шихта	100	2700000	-	-

Примітка. Джерело: розроблено автором

Розраховуємо зниження втрат аміаку, сирого бензолу та смоли коксування при впровадженні та роботі установки «Карботест».

Зниження втрат аміаку:

$$7020 \cdot 0,12 = 842,4 \text{ т}, \quad (2.17)$$

де 0,12 – коефіцієнт зниження втрат аміаку коксування;

7020 – вихід аміаку при коксуванні.

Розраховуємо на скільки збільшиться вихід аміаку при впровадженні дослідницьких рішень:

$$7020 - 842,4 = 6177,6 \text{ т}, \quad (2.18)$$

Згідно калькуляції цеху вартість аміаку становить 12000 грн. за тону.

Розраховуємо економію на збільшенні виходу аміаку:

$$6177,6 \cdot 12000 = 74131200 \text{ грн.} \quad (2.19)$$

Зниження втрат сирого бензолу:

$$30510 \cdot 0,31 = 9458,1 \text{ т,} \quad (2.20)$$

де 0,31 – коефіцієнт зниження втрат сирого бензолу коксування;

30510 – вихід сирого бензолу при коксуванні.

Розраховуємо на скільки збільшиться вихід сирого бензолу при впровадженні дослідницьких рішень:

$$30510 - 9458,1 = 21051,9 \text{ т,} \quad (2.21)$$

Згідно калькуляції цеху вартість сирого бензолу становить 55000 грн. за тону.

Розраховуємо економію на збільшенні виходу сирого бензолу:

$$21051,9 \cdot 5500 = 115785450 \text{ грн.} \quad (2.22)$$

Зниження втрат смоли:

$$88020 \cdot 1,21 = 18484,2 \text{ т,} \quad (2.23)$$

де 1,21 – коефіцієнт зниження втрат аміаку коксування;

88020 – вихід смоли при коксуванні.

Розраховуємо на скільки збільшиться вихід смоли при впровадженні дослідницьких рішень:

$$88020 - 18484,2 = 69535,8 \text{ т} \quad (2.24)$$

Згідно калькуляції цеху вартість смоли становить 2800 грн. за тонну.
Розраховуємо економію на збільшенні виходу смоли:

$$69535,8 \cdot 2800 = 194700240 \text{ грн.} \quad (2.25)$$

Загальна економія від збільшення виходу аміаку, смоли, бензолу (ЕВ):

$$74131200 + 115785450 + 194700240 = 280416890 \text{ грн.} \quad (2.26)$$

Додатковий прибуток:

$$П_{\text{дод.}} = ЕВ - ВЕ \quad (2.27)$$

$$П_{\text{дод.}} = 280416890 - 1307340 = 279109550 \text{ грн.}$$

Економічний ефект складає:

$$Е = П_{\text{дод.}} - 0,15 \cdot К_{\text{в}}, \quad (2.28)$$

$$Е = 279109550 - 0,15 \cdot 97500000 = 264484550 \text{ грн.}$$

Строк окупності (зворотності) капітальних вкладень, які заплановані на впровадження нової техніки, Т і додаткових капітальних вкладень $К_{\text{в}}$.

$$T = \frac{К_{\text{в}}}{П_{\text{дод.}} + А}, \quad (2.29)$$

$$T = \frac{97500000}{279109550 + 19543875} = 4 \text{ місяці}$$

Доведена економічна доцільність дослідницької установки «Карботест» яка дає можливість прогнозувати вихід коксу та хімічних продуктів коксування залежно від петрографічних показників якості заводських шихт.

Економічний ефект, отриманий за рахунок збільшення виходу смоли, бензолу, аміаку, від використання дослідницької установки «Карботест» складає 264484550 грн. Окупність установки склала 4 місяці .

2.3 Висновки до основної частини

1. Для дослідження впливу петрографічного складу на вихід продуктів коксування в роботі була використана установка «Карботест», яка призначена для визначення кількості виходу і якості хімічних продуктів коксування. До складу установки входять: трубчата піч з кран-балкою; реторта з нагрівальним вкладишем; охолоджувач; електрофільтр; газовий лічильник; лабораторна сушарка; лабораторні терези; додаткове обладнання (майданчики, штативи, приймальні резервуари, скляні ємкості, термопари, вакуумний насос, кварцовий фільтр, гумові шланги).

2. В якості вугілля для дослідження були обрано вугілля, яке надходить на переробку ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Для ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг» склали чотири варіанта шихти з концентратів, які поступили на підприємство з різних ЦЗФ. Це пояснює петрографічну неоднорідність вугільної шихти. Чотири варіанта шихти відрізняються між собою часткою вмісту компонентів мацералів групи інертиніту: 16 % і 24 %, ліптиніту 1 % або 2 %, вітриніту 82 % або 74 %, семівітриніту. А також сумою опіснюючих компонентів Σ ОК, значення яких 17 % або 25 %, і відбиття вітриніту дорівнює 0,93 або 1,07 (1,05) %. Всі шихти мають однаковий склад семівітриніту – 1 %.

3. В результаті проведення коксування в дослідній установці «Карботест» отримали кокс і хімічні продукти коксування з чотирьох варіантів шихт. Вихід коксу отримали 76,39 % і 74,09 %, вихід смоли 4,46 % і 4,00 %,

пірогенетична вода - 3,68 і 3,46 %, аміак - 0,39 і 0,31 %, CO_2 – 1,15 і 0,76 %, H_2S – 0,61 і 0,55 %, C_6H_6 – 1,44 і 1,30 %, коксового газу – 13,71 і 12,72 %

4. Отримані кількісні залежності рівнянь регресії виходів продуктів коксування. Тісний зв'язок з високими коефіцієнтами кореляції від 0,7 до 0,9 відзначені для таких пар, які мають зворотну залежність: кокс-смола, кокс-пірогенетична вода, кокс-газ, кокс-відбиття вітриніту, вода-відбиття вітриніту, пірогенетична вода – відбиття вітриніту. Тісний зв'язок з високими коефіцієнтами кореляції від 0,7 до 0,9 відзначені для таких пар, які мають пряму залежність: смола – відбиття вітриніту, смола – вода, смола – відбиття вітриніту, смола – бензол, бензол – відбиття вітриніту, пірогенетична вода – вода.

5. Отримали залежності для прогнозу виходу для продуктів коксування: статистична оцінка адекватності рівнянь показала високі коефіцієнти кореляції від 0,648 до 0,998 і коефіцієнти детермінації від 41,99 до 99,60 %; стандартна похибка розрахунку при прогнозуванні виходу коксу складає 0,019 %, смоли – 0,016 %, сирого бензолу – 0,015 %, пірогенетичної вологи – 0,456 %, що не перевищує допустимої похибки визначення згідно проекту ДСТУ «Вугілля кам'яне. Метод визначення виходу хімічних продуктів коксування» і характеризує дані залежності як придатні для прогнозування виходу коксу та основних хімічних продуктів коксування на основі даних петрографічного аналізу.

6. Отримані результати математичних моделей для прогнозування виходу коксу і основних хімічних продуктів коксування на основі петрографічних характеристик, а саме коефіцієнт відбиття вітриніту – R_0 , і суми опіснюючих компонентів – $\sum OK$.

ВИСНОВКИ

1. Вихід і якість основних продуктів коксування є одними з найважливіших факторів, що визначають техніко-економічні показники виробництва в цілому.

В роботі показані та проаналізовані, які показники шихти впливають на вихід продуктів коксування: вихід летких речовин, зольність, петрографічний і елементний склад.

2. У роботі встановлено, що раніше для прогнозування якості виходу продуктів коксування використовувався параметр - вихід летких речовин.

В роботі проаналізовано декілька емпіричних формул по виходу продуктів коксування в залежності від виходу летких речовин в шихті.

Був обумовлений факт, що зростання у сировинній базі коксування українських коксохімічних підприємств вмісту імпортного, в тому числі петрографічно неоднорідного вугілля призвело до того, що розроблені раніше математичні залежності для прогнозування виходу основних продуктів коксування тільки за виходом летких речовин не забезпечують необхідної точності прогнозування.

3. Наряду з виходом летючих речовин параметр зольності шихти теж впливає на вихід продуктів коксування: збільшення показника A_{uu}^{daf} на 1% викликає зниження виходу металургійного коксу від маси сухої шихти.

4. Наразі петрографічний склад вугілля впливає на вихід продуктів коксування на ряду з виходом летких речовин.

В роботі в якості основних параметрів властивостей вугілля і вугільних шихт були використані їх петрографічні характеристики: середній довільний показник відбиття вітриніту ($R_0, \%$) і сума фюзинізованих компонентів ($\sum OK-1+2/3Sv, \%$), які перебувають у тісному зв'язку з виходами коксу, смоли, сирого бензолу та коксового газу. Більший вміст фюзенізованих компонентів при одному рівні виходу летких речовин у вугіллі приводить до збільшення виходу з них коксу і газу з одночасним зниженням виходу смоли і бензолу.

В роботі проаналізовано вплив петрографічних компонентів на вихід продуктів коксування: з підвищенням вмісту інертиніту у вугіллі можна очікувати помітне зниження виходу смоли та бензолу, збільшення показника відбиття вітриніту вугілля веде до збільшення виходу коксу і зменшення виходу смоли, бензолу і газу, збільшення вмісту у вугіллі ліптиніту веде до зменшення виходу коксу і збільшення виходу хімічних продуктів коксування.

5. На сьогоднішній день в шихтах заводів України використовують петрографічно неоднорідне вугілля, що являє собою суміш мацералів вітриніту, інертиніту і ліптиніту, які різко розрізняються за властивостями.

Оскільки петрографічний склад пов'язаний з елементним складом, отже проаналізовано вплив мацералів на вихід продуктів коксування.

Вміст в органічній масі кам'яного вугілля вуглецю, водню і кисню залежить від кількісного співвідношення, а також структури і властивостей трьох основних груп мацералів: інертиніт, вітриніт, ліптиніт.

Було виявлено, що формування виходу коксу багато в чому залежить від вмісту інертиніту в органічній масі вугілля, а хімічних продуктів коксування – від вмісту ліптиніту і вітриніту.

6. Для дослідження впливу петрографічного складу на вихід продуктів коксування в роботі була використана установка «Карботест»

7. В результаті проведення коксування в дослідній установці «Карботест» отримали кокс і хімічні продукти коксування з чотирьох варіантів шихт. Вихід коксу отримали 76,39% і 74,09%, вихід смоли 4,46% і 4,00%, пірогенетичної води - 3,68 і 3,46%, аміаку - 0,39 і 0,31%, CO_2 – 1,15 і 0,76%, H_2S – 0,61 і 0,55%, C_6H_6 – 1,44 і 1,30%, коксового газу – 13,71 і 12,72%.

8. Встановлено кількісні регресійні залежності виходу продуктів коксування. Аналіз кореляційних зв'язків показав наявність тісних взаємозв'язків із високими значеннями коефіцієнтів кореляції ($r = 0,7-0,9$) для пар показників зі зворотною залежністю, а саме: кокс–смола, кокс–пірогенетична вода, кокс–газ, кокс–коефіцієнт відбиття вітриніту, вода–коефіцієнт відбиття ві-

риніту, пірогенетична вода–коєфіцієнт відбиття вітриніту.

9. Водночас виявлено тісні кореляційні зв'язки з високими коєфіцієнтами кореляції ($r = 0,7-0,9$) для пар показників із прямою залежністю, зокрема: смола–коєфіцієнт відбиття вітриніту, смола–вода, смола–бензол, бензол–коєфіцієнт відбиття вітриніту, пірогенетична вода–вода.

10. Отримано прогнозні залежності для визначення виходу продуктів коксування. Статистична оцінка адекватності побудованих рівнянь засвідчила високі значення коєфіцієнтів кореляції ($r = 0,648-0,998$) та коєфіцієнтів детермінації ($R^2 = 41,99-99,60\%$). Стандартна похибка прогнозування становить: для коксу — 0,019 %, для смоли — 0,016 %, для сирого бензолу — 0,015 %, для пірогенетичної вологи — 0,456 %.

11. Розроблено математичні моделі прогнозування виходу коксу та основних хімічних продуктів коксування на основі петрографічних характеристик вугілля, зокрема коєфіцієнта відбиття вітриніту (R_0) та сумарного вмісту окиснених компонентів ($\sum OK$).

12. Доведена економічна доцільність використання дослідницької установки «Карботест», яка дає можливість прогнозувати вихід коксу та хімічних продуктів коксування залежно від петрографічних показників якості виробничих шихт. Економічний ефект, отриманий за рахунок збільшення виходу смоли, бензолу, аміаку, від використання дослідницької установки «Карботест» складає 83076415,5. Окупність установки склала 1 місяць.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lyalyuk, V.P, Shmeltser, E.O., Kassim, D.A. Improving the technology production of coke for blast furnace smelting. Octan Print, Praga: 2022. 197 p.
<https://doi.org/10.46489/ITTPROC-229>
2. M.A. Di 'ez*, R. Alvarez, C. Barriocanal. Coal for metallurgical coke production: predictions of coke quality and future requirements for cokemaking. *International Journal of Coal Geology*. 2002. Vol. 50. P. 389– 412.
3. Справочник коксохимика. В 6-ти томах. Том 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию / Под общ. ред. Л.Н. Борисова, Ю.Г. Шаповалова. – Харьков: Издательский Дом “Инжек”, 2010. – 536 с.
4. Suárez-Ruiz, I. and Crelling, J.C. *Applied Coal Petrology*. The Role of *Petrology* in *Coal Utilization*. Elsevier, 2018. Amsterdam, 388 p.
5. Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація: ДСТУ 3472–1996. – [Действующий от 1997–01–01]. – К.: Держстандарт України, 1997. – 22 с. – (Національний стандарт України).
6. Развитие научных основ составления угольных шихт из углей разных бассейнов / Кафтан Ю.С., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В и др. // Угলেখимический журнал. – 2010. – № 3-4. – С. 25-31.
7. Richard Sakurovs. Interactions between coking coals in blends. *Fuel*. 2002. Vol. 82. P.439–450.
8. Lauren North, Karen Blackmore, Keith Nesbitt, Merrick R. Mahoney. Models of coke quality prediction and the relationships to input variables: A review. *Fuel*. 2018. Vol. 219. P. 426–445.
9. Mihaela Grigore, Richard Sakurovs, David French, Veena Sahajwalla Properties and CO₂ reactivity of the inert and reactive maceral-derived components in cokes. *International Journal of Coal Geology*. 2012. Vol. 98. P. 1–9.

10. Sushil Gupta, Fenglei Shen, Woon-Jae Lee, Graham O'Brien. Improving coke strength prediction using automated coal petrography. *Fuel*. 2012. Vol. 94. P. 368–373.
11. Xing Xing, Harold Rogers, Paul Zulli, Kim Hockings, Oleg Ostrovski. Effect of coal properties on the strength of coke under simulated blast furnace conditions. *Fuel*. 2019. Vol. 237. P. 775–785.
12. Pusz S., Buszko R. Reflectance parameters of cokes in relation to their reactivity index (CRI) and the strength after reaction (CSR), from coals of the Upper Silesian Coal Basin, Poland. *International Journal of Coal Geology*. 2012. Vol. 90. P. 9–43.
13. Dash PS, Guha M, Chakraborty D, Banerjee PK. Prediction of coke CSR from coal blend characteristics using various techniques: a comparative evaluation. *Int J Coal Prep Util*. 2012. Vol. 32(4). P. 92–169.
14. Hilding T., Gupta S., Sahajwalla V., Byorkman B., Wikstzom J. Degradation Behavior of a High CSR Coke in an Experimental Blast Furnace: Effect of Carbon Structure and Alkali Reactions. *ISSY International*. 2005. Vol. 45 (7). P. 1041–1050.
15. Grigore M., Sakurovs R., French D., Sahajwalla V. Properties and CO₂ reactivity of the inert and reactive maceral derived components in cokes. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 98. 2012. P. 1–9.
16. Bruno D. Flores, Angeles G. Borrego, Maria A. Diez, Guilherme L.R. da Silva, Victor Zymla, Antônio C.F. Vilela, Eduardo Osório. How coke optical texture became a relevant tool for understanding coal blending and coke quality. *Fuel Processing Technology*. 2017. Vol. 164. P. 13–23.
17. Pusz S., Krzesińska M., Smędowski Ł., Majewska J., Pilawa B., Kwiecińska B. Changes in a coke structure due to reaction with carbon dioxide. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 81(4). 2010. P. 92–287.
18. Pusz S., Buszko R. Microscopic characteristics and technological parameters of cokes from various initial coals. In: 62nd Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP); 2010.

19. Mariano de Córdova, Jorge Madias, Javier Barreiro. Review of modeling of coal blends for prediction of coke // *Contribuição técnica ao 46 Seminário de Redução de Minerio de Ferro e Materias-primas, 26-30 setembro de 2016, Rio de Janeiro, Brasil.*
20. Использование петрографических характеристик и новых комплексных показателей для оценки свойств углей и межбассейновых шихт ОАО “Запорожкокс” / Ю.А. Чернышов, С.А. Овчинникова, А.В. Подлубный и др. // *Углекимический журнал.* – 2009. – №1-2. – С. 12-20.
21. Improving the technology of preparing coal for the production of blast-furnace coke under the conditions of multi-basin raw material base. Message 1. Optimizing the composition of coal batch by means of petrographic characteristics / V.P. Lyalyuk, D.A. Kassim, E.O. Shmeltser, I.A. Lyakhova // *Petroleum and coal.* 2019. Vol. 61(1). pp.90-93.
22. Скляр М.Г. Зависимость выхода продуктов коксования от удельного участия газовых углей в шихте / М.Г. Скляр // *Кокс и химия.* – 1968. - №7. - С. 23 – 25.
23. Улановский М.Л. Зависимость выхода продуктов коксования от удельного участия газовых углей в шихте / М.Л. Улановский // *Кокс и химия.* – 1990. - №1. - С. 51 – 52.
24. Козина О.Я. Влияние марочного состава угольной шихты и температурного режима коксования на выход и качество химических продуктов коксования / О.Я. Козина, Т.П. Некрасова // *Кокс и химия.* – 2008. - №2. - С. 42 – 43.
25. Современное состояние вопроса прогнозирования выхода кокса и основных химических продуктов коксования / М.Б Головкин [та ін.] // *Кокс и химия.* – 2011. - №9. - С. 45 – 51.
26. Козина О.Я. Влияние марочного состава угольной шихты и температурного режима коксования на выход и качество химических продуктов коксования / О.Я. Козина, Т.П. Некрасова // *Кокс и химия.* – 2008. - №2. - С. 42 – 43.

- 27.Использование петрографических характеристик углей для прогноза выхода основных продуктов коксования / Д.В Мирошниченко [та ін.] // УглеХимический журнал. – 2009. - №3-4. - С. 34 – 36.
- 28.Козина О.Я. Влияние марочного состава угольной шихты и температурного режима коксования на выход и качество химических продуктов коксования / О.Я. Козина, Т.П. Некрасова // Кокс и химия. – 2008. - №2. - С. 42 – 43.
- 29.Современное состояние вопроса прогнозирования выхода кокса и основных химических продуктов коксования / М.Б Головки [та ін.] // Кокс и химия. – 2011. - №9. - С. 45 – 51.
- 30.Использование данных элементного и петрографического анализов углей для прогнозирования выхода химических продуктов коксования /М.Б Головки [та ін.]// Кокс и химия. – 2012. - №6. - С. 9 – 17.
- 31.Темченко, О.А. Економіка підприємства: навч. посібник. / О.А.Темченко, І.С. Іванова. – Кривий Ріг: Видавництво "Мінерал", 2010. – 385 с.

ДОДАТКИ

Розрахунок матеріального балансу коксування шихти обраного складу

Матеріальний баланс коксування складається на підставі закону збереження маси речовин:

$$\sum G_{\text{вих.}} = \sum G_{\text{кін.}}, \quad (1)$$

де $\sum G_{\text{вих.}}$ – сума ваги сухої вугільної шихти (початкових продуктів процесу) і кількості вологи, що поступила з нею в коксові печі;

$\sum G_{\text{кін.}}$ – сума ваги коксу, газу, смоли і інших хімічних продуктів (кінцевих продуктів), одержаних при коксуванні вугільної шихти.

На коксохімічному виробництві кінцеві продукти, за винятком пірогенетичної води, враховують достатньо точно (як товарні). Тому для складання матеріального балансу використовують дані цехових технічних звітів. Щоб визначити вихід пірогенетичної вологи, застосовують розрахунковий метод – визначають вміст кисню у вугільній шихті і підраховують вихід пірогенетичної вологи.

Останніми роками значно змінилася сировинна база коксування, оскільки почали застосовувати у великих кількостях газове вугілля і частково інші (пісні, довгополум'яні), які раніше не використовувалися для отримання металургійного коксу. У зв'язку з цим змінився вихід коксу і летючих хімічних продуктів коксування; знадобилося змінити деякі загальноприйняті формули, наблизити їх до фактичних виходів кінцевих продуктів.

Початкові дані для розрахунку. Технічний аналіз шихти.

Початковими даними для розрахунку якості шихти є:

- а) склад шихти за марками (шахтогрупам) і шахтах або ЦЗФ;
- б) якість вугілля окремих шахт.

Шихта призначена для отримання доменного коксу на коксохімічному заводі без вуглезбагачувальної фабрики, тому вона складається із збагаченого вугілля, що поступає на завод з ЗФ і ЦЗФ.

У таблиці 2.1 приведені дані для розрахунку якості шихти.

Таблиця 1

Склад шихти по марках і якості вугілля, вибраного для розрахунку

Найменування ЦЗФ	Марка	% участі	Показники технічного аналізу %				
			W_t^r	A^d	S_t^d	V^{daf}	$Y, \text{мм}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Шолоховська	Г	13,5	12,0	6,8	0,41	37,0	8
Распадська	ГЖ	13,5	13,6	9,2	0,46	38,1	17
Самсоновська	Ж	27	8,5	8,6	3,52	34,7	33
Вугілля США	Ж	10	6,0	6,4	0,82	36,2	18
Пролетарська	К	9	15,0	8,1	2,23	29,3	30
Чумаковська	К	9	7,5	9,1	0,78	28,7	12
Шолоховська	КС	18	7,9	7,1	0,35	20,4	6
Нерюнгрінська	ПС	-	6,8	10,3	0,25	19,3	8
Шихта	-	100	9,8	7,9	1,48	32,3	19

Показники технічного аналізу можна підрахувати, виходячи з правил адитивності.

Підраховують очікувану якість шихти за цими показниками.

Вміст вологи в робочій шихті:

$$W_{ш}^p = \frac{12,0 \cdot 13,5 + 13,6 \cdot 13,5 + 8,5 \cdot 27 + 6,0 \cdot 10,0 + 15,0 \cdot 9,0 + 7,5 \cdot 9 + 7,9 \cdot 18}{100} = 9,8 \% \quad (2)$$

Вміст золи в сухій шихті:

$$A_{ш}^c = \frac{6,8 \cdot 13,5 + 9,2 \cdot 13,5 + 8,6 \cdot 27 + 6,4 \cdot 10 + 8,1 \cdot 9 + 9,1 \cdot 9,0 + 7,1 \cdot 18}{100} = 7,9 \% \quad (3)$$

Вміст сірки в сухій шихті:

$$S_{ш}^c = \frac{0,41 \cdot 13,5 + 0,46 \cdot 13,5 + 3,52 \cdot 27 + 0,82 \cdot 10 + 2,23 \cdot 9 + 0,78 \cdot 9,0 + 0,35 \cdot 18}{100} = 1,48\% \quad (4)$$

Вихід летких речовин шихти в перерахунку на горючу масу:

$$V_{ш}^c = \frac{37,0 \cdot 13,5 + 38,1 \cdot 13,5 + 34,7 \cdot 27 + 36,2 \cdot 10 + 29,3 \cdot 9 + 28,7 \cdot 9,0 + 21,9 \cdot 18}{100} = 32,3\% \quad (5)$$

Товщина пластичного шару

$$Y = \frac{8 \cdot 13,5 + 17 \cdot 13,5 + 33 \cdot 27 + 18 \cdot 10 + 30 \cdot 9 + 12 \cdot 9,0 + 6 \cdot 18}{100} = 19 \text{ мм} \quad (6)$$

Елементний аналіз шихти на вміст органічної маси прийнятий за наслідками багатьох аналізів, проведених ВХІНом і на кафедрі ХТП ДМетІ (%):

вуглець $C_{ш}^o = 86,78$; водень $H_{ш}^o = 5,20$;

кисень $O_{ш}^o = 6,02$; азот $N_{ш}^o = 2,00$.

Вміст золи і сірки в робочій шихті:

$$A_{ш}^p = A_{ш}^c \frac{100 - W_{ш}^p}{100} = 7,9 \frac{100 - 9,8}{100} = 7,13\% \quad (7)$$

$$S_{ш}^p = S_{ш}^c \frac{100 - W_{ш}^p}{100} = 1,48 \frac{100 - 9,8}{100} = 1,33\% \quad (8)$$

Вихід летких речовин перераховують з горючої на суху зольну масу шихти:

$$V_{ш}^c = V_{ш}^c \frac{100 - A_{ш}^c}{100} = 32,3 \frac{100 - 7,9}{100} = 29,75\% \quad (9)$$

Показники елементного аналізу з органічної маси перераховують на робочу масу шихти:

$$C_u^p = C_u^o \frac{100 - (W_u^p + A_u^p + S_u^p)}{100}, \quad (10)$$

$$C_u^p = 86,78 \frac{100 - (9,8 + 7,13 + 1,33)}{100} = 70,93\%,$$

$$H_u^p = H_u^o \frac{100 - (W_u^p + A_u^p + S_u^p)}{100}, \quad (11)$$

$$H_u^p = 5,20 \frac{100 - (9,8 + 7,13 + 1,33)}{100} = 4,25,$$

$$O_u^p = O_u^o \frac{100 - (W_u^p + A_u^p + S_u^p)}{100}, \quad (12)$$

$$O_u^p = 6,02 \frac{100 - (9,8 + 7,13 + 1,33)}{100} = 5,07\%,$$

$$N_u^p = N_u^o \frac{100 - (W_u^p + A_u^p + S_u^p)}{100} \quad (13)$$

$$N_u^p = 2,00 \frac{100 - (9,8 + 7,13 + 1,33)}{100} = 1,63\%.$$

Одержаний аналіз шихти в перерахунку на робочу масу зводять в контрольну строчку, щоб переконатися в правильності арифметичних підрахунків (%): $W_u^p = 9,8$; $A_u^p = 7,13$; $S_u^p = 1,33$; $C_u^p = 70,93$; $H_u^p = 4,25$; $O_u^p = 5,07$; $N_u^p = 1,63$.

Сума цих показників 100 %.

Розрахунок матеріального балансу коксування для проектного заводу.

Розрахунок матеріального балансу ведуть для продуктивності 2700000 т/рік вологої шихти або в перерахунку на суху шихту.

Матеріальний баланс складається з двох частин: прибуткової і витратної.

Прибуткова частина складається з двох статей: суха шихта і волога шихта.

Довгий час вважалося, що прибуткова частина матеріального балансу коксування повинна складатися з трьох статей: суха шихта, волога шихти, а також кількість повітря і продукти горіння, підсмоктані з опалювальної системи. У зв'язку з впровадженням позитивного тиску в камері коксування і відповідного розрідження в опалювальній системі можливість підсосу повітря і продуктів горіння виключена.

Витратна частина складається з дев'яти статей: кокс валовий, коксовий газ і всі уловлювані з нього основні хімічні продукти коксування, вихід яких з шихти не нижче 0,1 %. До них відносяться: кам'яновугільна смола, сирий бензол, аміак, сірководень, волога шихти і вода пірогенетична. Важливою статтею є «нев'язка балансу», що показує, наскільки точно зроблений його розрахунок.

Прибуткова частина:

1. Сухая шихта. Завантажену в камеру коксування суху шихту підраховують за формулою:

$$G_{ш}^c = G_{ш}^p \frac{100 - W_{ш}^p}{100} = 2700000 \frac{100 - 9,8}{100} = 2435400 \text{ т}, \quad (14)$$

з 2 700 000 т робочої шихти

2. Волога шихти. Завантажену в камеру коксування вологу разом з шихтою підраховують за формулою:

$$G_{ш}^e = G_{ш}^p \frac{W_{ш}^p}{100} = 2700000 \frac{9,8}{100} = 264600 \text{ т}, \quad (15)$$

з 2700000 т робочої шихти.

Витратна частина:

1. Кокс валовий. Під коксом валовим розуміється сума крупного коксу, коксового горішка, коксової дрібниці, що одержують при сортуванні рядового коксу, а також коксовий шлам, що уловлюється з відстійників башти гасіння.

Вихід сухого коксу валового з сухої шихти підраховують за формулою

$$G_{\kappa}^c = \frac{100 - V_{ш}^c}{100 - V_{\kappa}^c} \cdot 100 + a, \quad (16)$$

де $V_{ш}^c$ – вихід летких речовин шихти на суху масу, %, $V_{ш}^c = 29,75$ %;

V_{κ}^c – вихід летких речовин коксу валового на суху зольну масу, %.

Звичайно приймається 1,0 %; a - поправка (різниця) на вихід коксу, що одержується у виробничих умовах і при визначенні виходу летких речовин в лабораторних умовах, %.

Поправку a , звану пригрівом, знаходять за формулою, запропонованою Г.П. Гейдом і А.Я. Обухівським

$$a = K_n V_{ш}^c, \quad (17)$$

де K_n - коефіцієнт піролізу, залежний при рівному температурному режимі коксування від виходу летючих речовин $V_{ш}^c$ і визначуваний за допомогою допоміжного графіка.

При $V_{ш}^c = 29,75$ коефіцієнт піролізу $K_n = 0,25$,

$$a = 0,25 \cdot 29,75 = 7,43\% .$$

Тоді:

$$G_{\kappa}^c = \frac{100 - 29,75}{100 - 1,0} \cdot 100 + 7,43 = 78,39\% .$$

Вихід сухого коксу валового на робочу шихту перераховують за формулою:

$$G_{\kappa}^p = G_{\kappa}^c \frac{100 - W_{ш}^p}{100} = 78,39 \frac{100 - 9,8}{100} = 70,71\% , \quad (18)$$

тобто 1909170т з 2700000т робочої шихти.

2. Коксовий газ зворотний (сухий). Вихід коксового газу зворотного (сухого) з сухої шихти підраховують по емпіричній формулі Я.О. Габінського:

$$G_{z.g}^c = K \sqrt{V_{ш}^c} , \quad (19)$$

де K - емпіричний коефіцієнт, уточнений на кафедрі ХТП ДМетІ. Знаходиться в межах 2,54-2,99 залежно від марочного складу шихти і режиму коксування. Приймаємо рівним 2,67.

Тоді:

$$G_{z.g}^c = 2,67\sqrt{29,75} = 14,56\%$$

Перераховуємо вихід сухого газу на робочу шихту:

$$G_{z.g}^p = G_{z.g}^c \frac{100 - W_{ш}^p}{100} = 14,56 \frac{100 - 9,8}{100} = 13,13\% , \quad (20)$$

тобто 354510т з 2 700 000т робочої шихти.

3. Смола безводна. Вихід смоли безводної з сухої шихти підраховують за емпіричною формулою С.Г. Аронова і Р.Л. Мішуловіча

$$G_{см}^c = (-18,36 + 1,53 \cdot V_{ш}^2 - 0,026 \cdot V_{ш}^2) \cdot K_{см} , \quad (21)$$

де $K_{см}$ – емпіричний коефіцієнт, уточнений на кафедрі ХТП ДМетІ; знаходиться в межах 0,80-0,86 залежно від марочного складу шихти і режиму коксування. Приймаємо рівним 0,80.

Тоді

$$G_{см}^c = (-18,36 + 1,53 \cdot 32,3 - 0,026 \cdot 32,3^2) \cdot 0,80 = 3,15\%$$

Перераховуємо вихід безводної смоли на робочу шихту за формулою:

$$G_{см}^p = G_{см}^c \frac{100 - W_{ш}^p}{100} = 3,15 \frac{100 - 9,8}{100} = 2,84\% , \quad (22)$$

тобто 76 680 т з 2 700 000 т робочої шихти.

4. Сирий бензол. Вихід сирого бензолу (бензолових вуглеводнів до 180°C) з сухої шихти підраховують за емпіричною формулою С.Г. Аронова і Р.Л. Мішуловіча

$$G_{\sigma}^c = (-1,61 + 0,144 \cdot V_{uu}^c - 0,0016 \cdot V_{uu}^{c2}) \cdot K_{\sigma}, \quad (23)$$

де K_{σ} – емпіричний коефіцієнт, уточнений на кафедрі ХТП ДМетІ; знаходиться в межах 0,84-0,97 залежно від марочного складу шихти і режиму коксування. Приймаємо рівним 0,84.

Тоді:

$$G_{\sigma}^c = (-1,61 + 0,144 \cdot 32,3 - 0,0016 \cdot 32,3^2) \cdot 0,84 = 1,13\%$$

Перераховуємо вихід бензолу на робочу шихту за формулою:

$$G_{\sigma}^p = G_{\sigma}^c \frac{100 - W_{uu}^p}{100} = 1,13 \frac{100 - 9,8}{100} = 1,04\%, \quad (24)$$

тобто 28080 т з 2 700 000 т робочої шихти.

5. Аміак 100 %-вий. Вихід аміаку 100 %-го з робочої шихти підраховують за формулою:

$$G_{ам}^p = b N_{uu}^p \frac{17}{14}, \quad (25)$$

де b - коефіцієнт переходу азоту шихти в аміак, який знаходиться в межах 0,11-0,14. Приймаємо $b=0,12$;

17- молекулярної ваги аміаку;

14 – атомна вага азоту;

N_{uu}^p – вміст азоту в робочій шихті %.

Тоді:

$$G_{\text{дi}}^{\delta} = 0,12 \cdot 1,63 \cdot \frac{17}{14} = 0,24\% ,$$

тобто 6 480 т з 2700000 т робочої шихти.

6. Сірка в перерахунку на сірководень. Вихід сірки в перерахунку на сірководень з робочої шихти підраховують за формулою

$$G_s^p = K_s S_{\text{ш}}^p \frac{34}{32}, \quad (26)$$

де K_s – коефіцієнт переходу сірки шихти в сірководень, який знаходиться в межах 0,17-0,29. Приймаємо рівним 0,17;

34 – молекулярна вага сірководню;

32 – атомна вага сірки;

$S_{\text{ш}}^p$ – вміст сірки в робочій шихті, %.

Тоді:

$$G_s^{\delta} = 0,17 \cdot 1,33 \cdot \frac{34}{32} = 0,24\% ,$$

тобто 6 480 т з 2 700 000 т робочої шихти.

7. Волога шихти. Вологу шихти, що випаровується в камерах коксування, підраховують за формулою:

$$G_{\text{ш}}^e = G_{\text{ш}}^p \frac{W_{\text{ш}}^p}{100} = 2700000 \frac{9,8}{100} = 264600, \quad (27)$$

з 2 700 000 т робочої шихти.

8. Пірогенетична вода. Вихід пірогенетичної води з робочої шихти підраховують за формулою

$$G_{en}^p = K_o O_{ш}^p \frac{18}{16}, \quad (28)$$

де K_o – коефіцієнт переходу кисню шихти в пірогенетичну воду, який знаходиться в межах 0,334-0,505. Приймаємо – 0,334;

18 – молекулярна вага води;

16 – атомна вага кисню;

$O_{ш}^p$ – вміст кисню в робочій шихті, %.

Тоді:

$$G_{en}^p = 0,334 \cdot 5,07 \cdot \frac{18}{16} = 1,91\% ,$$

тобто 51570 т з 2700000 т робочої шихти.

9. Нев'язка балансу. Знаходять по різниці між прибутковою і витратною частинами:

$$2700000 - (1909170 + 354510 + 76680 + 28080 + 6480 + 6480 + 264600 + 51570) = 2430,$$

тобто 0,09 %

Нев'язка балансу вважається допустимою 0,5 %.

Для діючого заводу невязка балансу є втратами виробництва. Щоб ці втрати були мінімальними, необхідно виявляти причини невязки балансу і усувати їх.

Знаходимо коефіцієнт озолення:

$$K_{oz} = \frac{100}{G_k^c} = \frac{100}{78,39} = 1,276. \quad (29)$$

Вміст золи в коксі буде:

$$A_k^c = A_{ш}^c \cdot K_{оз} = 7,9 \cdot 1,276 = 10,08\% . \quad (30)$$

Отримані результати розрахунків вносяться в таблицю 2.

Таблиця 2

Зведений матеріальний баланс коксування вугільної шихти

Прибуткова частина				Витратна частина			
Назва статті	Вага, Т	Відсотковий склад		Назва статті	Вага, Т	Відсотковий склад	
		На робочу шихту	На суху шихту			На робочу шихту	На суху шихту
1	2	3	4	5	6	7	8
Суха шихта	2435400	90,2	100,0	1. Кокс вальовий	1909170	70,71	78,39
				2. Коксовий газ	354510	13,13	14,56
				3. Смола безводна	76680	2,84	3,26
				4. Сирий бензол	28080	1,04	1,13
				5. Аміак 100 % - вий	6480	0,24	0,26
Волога шихти	264600	9,8	-	6. Сірка в перерахунку на H ₂ S	6480	0,24	0,26
				7. Волога шихти	264800	9,8	-
				8. Пірогенетична вода	51570	1,91	2,12
				9. Нев'язка балансу	2430	0,09	0,02
Разом	2700000	100,0	100,0	Разом	2700000	100,0	100,0

Вибраний склад вугільної шихти дозволить забезпечити нормальний вихід продуктів коксування, задовільні показники якості коксу.



Звіт подібності

Метадані

Назва організації STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY		підрозділ STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY		
Заголовок 161-01д-д				
Автор 161-01д-д		Науковий керівник / Експерт Шмельцер К.О.		
Кількість слів 10556	Кількість символів 80154	Дата звіту 1/12/2026	Дата редагування 1/12/2026	ІД документа 333089454

Обсяг знайдених подібностей

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



КП 1

10556

Кількість слів



КЦ

80154

Кількість символів

Тривога

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

Заміна букв		36
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)	a	26

Джерела

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

10 найдовших фраз		Копір тексту
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Ермоченко Вадим 1/10/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	55 0.52 %
2	Теорія та практика експериментальних досліджень 3/15/2025 National Technical University of Ukraine Igor Sikorskyi Kyiv Politech Institute (National Technical University of Ukraine Igor Sikorskyi Kyiv Politech Institute)	19 0.18 %

3	https://slide-share.ru/tema-1-6-kapitalovkladennya-investicii-ta-jogo-efektivnist-134566	16 0.15 %
4	Ермоченко Вадим 1/10/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	15 0.14 %
5	https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/346f1a7d-5cb3-4fd7-9a14-e1eaa872b021/content	15 0.14 %
6	Ермоченко Вадим 1/10/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	15 0.14 %
7	https://slide-share.ru/tema-1-6-kapitalovkladennya-investicii-ta-jogo-efektivnist-134566	14 0.13 %
8	https://leksi.org/11-92462.html	14 0.13 %
9	https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/346f1a7d-5cb3-4fd7-9a14-e1eaa872b021/content	13 0.12 %
10	https://ipbt.ust.edu.ua/file/diss_nikolaichuk.pdf	13 0.12 %
з бази даних RefBooks (0.00 %)		
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
з домашньої бази даних (0.81 %)		
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Ермоченко Вадим 1/10/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	85 (3) 0.81 %
з програми обміну базами даних (0.25 %)		
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
2	Теорія та практика експериментальних досліджень 3/15/2025 National Technical University of Ukraine Igor Sikorskyi Kyiv Politech Institute (National Technical University of Ukraine Igor Sikorskyi Kyiv Politech Institute)	26 (2) 0.25 %
з Інтернету (1.72 %)		
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
3	https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/346f1a7d-5cb3-4fd7-9a14-e1eaa872b021/content	62 (6) 0.59 %
4	https://slide-share.ru/tema-1-6-kapitalovkladennya-investicii-ta-jogo-efektivnist-134566	40 (3) 0.38 %
5	http://www.experts.in.ua/caza/doc/download/final.pdf	38 (4) 0.36 %
6	https://ipbt.ust.edu.ua/file/diss_nikolaichuk.pdf	22 (2) 0.21 %
7	https://leksi.org/11-92462.html	20 (2) 0.19 %

Список прийнятих фрагментів

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача-випускника

Алексєєнка Валентина Андрійовича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічних технологій та інженерії

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна магістерська робота

Тема кваліфікаційної роботи Прогнозування виходів коксу і основних хімічних продуктів коксування при використанні дослідної установки «Карботест»

Керівник кваліфікаційної роботи: зав.кафедри, к.т.н. Шмельцер К.О.
(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

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

Завідувач кафедри _____

(підпис)

К.О. Шмельцер

(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

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

**ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ
 МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

Здобувача Алксеєнка Валентина Андрійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-24-м

Тема кваліфікаційної роботи магістра

Прогнозування виходів коксу і основних хімічних продуктів коксування
 при використанні дослідної установки «Карботест»

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>89;</u>
таблиць	<u>17;</u>
схем і рисунків	<u>2;</u>
листів графічної частини(демонстраційного ма- теріалу)	<u>- .</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи магістра

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню впливу петрографічних характеристик вугільної сировини на якість та вихід продуктів коксування та можливості використання установки «Карботест» для прогнозування виходів коксу та хімічних продуктів на коксохімічному виробництві.

Використання установки «Карботест» дозволяє провести тест коксування в умовах, які наближені до промислових. Прогнозуючі рівняння враховують конструктивні особливості діючих на заводі коксових батарей, а також особливості технології підготовки вугілля до коксування. Це у свою чергу дозволить оптимізувати склад вугільної шихти й спосіб підготовки вугілля, які дозволять досягти максимального виходу коксу й хімічних продуктів коксування. Статистична оцінка адекватності рівнянь залежності для прогнозу виходу для продуктів коксування показала високі коефіцієнти кореляції від 0,648 до 0,998 і коефіцієнти детермінації від 41,99 до 99,60 %; стандартна похибка розрахунку при прогнозуванні виходу коксу складає 0,019 %, смоли – 0,016 %, сирого бензолу – 0,015 %, пірогенетичної вологи – 0,456 %.

Недоліки кваліфікаційної магістерської роботи

В роботі не проаналізовано інші варіанти лабораторних методів прогнозування виходів продуктів коксування. Не наведено обґрунтування вибору установки «Карботест». В деяких місцях пояснювальної записки допущені стилістичні та

орфографічні помилки та огріхи, в тексті зустрічається невдалий переклад.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної магістерської роботи, ступінь самостійності виконання роботи, уміння користуватися літературними матеріалами

Здобувач Алексеєнко В.А. під час написання кваліфікаційної магістерської роботи показав добру загальну та спеціальну підготовку, вміння працювати з літературними та нормативними джерелами. Над розділами роботи працював самостійно, висновки та розроблені рекомендації є актуальними, ефективними та економічно обґрунтованими.

Можливість використання кваліфікаційної магістерської роботи

Розроблені математичні рівняння та рекомендації по використанню установки «Карботест» для прогнозування виходів коксу та хімічних продуктів можуть бути використані в умовах вуглепідготовчого цеху КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для оптимізації складів виробничих шихт

Оцінка кваліфікаційної магістерської роботи добре/78/С

Керівник Кормер Марина Віталіївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

К.Х.Н, ДОЦЕНТ

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

« 15 » січня 2026 р.

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

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу магістра
(бакалавра, магістра)

Здобувача Алексеєнка Валентина Андрійовича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи
Тема кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> <small>(бакалавра, магістра)</small>
Прогнозування виходів коксу і основних хімічних продуктів коксування при використанні дослідної установки «Карботест»
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> <small>(бакалавра, магістра)</small>
Вибір та обґрунтування підходу для прогнозування виходів хімічних продуктів коксування при використанні установки «Карботест»
Переваги кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> <small>(бакалавра, магістра)</small>
Запропонована установка «Карботест» дозволяє провести тест коксування в умовах, <u>які наближені до промислових. Комплексний підхід дозволяє оптимізувати склад вугільної шихти та режими підготовки вугілля, що сприяє підвищенню ефективності процесу коксування. Реалізація запропонованих рішень створює умови для максимізації виходу коксу та хімічних продуктів коксування, а також підвищення економічної ефективності коксохімічного виробництва.</u>
Недоліки кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> <small>(бакалавра, магістра)</small>
<u>Недостатньо проаналізовано досвід сучасних коксохімічних підприємств з використання лабораторних методів прогнозування виходів продуктів коксування.</u>
Рекомендації: робота може бути рекомендована до захисту.
Рецензент

(прізвище, ім'я та по-батькові)

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Д О В І Д К А
про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
 навчальної/наукової праці;
 наукових матеріалів

Прогнозування виходів коксу і основних хімічних продуктів коксування при використанні дослідної установки «Карботест»

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Алексєєнко Валентин Андрійович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 89 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 2,78 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- власними публікаціями;
 термінологією;
 посиланнями на літературу, праці вчених;
 посиланнями на законодавство;
 загальноживаними фразами.

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

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «14» січня 2026 р. протокол № 9.

Керівник підрозділу _____

(підпис)

К. Шмельцер

Дата «14» січня 2026 р.

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

Я, *Алексєєнко Валентин Андрійович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна магістерська робота (Прогнозування виходів коксу і основних хімічних продуктів коксування при використанні дослідної установки «Карботест») виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

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

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

20.01.2026