НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ
(НМетАУ)
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національній металургійній академії України, спеціалізована вчена рада
Д 08.084.05 Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУШНАРЬОВА ТЕТЯНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 662.7:552.57

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПОСОБІВ ЗАСТОСУВАННЯ СЛАБКОСПІКЛИВОГО ВУГІЛЛЯ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ СИРОВИННОЇ БАЗИ КОКСУВАННЯ

Спеціальність 05.17.07 – хімічна технологія палива і паливно-мастильних матеріалів
161 – хімічні технології та інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ **Т.О. Кушнарьова**
(підпис)

Науковий керівник Сорокін Євгеній Леонідович,
кандидат технічних наук, доцент

Дніпро – 2018

АНОТАЦІЯ

Кушнарьова Тетяна Олександрівна. Розробка технологічних способів застосування слабкоспікливого вугілля для розширення сировинної бази коксування – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.17.07 – хімічна технологія палива і паливно-мастильних матеріалів. – Національна металургійна академія України, м. Дніпро, 2018.

Дисертація присвячена розширенню сировинної бази коксування за рахунок використання в шихті для коксування слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ, як одного з компонентів вугільної шихти, а саме добреспікливого і коксівного вугільного компонента.

В роботі проведено критичний аналіз вітчизняних і зарубіжних способів розширення сировинної бази коксування. Досліджено вугільну складову слабкоспікливого вугілля різної густини за допомогою дилатометричного і пластометричного методів, ІЧ-спектроскопії, лабораторного коксування. У результаті чого було встановлено, що виділена зі слабкоспікливого вугілля фракція певної густини має необхідні властивості.

Встановлено і описано характер впливу фракції слабкоспікливої домішки на якість отриманого доменного коксу. Розроблено технологічні режими отримання фракції слабкоспікливого вугілля певної густини та подальше внесення її до вугільної шихти під час виробництва коксу. Розроблено рекомендації складу вугільної шихти з домішкою фракції слабкоспікливого вугілля для формування оптимальних властивостей доменного коксу, підтверджено результатами лабораторного коксування на ПрАТ «Дніпровський КХЗ».

Розроблені технологічні режими по розділенню слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ на фракції та подальше його

використання, можуть бути використані на вуглезбагачувальних та коксохімічних підприємствах при збагаченні вугілля та отриманні коксу з вмістом фракцій слабкоспікливого вугілля певної густини.

Ключові слова: кокс, слабкоспікливе малометаморфізоване вугілля, фракція, вугільна шихта, густина, технологічні властивості, лабораторне коксування, вуглезбагачення.

SUMMARY

Kushnaryova Tetyana Alexandrovna Development of technological methods for the use of weakly coarse coal for the expansion of the raw material base of coking – qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences on the specialty 05.17.07 - Chemical technology of fuel and fuel and lubricants. - National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro city, 2018.

The dissertation is devoted to the expansion of the raw material base of coking due to the use in the charge of low-grade low-metamorphosed coal of the mark of DH as one of the components of the coal charge, as well as thelargest and coking coal component.

In this paper, a critical analysis of domestic and foreign ways of expanding the raw material base of coking is carried out. The coal component of weakly coarse coal of different density was investigated by dilatometric and plastometric methods, IR spectroscopy, laboratory coking. In results, it was found that the fraction of a certain density isolated from weakly sparing coal has the necessary properties.

The character of the influence of fraction of weakly impurity on the quality of the received blast furnace coke has been established and described. The technological regimes of obtaining a fraction of weakly coarse coal of a certain density and further introducing it into a coal charge during the production of coke have been developed. The recommendations of the composition of the coal charge

with the admixture of the fraction of weakly volatile coal for the formation of optimal properties of the blast furnace coke have been worked out, confirmed by the results of laboratory coking at PJSC "Dniprovsky Coke Plant" .

The developed technological regimes for the separation of poorly sparing low-metamorphosed coal of the mark of DH on the fraction and its further use can be used in coal-fueled and coke-chemical enterprises with coal enrichment and production of coke containing fractions of weakly sparing coal of a certain density.

Key words: coke, weakly cooled coal, fraction, coal charge, density, technological properties, laboratory coking, coal extraction.

Список публікацій здобувача:

1. Старовойт А.Г. Иследование температурных интервалов взаимодействия угольной и рудной составляющих / А.Г. Старовойт, Е.Л. Сорокин, Т.А. Кабак // Углехимический журнал. – 2012. – №1-2. С. 63 – 66. *Дисертант приймав участь при обґрунтуванні та оформлені висновків.*

2. Старовойт А.Г. Изучение кинетики взаимодействия рудной и угольной составляющей при их совместном нагревании / А.Г. Старовойт, Е.Л. Сорокин, Т.А. Кабак, Я.В. Фролов, А.С. Ермакова // Теория и практика металлургии. – 2012. – № 3, С. 62 – 65. *Дисертантом проведено аналіз літературних та електронних інформаційних.*

3. Сорокин Е.Л. Модификация реакционной способности кокса для недоменного производства / Е.Л. Сорокин, Т.А. Кабак, М.О. Загородня // Углехимический журнал. – 2013.- № 1-2. С. 34 – 37. *Дисертант приймав участь при обґрунтуванні та оформлені висновків.*

4. Кабак, Т.А. Изучения свойств слабоспекающегося угля марки ДГ / Татьяна Александровна Кабак // Теория и практика металлургии. – 2013. – №3 – 4. – С.15 – 17. *Дисертантом зроблено вибір об'єкта дослідження та проведено аналіз дослідження.*

5. Kushnareva T.A. Clinkering Properties of Individual Fractions of Enriched Poorly Clinkering Coal / T.A. Kushnareva, E.L. Sorokin // Coke and Chemistry,

2018, Vol. 61, No. 2 , pp. 38 – 41. *Дисертант проводив експериментальні дослідження та провів обробку отриманих результатів.*

6. Пат.UA 85624 Україна. Склад вугільної шихти для одержання металургійного коксу / А.Г. Старовойт, Є.Л. Сорокін, Т.О. Кабак //. Опуб. 2013. Бюл. № 22. *Дисертант провів дослідження та визначив основні фактори взаємодії вугільних компонентів між собою під час коксування.*

7. Старовойт А.Г. Дослідження властивостей низькометаморфізованого слапкоспіклівого вугілля / А.Г. Старовойт, Є.Л. Сорокін, Т.О. Кабак // Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості: VI міжнар. наук.-техн. конф. Студентів, аспірантів та молодих вчених, 25-28 квітня 2012 р.: тези доповідей. – Львів, НУ «Львівська політехніка», 2012. – С.168. *Дисертант провів дослідження та брав участь в оформлені цілей та висновків.*

8. Старовойт А.Г. Изменение свойств угольных фракций слабоспекающегося угля / А.Г. Старовойт, Є.Л. Сорокин, Т.А. Кабак // XXXIX Міжнародна науково-технічна конференція молоді ВАТ «Запоріжсталь» 2013, 5 – 6 грудня 2013 р. Тези доповідей – Запоріжжя, 2013. – С. 13 *Дисертант провів експериментальні дослідження та брав участь у оформлені доповіді.*

9. Кушнарева Т.А. Изучение возможности использования слабоспекающегося угля в шихте для коксования / Т.А. Кушнарева, Є.Л. Сорокин // IX Українська наукова конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Хімічна проблема сьогодення» 29 – 30 березня 2016 р. Тези доповідей – Вінниця, 2016. – С. 194. *Дисертант провів дослідження та підготував доповідь.*

10. Кушнарева Т.А. Разработка метода расширения сырьевой бази коксования / Т.А. Кушнарева, Є.Л. Сорокин // X Українська наукова конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Хімічна проблема сьогодення» 27-29 березня 2017 р. Тези доповідей. – Вінниця, 2017. – С. 204. *Дисертант провів дослідження та підготував доповідь.*

Кушнарева Т.А. Вивчення структурних фрагментів фракцій слабко спікливого вугілля різної щільності / Т.А. Кушнарева, Є.Л. Сорокин // II Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження

ЗМІСТ

ВСТУП……..8
РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ СПРЯМОВАНИХ НА РОЗШИРЕННЯ СИРОВИННОЇ БАЗИ КОКСУВАННЯ……...13
1.1 Аналіз механічних методів розширення сировинної бази коксування…..13
1.2Аналіз методів, пов'язаних з термічним впливом на вугільну шихту з метою розширення сировинної бази коксування…….…..17
1.3Аналіз методів розширення сировинної бази коксування за допомогою домішок…….….19
1.4 Аналіз сепараційних методів, спрямованих на розширення сировинної бази коксування ……23
1.4.1 Аналіз методів виділення необхідних компонентів вугілля……23
1.4.2 Вивчення можливості використання окремих компонентів кам'яного вугілля для розширення сировинної бази коксування……...26
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1……32
РОЗДІЛ 2
АНАЛІЗ ПРЕДМЕТІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІЖДЕННЯ……...33
2.1 Методика і методи дослідження……..……..33
2.2 Характеристика досліджуваного вугілля та вугільних шихт…….…….43
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2……46
РОЗДІЛ 3
ВИВЧЕННЯ ОКРЕМИХ ФРАКЦІЙСЛАБКОСПІКЛИВОГО ВУГІЛЛЯ МАРКИ ДГ……47
3.1 Дослідження компонентного складу слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ……47
3.2 Вивчення структурних фрагментів окремих фракцій слабкоспікливого вугілля……57

3. 3 Технологічні властивості……...…66
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3……75
РОЗДІЛ 4
РОЗРОБКА ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ ЩОДО СКЛАДАННЯ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ,ЩО МІСТИТЬ ФРАКЦІЮ СЛАБКОСПІКЛИВОГО ВУГІЛЛЯ…..77
4.1 Визначення оптимального складу вугільної шихти, що мстить фракцію слабкоспікливого вугілля……..……77
4.2 Визначення складу вугільної шихти, що містять як один з компонентів фракцію слабкоспікливого вугілля…….…….84
4.3 Визначення технологічних параметрів отримання вугільної шихти на збільшеній промисловій установці……..……93
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4……..…..97
РОЗДІЛ 5
ТЕХНОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВИРОБНИЦТВА КОКСУ З ВИКОРИСТАННЯМ СЛАБКОСПІКЛИВОГО ВУГІЛЛЯ В ШИХТІ ДЛЯ КОКСУВАННЯ…….98
5.1. Розробка технологічних режимів отримання фракцій слабкоспікливого вугілля…….98
5.2. Розробка технологічних режимів внесення фракцій слабкоспікливого вугілля в шихті для коксування ……103
5.3. Економічне обґрунтування використання фракцій слабкоспікливого вугілля в шихті для коксування…….106
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5……..109
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ…….110
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……..112
ДОДАТКИ……123

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. На даний час істотна кількість запасів вугілля основних басейнів України – це малометаморфізовані слабкоспікливі марки, які використовуються у складі шихти для коксування лише до 18 %. Збільшення частки вітчизняного малометаморфізованого слабкоспікливого вугілля у складі шихти дуже важливо, для вугільної та металургійної промисловості України.

Коксохімічне виробництво є провідною і невід'ємною ланкою, металургійної промисловості України. Від якості коксу залежить якість і вартість металургійної продукції, тому металургійні підприємства висувають певні вимоги до властивостей коксу. Варто зазначити, що склад вугільної шихти суттєво впливає на показники якості кінцевого продукту – коксу.

Сьогодні основною проблемою коксохімічних підприємств є нестабільна сировинна база коксування, зокрема дефіцит добреспікливого вугілля у зв'язку зі зменшенням його видобування, а також неможливістю постачати необхідної кількості імпортного добреспікливого вугілля. Отже, розширення сировинної бази коксування є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно науково-дослідній роботі «Дослідження технологій та сировинної буровугільної бази для отримання енерготехнологічних газів і рідкого палива», державний реєстраційний номер 0111U004892 (2011 р.), рівень участі здобувача – виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка технологічних способів використання слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ у шихті для коксування, що сприятиме розширенню сировинної бази коксування та отримати доменний кокс з показниками, які потребує споживач.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- проаналізувати сучасні технології розширення сировинної бази коксування;
- дослідити можливість отримання фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ різного за густиною;
- дослідити якісні властивості отриманих вугільних фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ;
- дослідити кокс, отриманий з вугільної шихти, до складу якого входить фракція слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля;
- розробити технологічні схеми, що дозволять використовувати фракцію слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля в шихті для коксування.

Об'єкт дослідження – процес отримання металургійного коксу з використанням окремих фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ різного за густиною.

Предмет дослідження – вплив компонентного складу слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля різного за густиною та його співвідношення у вугільній шихті для коксування з метою отримання якісного металургійного коксу.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань дисертаційної роботи використовували математико-статистичні методи, лабораторні установки за для дослідження фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ різних за густиною, а також для коксування вугілля та вугільних сумішей.

Для проведення розділення слабкоспікливого вугілля за фракціями, різними за густиною, використовувався модифікований метод збагачення у важких середовищах. Під час оцінювання якісних показників отриманих фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ різних за густиною використовували стандартні методики: технічний аналіз, петрографічний аналіз, дилатометричний метод (ІГК-ДМетІ),

пластометричний метод, метод Рога, метод УХІНа. Для вивчення функціональних груп фракцій вугілля використовували ІЧ-спектроскопію.

Оцінку якості отриманого коксу з вугільних шихт, що містять фракції слабкоспікливого вугілля проводили з використанням стандартних методів дослідження: міцності коксу після скидання, структурної міцності, абразивної твердості, горючості, міцності коксу після реакції з CO_2 (CSR) та індексу реакційної здатності коксу (CRI).

Наукова новизна отриманих результатів.

В роботі запропоновано нове вирішення наукового завдання, що полягає в розробці принципів розширення сировинної бази коксування шляхом зміни властивостей слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ за рахунок виділення окремих компонентів різних за густиною.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному:

– вперше встановлено і підтверджено методом ІЧ - спектроскопії, що в фракціях підвищеної густини слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ показник ароматичності тісно пов'язаний з метаморфізмом вугілля. Показник ароматичності отриманих фракцій збільшується шляхом зниження інтенсивності полос поглинання, що відповідають за коливання аліфатичних С - Н зв’язків.

– отримали подальший розвиток уявлення щодо розподілу компонентів слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ різних за густиною, що дозволило встановити вміст окремих фракцій та перерозподіл мацерального складу. Проведені дослідження доводять, що основна маса слабкоспікливого вугілля знаходиться в легкій та важкій фракціях з густиною $< 1{,}25$ і $> 1{,}30$ г/см³, але найкращі показники мацерального складу мають проміжну густину.

– вперше за результатами теоретичних та експериментальних досліджень доведено можливість використання слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля, за допомогою виділення окремих фракцій

різної густини, що відповідають за формування необхідних для коксування технологічних властивостей. із слабко спікливого малометаморфізованого вугілля. Отримані результати здійснених досліджень підтверджують можливість використання окремих за густиною фракцій вугілля марки ДГ як компонента вугільної шихти.

Практичне значення отриманих результатів досліджень.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в наступному:

– отримані результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень дозволили розробити технологічні режими виробництва доменного коксу з використанням як одного з компонентів фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ, різного за густиною.

– розроблені рекомендації та технічні рішення можуть застосовуватися на збагачувальних вугільних фабриках для отримання компонента вугільної шихти, а також на коксохімічних підприємствах для розширення сировинної бази коксування при виробництві металургійного коксу.

– отримані в результаті планування експерименту математико-статистичні моделі можуть бути основою математичної моделі технологічного регулювання властивостей коксу шляхом внесення домішки фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ.

– результати дисертаційної роботи використовуються під час викладання спеціальних дисциплін на кафедрі металургійного палива та вогнетривів Національної металургійної академії України для студентів спеціальності 161 «Хімічна технологія та інженерія».

Особистий внесок здобувача. Спільно з науковим керівником автором дисертаційної роботи було сформульовано мету і завдання дисертаційної роботи, розроблено план проведення досліджень, проведено критичний аналіз літературних джерел за темою роботи, узагальнено отримані

результати та зроблено висновки, а також опубліковано наукові статті та зроблено доповіді на наукових конференціях і семінарах.

Апробація результатів дослідження. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на таких конференціях:

- VI Науково-технічна конференція «Поступ в нафто-газопереробній та нафтохімічній промисловості» (м. Львів, 2012р.);
- XXXIX Міжнародна науково-технічна конференція молоді (м. Запоріжжя, 2013 р.);
- IX Українська наукова конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Хімічна проблема сьогодення» (м. Вінниця, 2016р.);
- X Українська наукова конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Хімічна проблема сьогодення» (м. Вінниця, 2017р.);
- II Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи» (м. Житомир, 2018 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 11 наукових робіт, у тому числі 4 статті за фахом, 1 стаття у науково метричному журналі Scopus, 5 тез доповідей і 1 патент на корисну модель. Усі публікації містять результати безпосередньої роботи автора на окремих етапах дослідження і відображають основні положення та висновки дисертаційної роботи.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, п’яти розділів, загальних висновків, налічує 131 сторінок загального тексту, містить 26 таблиць, 35 рисунків, бібліографічний список з джерел – 104 позицій і 5 додатків.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ СПРЯМОВАНИХ НА РОЗШИРЕННЯ СИРОВИННОЇ БАЗИ КОКСУВАННЯ

В сучасних умовах коксохімічної промисловості України однією з основних проблем є погіршення якості сировинної бази коксування та дефіцит коксівного вугілля. У зв'язку з особливостями технології виробництва підприємства, що споживають кокс, з кожним роком висувають більш жорсткі вимоги стосовно його якості. Використання виключно вітчизняного вугілля на коксохімічному підприємстві призводить до зниження якості коксу. Поліпшення якості коксу можливе при використанні імпортного добреспікливого вугілля, але це призводить до збільшення собівартості вугільної шихти, а також підвищення ціни на кокс [1 - 4].

З огляду на зазначене вище, актуальним є питання стосовно сучасних досліджень,що спрямовані на пошуки шляхів розширення сировинної бази коксування.

З літературних джерел відомі різні методи, що висвітлюють розширення сировинної бази коксування. Ці методи можна поділити на: механічні, термічні, хімічні та сепараційні.

В цьому розділі проаналізовано вітчизняні та зарубіжні способи розширення сировинної бази коксування.

1.1 Аналіз механічних методів розширення сировинної бази коксування

Одним з методів розширення сировинної бази коксування є механічний метод, особливість якого полягає в ущільнені вугільної шихти шляхом часткового брикетування та трамбування. Цей метод оснований на підвищеній щільності вугільної шихти, що сприяє підвищенню насипної маси та покращенню процесу спікання вугільних зерен різного ступеня метаморфізму і крупності. Проте варто зазначити, що при використанні

часткового брикетування вугільна шихта, яка знаходиться між брикетами порушує рівномірність структури коксівної маси. Це явище призводить до зменшення міцності коксу. Також збільшення кількості брикетів призводить до зменшення усадки в процесі коксування та збільшення зусилля під час видачі коксового пирога [5].

Вперше технологія брикетування була використана на коксохімічному заводі Японії (розробка фірми «Ніппон стіл») [6]. Але ця технологія має певні недоліки, оскільки при завантаженні до камери коксування брикети руйнуються, також для брикетування слабкоспікливого вугілля необхідно підтримувати вологу в межах 11%, бо недостатня кількість або надлишок вологи сприяє отриманню неміцних брикетів, що при завантаженні призводить до їх руйнування. Для усунення недоліків фірма «Nippon Steel» запропонувала в процесі брикетування використовувати зв'язуючий кам'яновугільний пек, що скорочує кількість високоякісного коксівного вугілля з 70 до 55%, при цьому необхідно додавати до вугільної шихти 20% не коксівного вугілля.

У роботі [7] представленні результати брикетування вугільного шламу мулонакопичувача Анжерського родовища, зокрема шламу вугілля марки ПС, зв'язуючої речовини використовували бітум БН-70, брикети, сульфіт-спиртову барду – ССБ. Отримували брикети з різними зв'язуючими речовинами та порівнювали один з одним, перевіряючи на міцність. Результати досліджень доводять, що вугільні брикети зі зв'язуючим ССБ мають більшу механічну міцність, проте вони мають низьку водостійкість, а їхнє зберігання та транспортування потребує додаткових умов.

Васильєв В.С. у своїх працях [8, 9] висвітлив аналітичний аналіз часткового брикетування вугільної шихти на коксохімічних заводах України. Автором було встановлено, що цей метод дозволяє використовувати переподрібнене вугілля з підвищеним вмістом слабкоспікливого вугілля та використовувати зв'язуючі речовини власного виробництва (кам'яновугільний пек, фуси та под.).

До наступного механічного методу розширення сировинної бази коксування відноситься трамбування вугільної шихти. Цей метод розроблений, впроваджений та використовується як на вітчизняних, так і на зарубіжних підприємствах [10].

УХІНом був розроблений метод виробництва коксу з використанням трамбованої шихти, до складу якої входила значна кількість слабкоспікливого вугілля, близько 60% вугілля марки Г міститься в шихті для коксування [11]. Дослідження проводили в напівпромислових і промислових масштабах [12,13], варто зазначити, що до вугільної шихти входило вугілля марки К. Отриманий кокс мав задовільну міцність (М25– 88,0-88,7%, М10 – 5,9-6,8%). Отже, застосування трамбованої шихти дозволить збільшити використання вітчизняного вугілля Донецького басейну. Також авторами було встановлено, що продуктивність батареї з використанням трамбованого методу збільшується на 0,5% порівняно з використанням стандартної технології.

Проте досвід використання технології коксування із застосуванням трамбованої вугільної шихти на ПАТ «Алчевськкокс» [14, 15] показав, що при її використанні виникають проблеми, пов'язані з високим тиском розпирання вугільного завантаження, яке призводить до тугого ходу коксового пирога. В роботах [14, 16] представлені результати досліджень, що дозволяють змінювати тиск розпирання шляхом варіювання насипної щільності, вологи та рівня подрібнення.

Компанією Tata Steel [10] була впроваджена методика трамбування вугільної шихти на найбільшому в Азії коксохімічному заводі з виробничою потужністю 1,6 млн. т/рік. Технологія трамбування дозволила підприємству використовувати в шихті для коксування «до 30% не коксівного вугілля». Проте використання трамбованої шихти показало, що для отримання коксу потрібної якості, необхідно використовувати в роботі сучасне обладнання з високим рівнем автоматизації, а також залучати кваліфікованих працівників, які будуть обслуговувати зазначене обладнання. Завантаження трамбованої

шихти дозволяє ефективно використовувати низькосортне вугілля місцевого басейну без погіршення якості коксу. Така технологія має окремі недоліки. Це низька ефективність, довгострокова окупність, що посилюється додатковими витратами на обслуговування обладнання. А також трамбована шихта призводить до вздуття вугільного пирога, до розрідження камер коксування, зниження температури поду, що спричиняє нерівномірний прогрів вугільного завантаження в процесі коксування.

Технології трамбування і брикетування мають істотний недолік, зокрема руйнування ущільненої вугільної шихти при завантаженні. Наявність цього недоліку залежить від висоти камери коксування. Отже, механічного впливу на процес спікання вугільних компонентів недостатньо. Одним з рішень зазначеної проблеми є застосування сполучної речовини, що дозволить ущільненій шихті не руйнуватися під час завантаження до камери коксування. Однак це збільшує витрати на її зберігання, ускладнює процеси внесення у вугільну шихту та перемішування.

Для усунення вказаного недоліку в компанії Tata Steel (Індія) проводили дослідження, пов'язані з впливом сполучного X7 на процес коксування трамбованої вугільної шихти [17, 18]. Було встановлено, що внесення 0,1% сполучного X7 при вологості вугільної шихти 8%, задовільно позначається на вихід коксу необхідної якості. Домішка сполучного X7 підвищує якість коксу за показниками CSR, M10 і AMS. Істотним недоліком цієї технології є те, що домішка X7 є сиропоподібною рідиною, автор роботи не вказує, яким чином додавали домішку до шихти. Як і брикетування, для використання технології трамбування, необхідно контролювати вологу вугільної шихти. Якщо вугільна шихта перевищить 9% вологості, це призведе до надлишку вологи між частинками, що призведе до зниження взаємодії поверхневих сил.

У роботі [19] проводили дослідження впливу пилу УСГК на вугільну шихту, що перед завантаження трамбували. Результати дослідження на ПАТ «Алчевськкокс» доводять, що домішка коксового пилу УСГК у

кількості 5% призводить до збільшення валового коксу на 0,28%, і підвищує показник стирання на 0,5%. При цьому тиск розпирання при збільшенні вмісту коксового пилу зменшується. Недоліком цього методу є підвищений вміст золи і сірки, а також при внесенні коксового пилу більше ніж на 5% погіршується механічна міцність коксу і він не відповідає вимогам технічних умов.

Отже, розглянуті механічні методи розширення сировинної бази коксування, лише частково вирішують зазначену проблему, що є незначною порівняно з іншими недоліками, як: висока вартість використовуваного обладнання, тривала окупність, неможливість рівномірного розподілу зв'язуючого тощо. Зазначені недоліки цього методу унеможливили його використання в коксохімічній промисловості.

1.2 Аналіз методів, пов'язаних з термічним впливом на вугільну шихту з метою розширення сировинної бази коксування

Наступним методом, що спрямований на розширення сировинної бази коксування, є термічна підготовка вугільної шихти або окремого вугільного компоненту. Технологія розроблена з метою включення до складу вугільної шихти великої кількості слабкоспікливого та не коксівного вугілля. Оскільки процес термічної підготовки сприяє фізичному і хімічному впливу на речовий склад вугілля, то відбувається внутрішньо-молекулярні зміни органічної маси вугілля, а саме розрив основної кількості водневих і ковалентних зв'язків. Також відбувається видалення вологи, що призводить до зміни поверхневих властивостей термічно підготовленого вугілля або шихти [5].

Порівняно з технологією трамбування (брикетування) зазначений метод має певні переваги, такі як [20]:

- відсутність складного обладнання, необхідного для трамбування;
- підвищення продуктивності коксових батарей;
- можливість використання великої кількості слабкоспікливого вугілля;

- низький рівень вимог до помелу шихти;

- низька питома витрата тепла на коксування (на 10-20%).

Метод термічної підготовки вугільної шихти для коксування достатньо поширений в м. Редкарі (Великобританія), ум. Аллікуіппа і м. Гері (США), ум. Мурорап (Японія), у м. Проспер (Німеччина). Використання цього методу підготовки, дозволяє збільшити частку слабкоспікливого вугілля, при цьому збільшується продуктивність, і підвищується міцність коксу [21]. Однак, не зважаючи на переваги процесу коксування термічно підготовленої шихти, цей метод має недоліки: «тугий хід» і «буріння», що призводить до порушення кладки коксових печей і анкеражу, також виникають ускладнення пов'язані з доставкою термічно підготовленої шихти і завантаження її до камери.

Процес термічної підготовки шихти (до 260ºС), розроблений асоціацією «Coaltek» (використовується в США, Великобританії, Франції, Швеції), полягає в підігріві вугільної шихти в киплячому шарі. Істотним недоліком такої технології є значні втрати вугільної шихти при завантаженні, що призводить до погіршення властивостей кам'яновугільної смоли і може призводити до займання вугілля в системі [5].

У Німеччині фірмами «Bergbau-Forschung» і «Digier» розроблений, двохступеневий підігрів вугільної шихти в трубчастих сушарках до температури 200ºС. Цей процес отримав назву прекарбон. Зазначена технологія отримала застосування в США і Японії. Недоліком технології є окислення і перегрів вугільної шихти [5], а також це призводить до підвищення показника післяреакціоної міцності до 40% [22].

У вітчизняній промисловості, за проектом Гіпрококса, була побудована в 1977 році двоступенева установка, з паралельними потоками теплоносія, що дозволяло нагрівати вугільну шихту до 200 – 250ºС. Особливістю зазначеної технології було скорочення довжини шляху теплоносія, що забезпечує «м’який» нагрів вугільної шихти без перегріву дрібних частинок. Також ця технологія дозволяє підвищити продуктивність установки

порівняно з аналогічними установками подібного габариту. При виконанні основних технологічних вимог забезпечувалася висока якість коксу з вугільної шихти, до складу якої входила значна кількість слабкоспікливого вугілля (до 70% газового вугілля). Отриманий доменний кокс виключно з газового вугілля мав високу механічну міцність [23].

У роботах [20, 24, 25] представлені результати досліджень, що розкривають особливості технології коксування термічно підготовленої шихти на ВАТ «Ясинівському коксохімічному заводі». Ці дослідження доводять, що застосування технології термічної підготовки дозволяє використовувати в шихті для коксування 35 - 40% газового слабкоспікливого вугілля і при цьому підвищити продуктивність. Проте ця технологія має недоліки, що пов’язані з габаритами обладнання для нагріву вугільної шихти, яка призводить до реконструкції існуючого технологічного обладнання. Тут також варто зазначити, що під час запуску технології виробництва з використанням термічно підготовленої шихти підвищується пиловиділення.

В роботах [26 - 28] представлений однин з нових методів термічної підготовки вугільної шихти для коксування – підготовка шихти з використанням СВЧ-випромінювання. Результати дослідження показують позитивний вплив СВЧ-випромінювання на термопластичні характеристики вугілля в процесі їх термічної підготовки до коксування. Отже, термічно підготовлена шихта за цією технологією дозволяє використовувати в шихті для коксування вугілля марки Г до 50%, а вугілля марки Ж і К до 15%, при цьому якість коксу залишається на незмінному рівні [7, 29].

1.3Аналіз методів розширення сировинної бази коксування за допомогою домішок

Наступним методом розширення сировинної бази коксування є технологія коксування вугільної шихти з використанням різних домішок.

Технологію коксування вугільної шихти зі спікливою домішкою розробляли в Японії, Німеччині, США тощо. Цей метод дозволяє

використовувати слабкоспікливе вугілля в шихті для коксування, оскільки через додавання домішки відбувається вплив на процес термічної деструкції вугілля. Як домішку використовували спікливі та не спікливі компоненти, з метою отримання доменного коксу і спецкоксу.

Вивченню спікливих домішок присвятили свої дослідження багато вчених, які за допомогою цього методу намагалися вирішити два основні завдання: по-перше, розширити сировину базу коксування для використання вітчизняного слабкоспікливого вугілля і, по-друге, утилізувати відходи різних виробництв.

В роботі [30] представлені результати використання в шихті спікливої домішки – нафтового коксу. Зокрема на коксохімічному підприємстві ВАТ ММК проводили напівпромислові і промислові дослідження, за результатами яких було встановлено, що нафтовий кокс позитивно впливає на якість доменного коксу: 1% домішки може замінити 1% добреспікливого вугілля.

В роботі [31] представлені результати,що висвітлюють додавання нафтової домішки в кількості 50-75%. Результати проведених досліджень показали поліпшення якості коксу за показниками CSR, CRI, механічної міцності і зольності. Проте зазначити, що внесення нафтової домішки призводить до підвищення вмісту сірки і погіршення виходу коксу.

Результати ящикових коксувань, що проводилися на коксохімічному виробництві ТОВ «Мечел-кокс» [32] також показали позитивний вплив використаної домішки. Як домішку використовували продукт сповільненого коксування важких нафтових залишків – «домішка коксу». Дослідження показали, що для виробництва доменного коксу в кількості 10% поліпшує показники міцності і реакційної здатності.

У роботах [33, 34] автори провели дослідження щодо впливу кислої смолки сульфатного відділення та фусів на вугільну шихту для коксування. Внесення кислої смолки в шихту призводить до того, що при термічній деструкції вона взаємодіє з органічною масою вугілля, і отже, змінює

параметри пластичної маси, що сприяє зниженню стирання та реакційної здатності коксу. Ці дослідження також показали, що домішка фусів дозволяє збільшити кількість газового вугілля в шихті для коксування до 60%, при цьому кокс виходить більш міцним, ніж з шихти з вмістом газового вугілля 40% і без додавання домішки.

Також, в роботах [35, 36] проводили дослідження щодо внесення мастильної органічної домішки, що використовується в основному при коксуванні вугільної шихти з вмістом великої кількості пісного вугілля. Як домішка застосовувався гас і емульсії, що дозволило збільшити насипну щільність вугільного завантаження вплинути на взаємодію компонентів вугільного завантаження. При цьому поліпшується показник якості коксу.

В роботі [37] автори пропонують як органічну домішку використовувати «домішку коксівну», що є «твердим продуктом сповільненого коксування важких нафтових залишків». Домішку додавали замість дорогого і дефіцитного вугілля (ПС, КС) та отримували кокс з поліпшеними показниками CSR на 3,8%, а CRI на 3,3%.

В роботі [38] як домішку використовували антраценову фракцію і середньотемпературний пек СПЦ ВАТ «Макіївкокс». На ВАТ «Ясинівському КХЗ» провели ящикові коксування з додаванням 3% домішки у виробничу шихту з низьким рівнем коксування. Результати дослідження показували підвищення якості коксу за всіма показниками.

Значна частина дослідних робіт,що були спрямовані на використання неспікливої домішки має одну мету – отримання абсолютно нового кінцевого продукту – спецкоксу.

В цьому напрямі основна задача була замінити або скоротити кількість вугілля марки ПС. У роботі [39] представлені результати стосовно додавання вугільної шихти для коксування 20% залізорудного концентрату, який було замінено повністю вугілля марки ПС. Результати дослідження показали, що додавання мінерального компонента до вугільної шихти істотно не впливає

на товщину пластичного шару, оскільки до складу вугілля марки ПС входить незначна кількість рідко рухливих компонентів.

У роботі [40] представлені результати коксування вугільної шихти з додаванням як домішки колошникового пилу в кількості 15%. Автор дійшов висновку, що для збереження міцності коксу мінеральні домішки необхідно додавати до вугільної шихти.

В роботі [41] представлені результати щодо використання неспікливої домішки, в шихті для коксування, зокрема відходи металургійної промисловості – червоний шлам з метою отримання – залізококсу.

У Китаї [42] за методом розробленим Nippon Steel Corporation (NSC), як домішку для отримання високореакційного коксу використовували сталеплавильний шлак у кількості 0,5 і 1,0%. Отриманий вид коксу збільшує швидкість хімічної реакції в доменній печі, оскільки при додаванні 1% сталеплавильного шлаку значно підвищується реакційна здатність – 10%.

Як домішку в шихту для коксування додавали практично будь-які вуглецевовмісні відходи [43]: вуглецевовмісні суміші промислових і побутових відходів [44]; кислу смолку, полімери бензольного відділення, відходи виробництва фталевого ангідриду, некондиційні смоли, подрібнені відпрацьовані автошини [45], відходи полімерів тощо [46].

Перевагою цього методу є [43]:

- раціональний і екологічно безпечний спосіб переробки відходів, що містять вуглець;

- зниження забруднення навколишнього середовища за межами підприємства.

До недоліків представленого методу варто віднести [47]:

- зниження технологічності при використанні спікливої домішки;

- збільшення вмісту сірки і золи в кінцевому продукті;

- нерівномірний розподіл домішок по всьому об'єму шихти для коксування;

- збільшення витрат на зберігання органічних і неорганічних домішок;

- додаткове капітальні витрати на обладнання.

1.4 Аналіз сепараційних методів, спрямованих на розширення сировинної бази коксування

Сепараційний метод розширення сировинної бази коксування відрізняється від попередніх методів тим, що як спікливу домішку додавали вугільну шихту певну частину кам'яного вугілля. Цей метод є найбільш перспективним, тому що передбачається залучення в шихту для коксування енергетичного вугілля або його частини. Однак для використання цього методу необхідно зважати на природу кам’яного вугілля та проводити детальні дослідження, що дозволять його використовувати.

1.4.1 Аналіз методів виділення необхідних компонентів вугілля

Вперше розділення органічної частини вугілля на фракції різної щільності проводили тільки з дослідницького метою. З минулого століття вітчизняні та зарубіжні вчені почали вивчати петрологію вугілля як оцінку коксівності, зокрема показник відбиття вітриніта, рефлекторам вітриніта, мацеральний склад і спікливість.

Для розділення вугілля на компоненти різної щільності були створені розчини на водній основі: розчин хлористого цинку [48], розчин азотнокислого кальцію [49], розчин хлористого цезію [50], розчин полівольфромата натрію [51], а також бензол в суміші з чотирьоххлористим вуглецем [52, 53].

Отже, використання сучасних методів збагачення вугільних концентратів уможливило отримання цінної частини з недефіцитного вугілля [54 - 56]. На багатьох конференціях і в міжнародних спеціалізованих виданнях «Coalpreparatiom» обговорюють не тільки вилучення мінеральних компонентів, але і можливості виділення різних компонентів органічної маси вугілля. Цей метод є перспективним з огляду на зміну технологічних властивостей вугілля з урахуванням зміни їх щільності.

У роботі [57] представлені лабораторні дослідження Південного Іллінойсного університету (США), де була розроблена і апробована методика отримання вузьких фракцій і фракцій основних мацералів, за допомогою водних розчинів $ZnCl_2$ з додаванням поверхнево-активних речовин.

У ПАР фірмою Mintek був розроблений сепаратор MDS, який дозволяє завантажити до 200 кг мінеральної сировини [54]. Сепаратор доки використовується для дослідницьких збагачень різних мінеральних компонентів, а також для більш детального вивчення показників властивостей фракцій речовини різної щільності. За допомогою цього сепаратора можна виділяти особливо цінні фракції при збагаченні вугілля, що є досить суттєвим для коксохімічного виробництва.

За даними аналізу [55] стан вуглезбагачення і технологічного ряду збагачувальних фабрик погіршується. До основних причин такого стану можна віднести низьку ефективність виробництва без використання новітніх технологічних досягнень, малу продуктивність і зниження якості продукції, що випускається. Беручи до уваги те, що вугільна сировина надходить для збагачення з перебоями і різного типу, має місце переподрібнення. Для раціонального використання вугільної органічної речовини у вугільній промисловості необхідно модернізувати всі збагачувальні фабрики, оскільки вітчизняна виробнича база вуглезбагачення значною мірою застаріла як фізично так і морально.

На сьогодні існує кілька методів збагачення компоненту вугілля з урахуванням дрібного класу крупності: відсадження, флотація, застосування важкого середовища.

Метод відсадження виявився малоефективним, проте американська фірма Altair International Inc. [58] удосконалила відсаджувальну машину відцентрової дії Altair Centrifugal Jig, що призначена для виділення ультра тонких частинок золота, але вона також може використовуватися і при збагаченні дрібного класу вугілля.

В Австралії фірмою Geo Logics (Pty.) Ltd [59] була розроблена відсаджувальна машина Kelsey Jig з аналогічним принципом відсадження за допомогою пульсації шару суміщеним з відцентровим впливом на нього (30 - 40 т/рік). Ця машина призначена для гірничорудної промисловості, проте отримала застосування і для збагачення вугілля. У процесі поділу використовується принцип диференціального прискорення. У наш час її використовуюсь на збагачувальних фабриках у різних країнах світу.

Для збагачення вугілля, переважно дрібного класу, більш ефективно використовувати метод флотації. Сьогодні в комерційному масштабі виробляють різні типи колонних флотаційних машин: Pyramid, Flotair, Microcel, Jameson Cell [59]. В Австралії при будівництві збагачувальних фабрик надають перевагу методу колонної флотації Jameson Cell. У Великобританії провідні підприємства встановлюють Pyramid продуктивністю 100 т/рік.

Альтернативним способом збагачення вугілля дрібних класів (0,1-2 мм) є гвинтове сепарування. Гвинтовий сепаратор вперше впроваджений в Австралії, потім в ПАР, Великобританії, США, Російській Федерації та багатьох інших країнах. Недоліком цього способу збагачення є необхідність застосування двостадійного поділу, оскільки не вдається здійснити належне розділення вугільних зерен певних розмірів з першого разу.

Найбільш ефективне збагаченням дрібних класів вугілля досягається у важких середовищах, зокрема в гідроциклоні та сепараторі Tri-Flo. Однак, якщо врахувати витрати на регенерацію суспензії і відмивання, вони можуть бути економічно менш вигідними порівняно з гвинтовими сепараторами. Серед сепараторів з важким середовищем, призначених для збагачення вугілля, перевага надається механізмам підвищеної гравітації: Falconi Knelson (розроблена канадською фірмою Falcon Concentrators) [58, 60]. Сепаратор типу Falcon є вертикальним апаратом у вигляді пів-конуса, а процес поділу вугілля відбувається в щільному середовищі подрібненого магнетиту.

Британська компанія JMC Mining Services [61] розробила технологію Larcodems для збагачення вугілля розміром від 120 до 0,5 мм у відцентровому полі важкого середовища з інтервалом густини 1.3 - 2.0 г/см³. Впроваджена автоматизована технологія дозволяє значно спростити процес збагачення, а також удвічі зменшити кількість обладнання.

З огляду на вищевикладене, сьогодні вуглезбагачувальна галузь має основні технологічні аспекти промислового впровадження для збагачення вугілля при зміні щільності. Не змінюючи технології, чисте вугілля може бути розділене на низку більш вузьких фракцій, різних за щільністю, які також відрізняються за фізико-хімічними та технологічними властивостями, що допоможе при зміні щільності отримати вугілля з різними петрографічними властивостями.

1.4.2 Вивчення можливості використання окремих компонентів кам'яного вугілля для розширення сировинної бази коксування

З огляду на різницю властивостей окремих вугільних фракцій, є можливість ефективного використання природного потенціалу. Оскільки коксохімічне виробництво є основним споживачем спікливого вугілля, то ефективний процес збагачення досить важливий. Необхідно не тільки знизити зольність, але й підвищити вміст спікливих компонентів.

Спочатку метод сепарації був процесом позбавлення вугілля від баласту і мінеральних домішок. У роботі [62] представлені результати щодо взаємозв'язку між петрографічним вмістом мінеральних компонентів у вугіллі і показником густини. Зі збільшенням густини кількість золи в вугільних фракціях збільшується, маючи лінійну залежність. Петрографічний склад також змінюється лінійно, вітриніт і ліптиніт зі збільшенням густини вугілля зменшується, а інертиніт навпаки, збільшується. Отже, максимальна кількість органічної частки вугілля міститься в найбільш легких фракціях з густиною менше ніж 1,30 г/см³, і містить мінімальну кількість мінеральних

домішок, а найбільша кількість мінеральних компонентів знаходиться в найважчій фракції з густиною більше 1,40 г/см³.

Однак за даними [63], була отримана закономірність: чим більше мінеральних компонентів у вихідному вугіллі, тим вище показник зольності у всіх фракціях. Можна припустити, що розподіл мінеральних компонентів за фракціями залежить від хімічної природи і їхнього загального вмісту у вугіллі, а також від ступеня розподілу неорганічних речовин в органічній масі.

В роботі [64] представлені результати, в яких доведено, що на вихід окремих фракцій істотно впливає ступінь метаморфізму вугілля. Під час вивчення залежності показника відбиття вітриніта від густини, максимальне значення R_0 = 0,75 - 0,80% мають легкі фракції з густиною<1,28 і 1,28 - 1,30 г/см³, проте вихід важчих фракцій характеризується мінімальним значенням цього показника.

В роботах [65, 66] були проведені дослідження з вивчення впливу отриманих фракцій вугілля різної густини на показники: вільне спучування, товщину пластичного шару і вихід рідинорухливої нелеткої складової пластичної маси. У цих роботах висунуто припущення про те, що зазначені показники змінюються зі зміною густини фракцій при термічному впливі,що зумовлено кількістю органічної маси, що міститься в більш легких фракціях вугілля густиною менше 1,30 г/см³.

Для більш глибокого вивчення петрографічних властивостей вугілля та вугільних фракцій були проведені дослідження, спрямовані на вивчення елементного складу вугільних фракцій різної густини. В роботі [67] за результатами дослідження було встановлено, що при підвищенні густини вугільних фракцій вміст частки ліптиніта зменшується, а інертиніта збільшується, це пов'язано зі збільшенням вмісту вуглецю і зменшенням водню. Так, при вивченні якутського газового вугілля, зміна густини фракцій від 1,24 до 1,30 г/см³ призводить до збільшенню вмісту вуглецю з 79,9 до 80,5%, а кількість водню зменшується з 7,2 до 6,0% [68].

Вміст кисню у вугіллі змінюється неоднозначно. Кількість кисню у вугіллі Кузбас [69] (ш. Тирганська) знижується зі збільшенням густини фракцій, тоді як вугілля шахти Тайгова мають іншу залежність вмісту кисню від густин вугільних фракцій.

Вміст азоту у фракціях вугілля, за даними [70], знижується зі збільшенням густини фракцій. Також встановлено, що величина азоту не залежить від ступеня метаморфізму, типу вугілля та відновленості.

Органічна і загальна сірка розподіляються зі зміною густини фракцій по різному [70, 71]. Вміст загальної сірки підвищується зі збільшенням густини вугілля, що пов'язано зі ступенем мінералізації, а також кількістю сульфатів і сульфідів у мінеральних компонентах вугілля. Вміст органічної сірки знижується лінійно зі збільшенням густини фракцій відновленого і маловідновленого вугілля.

У лабораторних умовах [72, 73] було вивчено та представлено результати дослідження щодо впливу густини вугільних фракцій (<1,30; 1,30 - 1,35 і 1,35 - 1,38 г/см³) на їхню коксівність. Результати дослідження показали, що найкращими показники мають найлегші фракції вугілля. У згаданих роботах розділенню підлягало вугілля марки КСН (ш. «Карагандинська»), легка фракція (<1,30 г/см³) відповідала вугіллю марці ГЖО, фракція з густиною 1,30 – 1,35 г/см ³ – марці КО, а фракція з найбільшою густиною (1,35 – 1,38 г/см³) – марці КСН. Аналогічні результати було отримано дослідженнями фракції вугілля марки КО (ш. «Дубовская»), найлегша за своїми показниками фракція характеризувалася маркою К, інші фракції – маркою КО. Зміни властивостей вугілля пов'язані зі збільшенням густини вугільних фракцій є наслідком зниження вмісту суми спікливих мікрокомпонентів (вітриніт, ліптиніт) і підвищення вмісту опіснюючих мікрокомпонентів (інертиніт), що призводить до зменшення показника спікливості. В роботі [72] в лабораторних умовах вивчався вплив густини вугільних фракцій на коксівність. Результати дослідження представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Характеристика фракцій різної густини карагандинського вугілля і показники міцності отриманого з них коксу

Характеристика фракцій вугілля							Міцність коксу	
d, г/см³	A^d, %	V^{daf}, %	*y, мм*	*L,%*	*Vt,%*	*I,%*	M_{25}, %	M_{10}, %
ш. Карагандинска, $R_{0,r}0,95$%								
<1,30	9,1	30,1	13	7,3	79,0	13,7	89,0	11,0
1,30-1,35	9,2	29,4	10	8,1	59,4	32,5	81,0	11,0
1,35-1,38	9,4	28,2	7	7,6	43,8	48,6	76,0	24,0
ш. Дубовська, $R_{0,r}1,27$%								
<1,30	8,4	27,0	15	5,2	81,8	13,0	95,5	4,5
1,30-1,35	12,8	25,0	12	5,5	59,3	35,2	86,5	12,0
1,35-1,38	13,1	26,7	10	6,3	51,6	42,1	79,5	20,5

Беручи до уваги те, що сьогодні необхідною умовою для використання всього спікливого вугілля є зниження зольності, більш глибоке збагачення дає можливість змінювати властивості вугілля, в тому числі і малоцінних марок вугілля. Отже, буде знаходитись у необхідній мірі не тільки зольність вугільного концентрату, а й підвищуватися його технологічна цінність. Як зазначено в роботах [74, 75], за допомогою змішування вугілля різних марок, залежно від складу суміші, можна отримати компоненти з іншою марочною приналежністю. Така модифікація вугілля призводить до зміни класифікаційних параметрів, що визначають марку за показниками відбиття вітриніта, вміст пісних компонентів, вихід летючих речовин і товщину пластичного шару. Отримані результати доводять, що при поділі вугілля марки ОС (ш. «Тайгова») у найбільш легку фракцію з густиною менше ніж 1,28 г/см³ знаходяться компоненти, що характеризують марку ЯЖ, а вугілля марки КС (ш. «Фізкультурник») з тією ж густиною характеризують вугілля марки К. При поділі вугілля марки ТС

(ш. «Судженск») у фракції <1,28 г/см³ виділяються більш цінні компоненти, що відповідають вмісту вугілля марки ПС.

Зазначене фракціонування вказує на неоднорідний склад вугільної речовини, і на те, що при використанні цього методу структура речовини не руйнується. В процесі розшарування вугілля, органічна маса легких фракцій (<1,30г/см^3) насичена мацералами групи вітриніта, тим часом в органічній масі важких фракцій вугілля (> 1,50г/см^3) міститися в більшій кількості мацерали групи інертиніта. Така закономірність розподілу вугільного компоненту на фракції простежуються в багатьох вугільних компонентах [63, 70, 76].

Також важливим є термічні і термохімічні властивості вугільних фракцій, оскільки значна частина методів переробки вугільної сировини заснована на термічному впливі.

В роботі [77] вченими проаналізовано взаємозв'язок вугільних фракцій польського вугілля різного ступеня метаморфізму між індексом вільного спучування і індексом Рога. Результати досліджень показали регулярне зниження обох показників при підвищенні густини вугільних фракцій. Автори статті стверджують, що з підвищенням густини вугільних фракцій значна зміна відбувається в петрографічних властивостях і, отже,за показниками спікливості. У всіх марках вугілля при збільшенні густини фракцій відбувається зниження вмісту спікливих компонентів (вітриніт, ліптиніт) і збільшення пісних компонентів (інертиніт). В такому випадку зі зростанням густини поступово знижується показник індексу Рога (RI) і показник вільного спучування (SI). У вугільних фракціях, де вміст інертиніта досягає критичних значень, обидва показники RI і SI знижуються до нуля.

В роботі [78] отримані вугільні фракції були вивчені за показниками спікання. Результати дослідження показали, що зі збільшенням густини вугільних фракцій спостерігається залежність величини товщини пластичного шару від густини вугілля. Авторами було встановлено, що спікання окремо отриманих фракцій вугілля залежить в основному від вмісту

спікливих компонентів. Однак в цих дослідженнях особливу увагу звертали на те, при якому інтервалі густини міститься максимальна кількість спікливих компоненти групи вітриніта.

В роботі [79, 80] представлені результати дослідження з вивчення реакційної здатності вугільних фракцій при низькотемпературній взаємодії з киснем. При горінні вугільної фракцій різної густини константа швидкості реакції знижується і підвищується температура вигоряння коксового залишку зі збільшенням густини фракцій [81]. Ступінь зрідження знижується зі збільшенням густини фракцій, що зумовлено поступовим накопиченням найменш реакційно здатних мацеральних груп у фракціях.

Незважаючи на великий практичний інтерес сепараційного методу він, до теперішнього часу, вивчений недостатньо. Варто зазначити, що цей метод може використовуватися не тільки для дослідження властивостей спікливого вугілля, а й для вирішення актуальної проблеми сучасності – розширення сировинної бази коксування.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Аналіз літературних джерел показує, що потреба коксохімічної промисловості в якісних компонентах вугільної шихти постійно зростає. В зв’язку з цим, максимальна реалізація технологічного потенціалу кам’яного вугілля, що дозволяє розширити сировинну базу коксування є актуальною народно-господарчою задачею.

2. Огляд досліджень, які присвячені дослідженню по розширенню сировинної бази коксування показує, що проаналізовані методи поділяються на декілька груп, які відрізняються за способом впливу. До першої групи відносяться механічні методи. До другої – термічні методи. До третьої – методи впливу на вугілля за допомогою різноманітних домішок. До четвертої – методи, що передбачають виділення зі спікливого вугілля цінної речовини, тобто «сепараційні».

3. Розширення сировинної бази коксування за рахунок методів, що передбачають виділення із спікливого вугілля цінної речовини, є найбільш перспективним методом, враховуючи, те що впровадження його не вимагає істотних змін технології виробництва, які існують, а також цей метод дозволяє використання потенціалу вугілля в повному обсязі.

4. Для ефективного використання кам’яного вугілля необхідно використовувати потенціал останніх повною мірою, здійснити це можливо при залученні до вугільної шихти як одного із компонентів частки слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля.

РОЗДІЛ 2
АНАЛІЗ ПРЕДМЕТІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІЖДЕННЯ

2.1 Методика і методи дослідження

Шляхом аналітичного огляду та за допомогою науково-дослідної роботи над бурим та слабкоспікливим вугіллям [82], було встановлено, що «сепараційний» метод є більш перспективним для розширення сировинної бази коксування. У роботі було вирішено використовувати зазначений метод як такий, що дозволяє розширити сировинну базу коксування за рахунок використання в шихті для коксування слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ. Перед початком досліджень було припущено, що при розділенні слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля відбудеться підвищення його якісних показників, що дозволить використовувати це вугілля в шихті для коксування.

Отже, для цього необхідно розділити слабкоспікливе вугілля марки ДГ за допомогою «сепараційного» методу на фракції, різні за густиною.

Розділення рядового слабкоспікливого вугілля марки ДГ проводили у важкому середовищі водневого розчину $ZnCl_2$ [83] з густиною: 1,25; 1,26; 1,27; 1,28; 1,3 г/см^3. У результаті були отримані вугільні фракції з густиною: <1,25; 1,25 – 1,26; 1,26 – 1.27; 1,27 – 1.28; 1,28 – 1.3; >1,3 г/см^3, для подальшого їх вивчення. При розділенні вугілля за вказаним методом у важкій рідині різної щільності відбувається нерівномірний розподіл вугілля, що досліджується, по вищезазначеним фракціям. На рисунку 2.1 подана схема розділення слабкоспікливого вугілля марки ДГ на фракції різної густини [84].

Процес розділення слабкоспікливого вугілля починали з баку, що має найменшу густину розчину $ZnCl_2$, а саме 1,25 г/см^3. Подрібнене рядове вугілля завантажували до першого баку, його ретельно перемішували

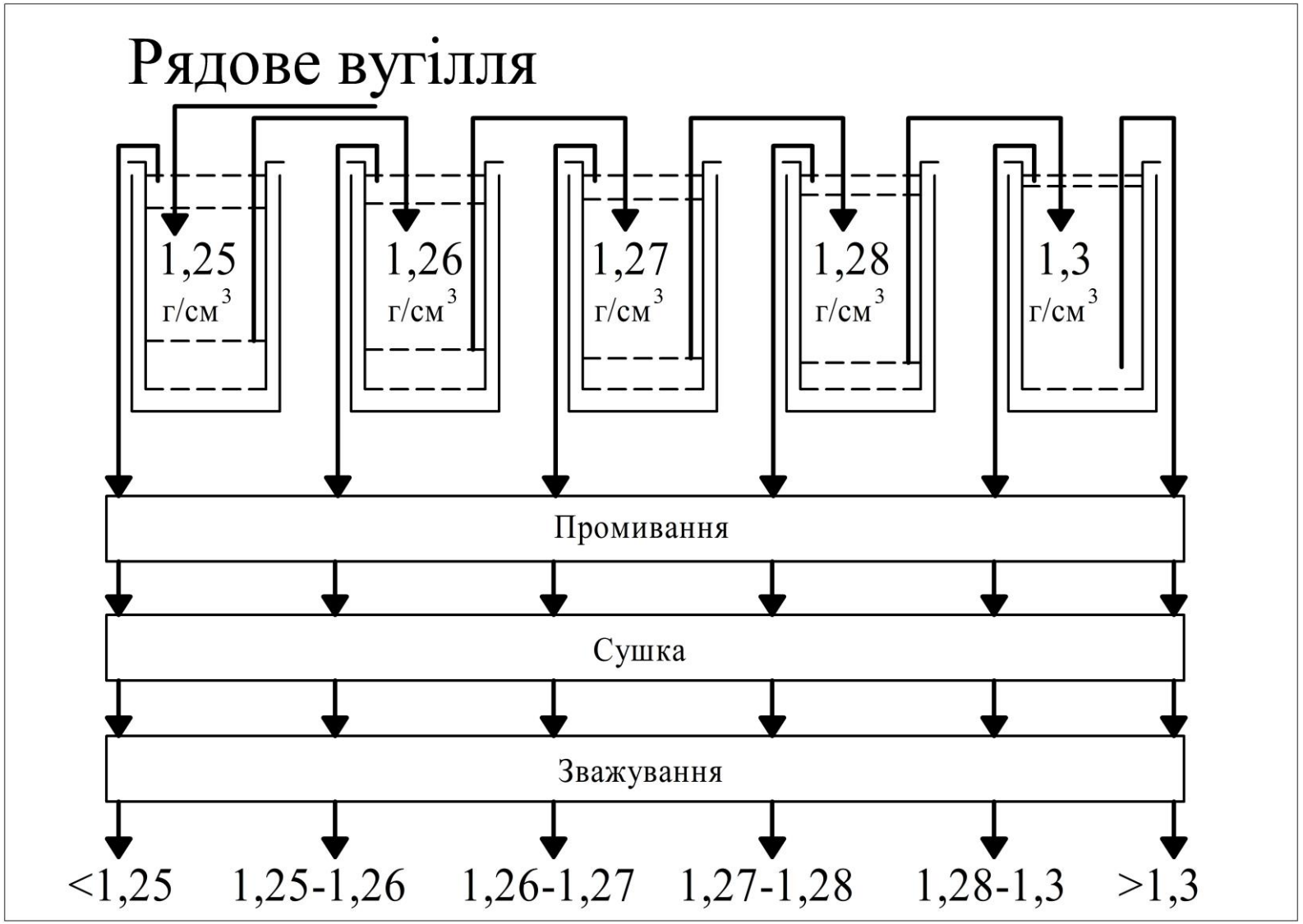

Рисунок 2.1 – Схема розділення слабкоспікливого вугілля на фракції різної густини.

мішалкою і протягом 5 хвилин відстоювали, потім знову перемішували і відстоювали, таким чином повторюючи процедуру 4 рази. Коли вугілля відстояло та розділилося в важкому розчині $ZnCl_2$, ту частину вугілля, що піднялася на поверхню, ретельно знімали та промивали гарячою дистиляційною водою декілька разів, для того щоб відмити досліджуване вугілля від розчину $ZnCl_2$,

Отриману промиту вугільну фракцію відправляли до сушильної шафи для висушування до повітряно-сухого стану. Час сушки складав 23 години при температурі 50^0C.

Та частина вугілля, що була в осаді першого баку (фракція >1,25 г/см^3) після зливу важкої рідини відправлялась до наступного баку з густиною розчину $ZnCl_2$ 1,26 г/см^3 та повторювали дослідження, як і першого разу. Таким чином проба слабкоспікливого вугілля проходила всі баки, при цьому густина важкого середовища с кожним разом підвищувалась. Кожна нова отримана фракція також промивалась гарячою дистиляційною водою та висушувалась у сушильній шафі. Дослідне вугілля пройшовши всі п’ять баків, було розділено на шість фракцій слабкоспікливого вугілля, які відрізнялися одна від одної щільністю.

Оскільки, отриманні результати по виходу фракцій слабкоспікливого вугілля відмінні (максимальне значення в першій та останній фракціях), то подальші дослідження були спрямовані на вивчення технічних та петрографічних показників.

Кожну фракцію слабкоспікливого вугілля досліджували за допомогою показників технічного аналізу, тобто вмісту золи, сірки, виходу летких речовин. Дослідження проводили використовуючи стандартні методи: ГОСТ 11022-95 – визначення вмісту золи; ГОСТ 8606-95 – визначення вмісту сірки; ГОСТ 6382-65 – визначення виходу летких речовин [85].

Петрографічні характеристики вугільних фракцій були отримані за методами дослідження мацерального аналізу, суми спікливих компонентів та

відбивної здатності вітрині та. Дослідження проводили використовуючи стандартні сучасні методи ГОСТ ISO 7404-3-2012, ГОСТ ISO 7404-5-2012.

Визначення рідкої нелеткої складової в фракціях слабкоспікливого вугілля, дало можливість більш поглиблено вивчити вугільні фракції які відрізняються за щільністю.

Для виділення з вугілля рідкої частини використовували метод відцентрового фугування [86]. Дослідження проводили при порівняно високих швидкостях і температурах нагріву в апараті. Наведений метод розроблений Харківським політехнічним інститутом (ГОСТ 17621-72). На рисунку 2.2 представлена трубчата піч та на рисунку 2.3 завантажувальний патрон установки.

Суть методу полягає у вивченні спікливого вугілля за допомогою визначення рідких нелетких складових пластичної маси вугілля, що утворилась при нагріванні без доступу повітря у відцентровому полі.

Дослідження проводили в центрифузі з 1500 об/хв та нагріванні за 5 хвилин до 300 ^{0}C, в інтервалі температур від 300 до 600 ^{0}C дослідне вугілля нагрівали зі швидкістю 70 ^{0}C/хв. По закінченню дослідження отримані рідкі та тверді продукти термічного піролізу зважували, та визначали кількість рідких, твердих та газоподібних продуктів що отримувались з вугільної проби певної щільності.

Для перерахунку виходів продуктів деструкції вугільних фракцій, що відрізняються за щільністю, на горючу масу використовували наступні формули:

$$P^г = (97\ P^в)/[100 - (A^а + W^а)] \quad (2.1)$$

$$Г^г = [(Г^в - W^а)\ 100]/\ [100 - (A^а + W^а)] \quad (2.2)$$

$$T^г = 100 - (P^г + Г^г)] \quad (2.3)$$

де $Ж^в$, $Г^в$ – вихід відповідно рідких нелетких та парогазових продуктів з повітряно-сухої наважки вугілля, %; W^a – вміст вологи в наважці вугілля, %; A^a – аналітична зольність вихідної наважки, %; 97 – число отримане при відніманні з 100 значенні зольності рідких нелетких продуктів, що становлять 3%; $Р^г$, $Т^г$, $Г^г$ – вихід відповідно рідких нелетких, твердих і парогазових продуктів в перерахунку на горючу масу вугілля, %.

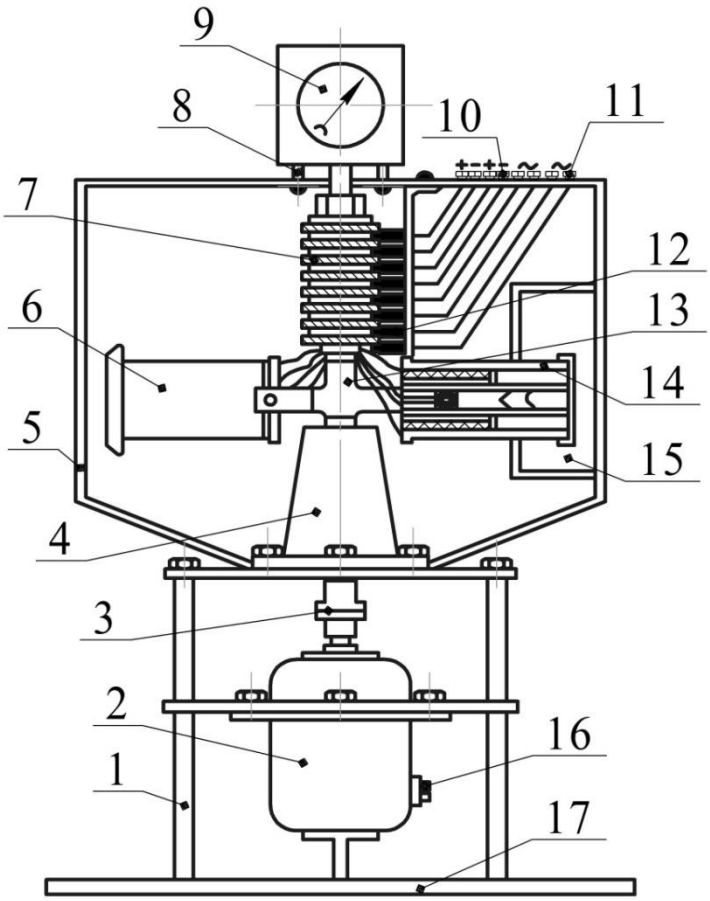

Рисунок 2.2 – Загальний вигляд центрифуги ХПІ:

1 – Кріпильна стійка; 2 – електродвигун; 3 – муфта; 4 – корпус підшипників; 5 – кожух центрифуги; 6 – резервна електропіч; 7 – струмознімач; 8 – кріплення тахометру; 9 – тахометр; 10 – контакти термопари; 11 – місце підведення електричного струму до електропечі; 12 – ковзаючи контакти; 13 – тримач печі; 14 – електропіч; 15 – дверцята; 16 – контакти електродвигуна; 17 – опорна плита.

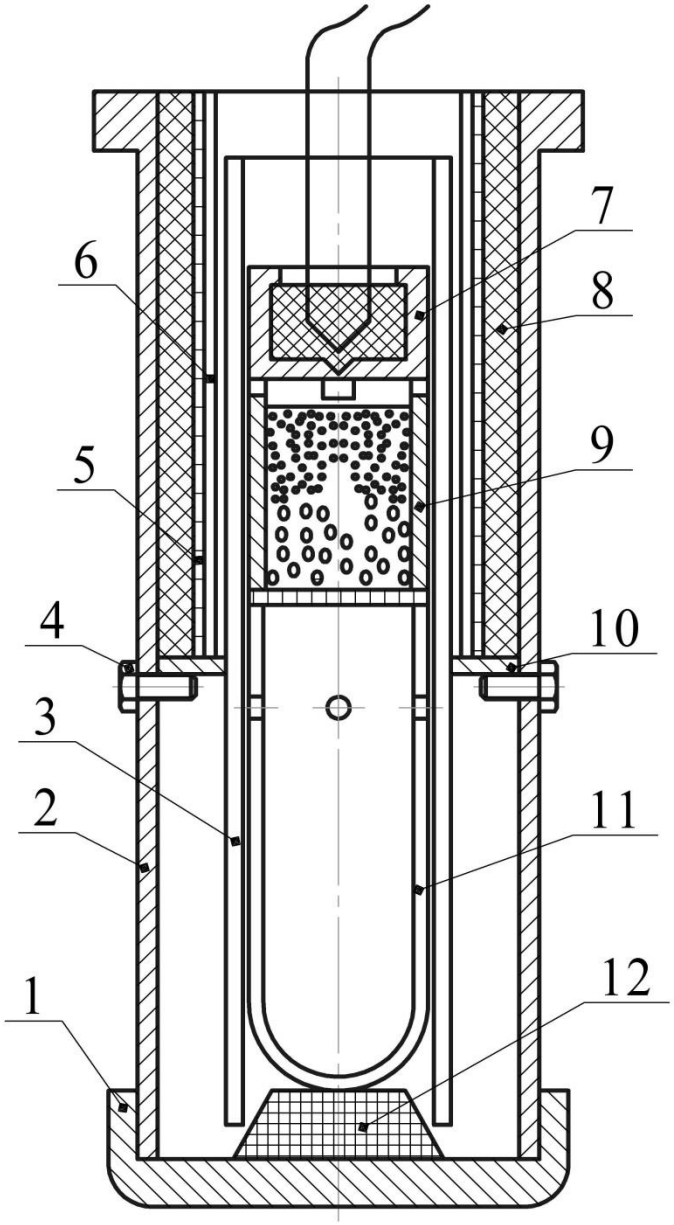

Рисунок 2.3 – Трубчата піч:

1 – Кришка печі; 2 – корпус печі; 3 – завантажувальний патрон; 4 – гвинт; 5 – електроспіраль; 6 – ізоляційна труба; 7 – термопара; 8 – ізоляційна маса; 9 – вкладиш; 10 – опорне кільце; 11 – приймач; 12 – пробка.

Для вивчення функціональних груп структурних фрагментів та проведення порівняльної оцінки фракцій слабкоспікливого вугілля використовували метод ІЧ-спектроскопії, зокрема вивчення якісного та кількісного складу молекулярних сполук шляхом дослідження вугілля в інфрачервоної спектроскопії [84].

Реєстрацію ІЧ-спектрів проводили за допомогою ІЧ Фурье-спектрометру Інфралюм-ФТ-801 і «NICOLET 5700». Обробку та інтерпретацію отриманих спектрів проводили за допомогою програми Origin Pro 8.0. Зміну параметрів оцінювали шляхом співвідношення інтенсивності полоси поглинання (пропускання), що характеризує коливання зв'язків CAr−H в ароматичному кільці (3040 $см^{-1}$), CAl−H в аліфатичних структурах (2920 $см^{-1}$), C=O в карбонільних групах (1650-1700 $см^{-1}$), CAr−CAr в ароматичному кільці (1600 $см^{-1}$), S=O в сульфооксидних групах (1030 $см^{-1}$), C−O в простих ефірних групах (1260 $см^{-1}$) і O−H в гідроксильних групах (3400 $см^{-1}$).

Ступінь ароматичності розраховували за допомогою співвідношення D_{3040}/D_{2920}, де D_{3040} та D_{2920} – оптична щільність в максимумах полос поглинання валентних коливань ароматичних та аліфатичних C–H - зв'язків відповідно довжині хвилі 3040 і 2920$см^{-1}$.

Подальші методи дослідження фракцій слабкоспікливого вугілля були проведені для визначення придатності використання фракції в шихті для коксування. Для цього вивчалися властивості фракцій, що дозволяють оцінити спікливість та спікливу здатність.

Спікливість досліджуваних вугільних фракцій визначали за методом ІГК-ДМетІ та за методом Сапожнікова Л.М.

Визначення пластометричних показників вугільних фракцій проводили за методом Сапожнікова Л.М. згідно з ГОСТом 1186-87. Визначали товщину пластичного шару (у, мм) і величину пластометричної усадки (х, мм) для кожної отриманої вугільної фракції [87].

Дилатометричні показники фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ визначали в апараті ІГК-ДМетІ (ГОСТ 14056-77) [87]. Сутність дилатометричного методу полягає в оцінці властивостей вугілля на основі зміни ступеня збільшення об'єму або усадки вугілля без вмісту фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля та з добавкою фракції слабкоспікливого вугілля певної щільності. Метод полягає у нагріванні 2-

охграм спресованого в металевій трубці вугілля при 800 – 825^{0}С і визначенні періоду нагрівання до початку спучування ($П_Н$, с), періоду спучування ($П_С$, с) і величини спучування (індексу спучування $I_С$, мм) в умовах вільного розширення фракцій слабкоспікливого вугілля в трубці.

Окрім спікання вивчали спікливу здатність досліджуваних вугільних фракцій, зокрема ту кількість інертного матеріалу, що здатна запекти в собі кожна фракція. Визначення спікливої здатності вугілля проводили за двома методами: за методом Рога та модифікованим методом УХІНу.

Дослідження вугільних фракцій слабкоспікливого вугілля марки ДГ за методом Рога проводили за стандартною методикою (ГОСТ 9318-91) [87]. Сутність методу полягає у швидкісному нагріванні при постійному тиску суміші фракції слабкоспікливого вугілля та пісної домішки (антрациту), а також визначенні механічної міцності нелеткого залишку.

Метод визначення спікливої здатності за допомогою модифікованого методу УХІНу [88] оснований на дослідженні спікливої здатності вугільних фракцій різних за густиною, шляхом запікання кожної фракції вугілля без доступу повітря та пошарового завантаження: антрацит – фракція вугілля – антрацит (3:1:3). Фракції слабкоспікливого вугілля розташовували між двома шарами неспікливого матеріалу, що дозволило збільшити поверхню взаємодії речовини з пластичною масою. Трубку нагрівали до температури 600°С впродовж 20хв. За рахунок фізико-хімічної взаємодії утворена пластична маса взаємодіє з верхнім та нижнім шаром та зв’язує певну кількість антрациту. Показник спікливої здатності визначався як різниця маси антрациту до та після дослідження.

Подальші дослідження були спрямовані на вивчення взаємодії фракції слабкоспікливого вугілля з вугільною шихтою на процес утворення коксу. Коксування вугільної шихти з вмістом фракції слабкоспікливого вугілля густиною 1,25 – 1,3 г/см^3 проводили в лабораторних умовах кафедри металургійного палива та вогнетривів Національної металургійної академії України в шахтній печі [83].

Для коксування використовувалася вугільна шихта до якої додавали фракцію слабкоспікливого вугілля густиною 1,25 – 1,3 г/см ^{3} у кількості 0, 5, 10 і 15%. Маса навіски складала 500г, коксування проводили 1,2 ч. при температурі 850^{0}С.

Після проведення коксування визначали вихід коксу та показник механічної міцності шляхом чотирьохразового скидання на металеву плиту. Після скидання на металеву плиту проводився розсів отриманого залишку на класи за розміром: >40; 25-40; 10-25; 5-10; <5 мм.

Отримані кокси з вмістом фракції слабкоспікливого вугілля досліджували за показниками технічного аналізу, структурної міцності та абразивною твердості, а також горючості.

Технічний аналіз отриманих коксів проводили за стандартними методами [85]: визначали вміст золи (ГОСТ 11022-95); летких речовин (ГОСТ 6382-2001); сірки (ГОСТ 4339-74).

Структурну міцність коксу визначали за стандартною методикою за методом Грязнова М.С. (ГОСТ 9521-74). Суть цього методу полягає в механічному впливі на позбавлений тріщин коксовий залишок, до складу якого входить фракція слабкоспікливого вугілля [85].

Абразивну міцність коксового залишку з вмістом фракції слабкоспікливого вугілля (1,25 – 1,3г/см^3) визначали за стандартною методикою (ГОСТ 30827-2002). Сутність цього методу полягає встиранні коксом алюмінієвої пластинки [85].

Горючість коксу визначали шляхом спалювання наважки коксового залишку у вертикальній циліндричній печі при постійній температурі в середовищі кисню повітря і реєстрації втрати маси наважки за певний проміжок часу. Схема апарату визначення горючості коксу подана на рисунку 2.4 [87].

Для проведення дослідження наважку коксу масою 5 ± 0,1 г і величиною 6 – 3 мм завантажували в піч, розігріту до температури 500°С. Після встановлення проби коксу вмикали ваги і фіксували час початку

дослідження. Заміри втрати маси коксу при проведенні дослідження здійснювалися кожні 10 хвилин. Випробування вважали завершеним коли протягом 30 хвилин втрата маси проби залишалася незмінною.

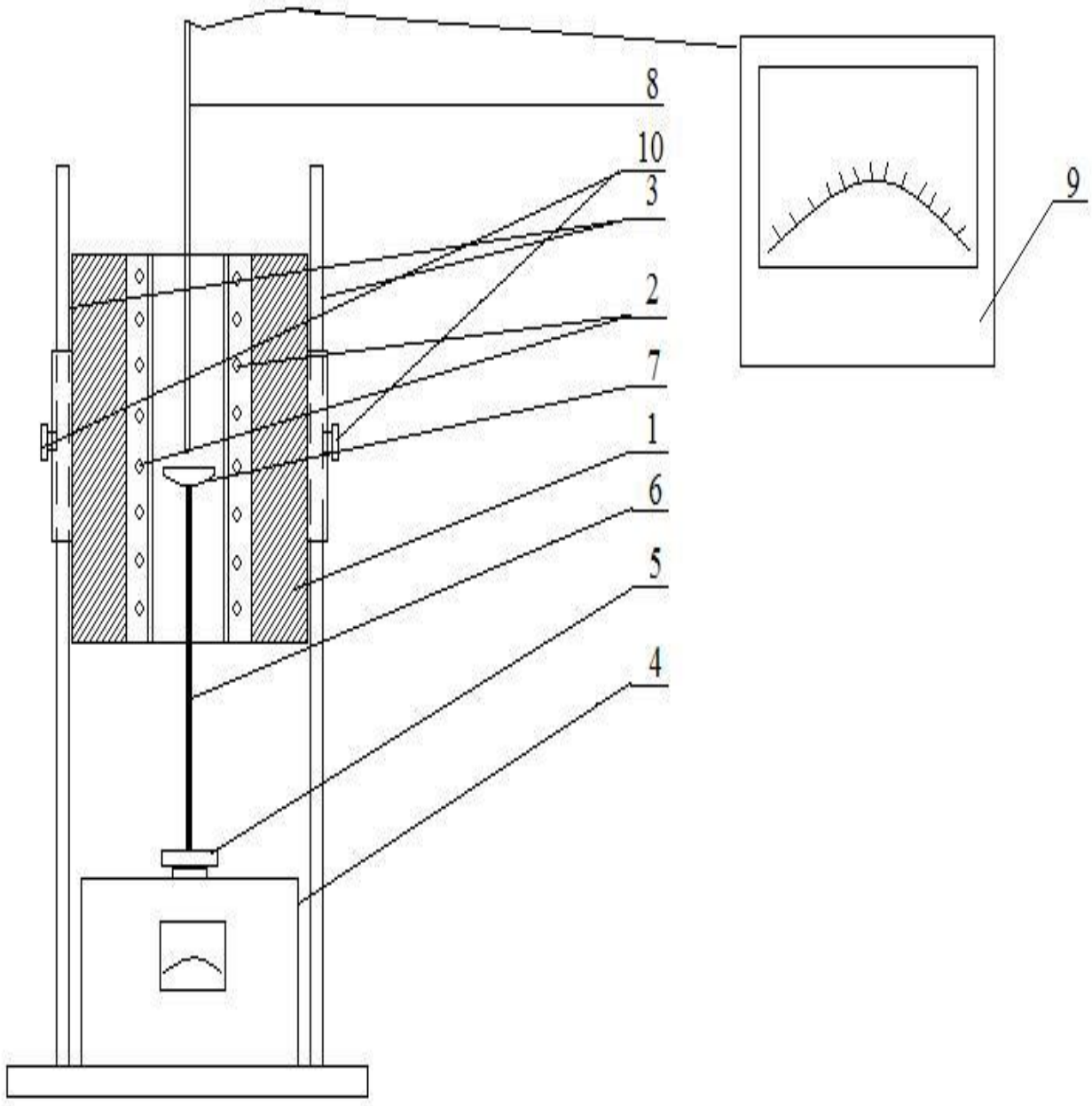

Рисунок 2.4 – Прилад для визначення горючості коксу:

1 – корпус нагрівальної печі; 2 – нагрівальна обмотка; 3 – кріпильні тяги; 4 – ваги; 5 – головка терезів; 6 – опорна тяга завантаження проби (штанга); 7 – чашечка для завантаження проби; 8 – термопара; 9 – потенціометр; 10 – кронштейни кріплення нагрівального блоку.

Проінтегрувавши частину графіку, де відбувається інтенсивна втрата маси наважки, був отриманий показник,що позначав швидкість зазначеного процесу. Цей показник використовувався як той, що відображає горючість коксу.

При переході до промислових досліджень було вирішено провести коксування в збільшеній лабораторній установці на ПрАТ «Дніпровський КХЗ». Для дослідження брали середньозмінну вугільну шихту для коксування та готували три шихти: 1 шихта – без додавання слабкоспікливого вугілля, 2-га шихта – з додаванням фракції слабкоспікливого вугілля, 3-я шихта – додаванням збагаченого, незмінного слабкоспікливого вугілля.

Якість отриманих коксів визначали за допомогою показників CRI (Coke Reactivity Index) і CSR (Coke Strengthafter Reaction) (ASTMD 5341, ISO18894) [83]. Суть методу полягає в нагріванні проби коксу при температурі 1100^0C в атмосфері двоокису вуглецю. За результатами зміни маси був отриманий показник CRI. Кокс після реакції подавався в барабан для випробування на міцність, після барабана кокс просіювали та отримували показник CSR.

2.2 Характеристика досліджуваного вугілля та вугільних шихт

При проведенні дослідження по розділенню вугілля на фракції у важкому середовищі використовували Павлоградське слабкоспікливе малометаморфізоване вугілля марки ДГ, Дніпровської шахти. В таблиці 2.1 подані технічні та петрографічні показники вугілля.

Після розділення слабкоспікливого вугілля марки ДГ у важкому середовищі було отримано 6 фракцій, різних за густиною.

Подальші дослідження такі як: визначення технічного та петрографічного аналізу, ІЧ-спектроскопія, вивчення показників дилатометрії та пластометрії (метод ІГК - ДМетІ та Сапожнікова Л.М. відповідно), спікливої здатність за методом Рога та модифікованим методом

УХІНа, проводили з фракціями вугілля, що отримали після розділення в важкому середовищі.

Таблиця 2.1

Характеристика слабкоспікливого вугілля марки ДГ

Технічний аналіз, %			Петрографічний аналіз, %				
A^d	V^{daf}	S^d_t	Мацеральний склад			∑СК	R_0
			Vt	L	I		
8,4	43,7	2,78	60,6	6,1	33,3	66.4	0,53

В таблиці 2.2 подані технічні та петрографічні характеристики отриманих вугільних фракцій.

Таблиця 2.2

Характеристика отриманих вугільних фракцій

Фракція вугілля марки ДГ, г/см^3	Технічний аналіз, %			Петрографічний аналіз, %				
	A^d	V^{daf}	S^d_t	Мацеральний склад			∑СК	R_0
				Vt	L	I		
<1,25	2,6	48,8	1,43	53,4	13,2	33,4	66,6	0,54
1,25-1,26	1,8	46,5	1,25	60,5	10,0	29,5	70,5	0,55
1,26-1,27	2,2	46,1	1,27	61,2	10,1	28,7	71,3	0,53
1,27-1,28	2,0	43,5	1,23	62,7	7,4	29,9	70,1	0,54
1,28-1,3	2,6	42,4	1,35	62,1	8,0	29,9	70,1	0,55
>1,3	20,8	42,2	5,25	49,4	6,4	44,2	55,8	0,55

Для дослідження взаємодії фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ густиною 1,25-1,3г/см^3 з вугільною шихтою, було проведено коксування в лабораторних умовах у шахтній печі. Марочний склад шихт подано в

таблиці 2.3. отримані кокси в подальшому досліджувалися на механічну міцність, абразивну твердість та горючість.

Таблиця 2.3

Склад вугільних шихт з домішкою фракції слабкоспікливого вугілля

№ шихти	Марочний склад, %;				
	Г	Ж	К	ПС	фракція ДГ
1	25	35	25	15	--
2	25	30	25	15	5
3	25	25	25	15	10
4	25	20	25	15	15

Для проведення коксування на збільшеній лабораторній установці в умовах ПрАТ «Дніпровський КХЗ» використовували середньозмінну вугільну шихту. Відсоткове співвідношення вугільних компонентів, що входять до складу шихти подані в таблиці 2.4.

Подальші дослідження проводили на установці NSC, отримані кокси вивчали по показниках реакційної здатності (CRI) та міцності коксу після реакції (CSR). Умови дослідження стандартні (температура 1100^0C, час газифікації 2 години, витрати CO_2 5дм^3/хв). Маса коксу – 200г.

Таблиця 2.4

Марочний склад вугільних шихт

№	Склад шихти, %					
	ДГ	фДГ	Г	Ж	К	ПС
1	-	-	25	25	35	15
2	-	10	25	25	25	15
3	10	-	25	25	25	15

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Методичною основою дослідження є широке використання як математико-статистичного аналізу, так і достатньої кількості сучасних методик, що застосовуються для дослідження вугілля, вугільних шихт, а також продуктів їх термічного перетворення.

2. Наукові висновки та експериментальні дані, що були опубліковані у наукових виданнях використані для оцінки, а також пояснення отриманих нових знань про структуру та властивості слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля.

3. Розроблений та захищений патентом на корисну модель склад вугільної шихти для отримання доменного коксу [89].

РОЗДІЛ 3
ВИВЧЕННЯ ОКРЕМИХ ФРАКЦІЙ СЛАБКОСПІКЛИВОГО ВУГІЛЛЯ МАРКИ ДГ

На підставі аналізу висвітленого в першому розділі, де розглянуті методи розширення сировинної бази коксування, було визначено, що найбільш перспективним методом розширення сировинної бази коксування є використання домішок слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля, оскільки цей напрям дозволяє повною мірою використовувати його хімічний потенціал. Однак цей метод вивчений не достатньо для використання його в промисловості. Для його впровадження необхідно застосовувати додаткові прийоми, що пов'язані зі зміною властивостей слабкоспікливого вугілля. Це пов'язано з тим, що внесення малометаморфізованого вугілля в первинному вигляді призводить до погіршення якості отримуваного коксу.

В цьому розділі проведені дослідження спрямовані на зміну властивостей слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ, що дозволить використовувати його в шихті для коксування як компонента вугільної шихти.

3.1 Дослідження компонентного складу слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ

Для проведення дослідження було обрано слабкоспікливе малометаморфізоване вугілля марки ДГ, характеристики якого були подані в попередньому розділі.

Слабкоспікливе вугілля розділяли у важкому середовищі водного розчину $ZnCl_2$ на фракції [83, 84]. Після розділення вугілля в важкому середовищі, було отримано фракції слабкоспікливого вугілля з густиною: <1,25; 1,25 – 1,26; 1,26 – 1.27; 1,27 – 1.28; 1,28 – 1.3; >1,30 г/см^3.

Результати проведеного дослідження розподілу слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля на фракції, різної за густиною, були оброблені та представлені у вигляді гістограми на рисунку 3.1.

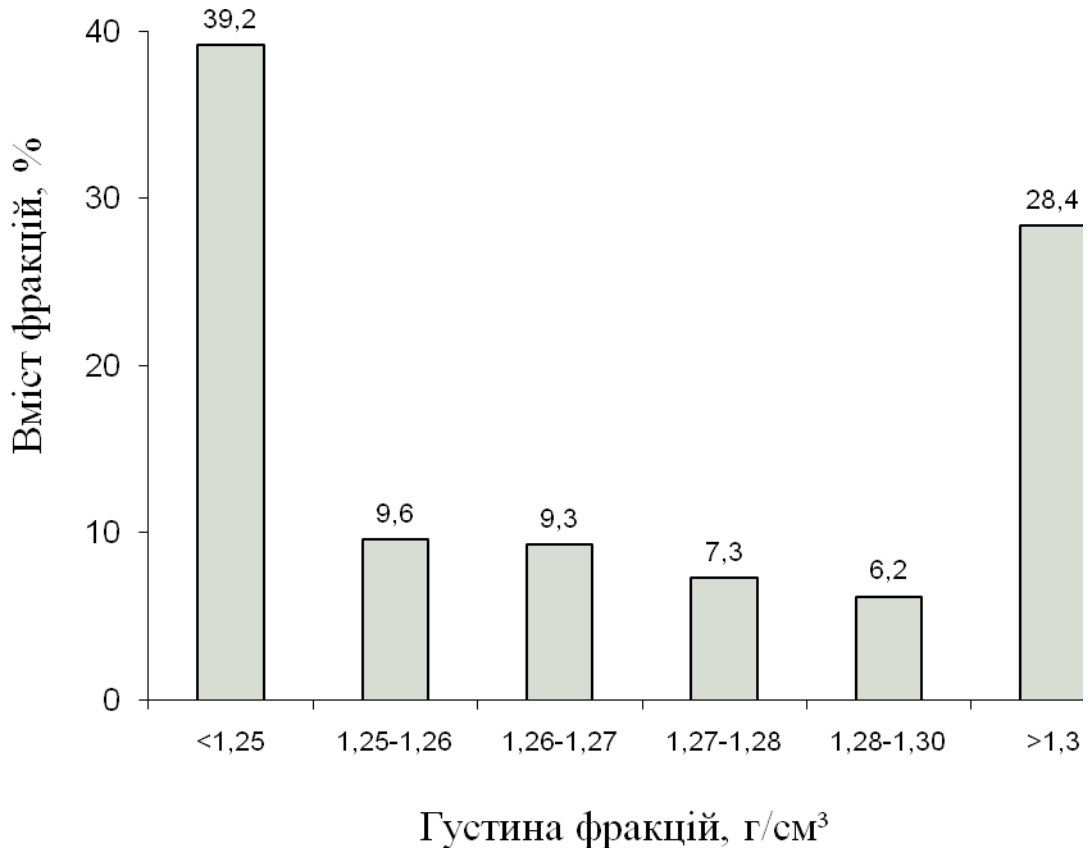

Рисунок. 3.1 – Зміна вмісту фракцій за густиною

Як видно з рис. 3.1 слабкоспікливе малометаморфізоване вугілля складається з компонентів різних за густиною, але нерівномірно розподілених. Основна маса слабкоспікливого вугілля знаходиться у легкій та важкій фракціях з густиною <1,25 і > 1,30 г/см³, що складає 67,6% від загальної маси вугілля марки ДГ. У той час як інші 33% майже рівномірно розділені у вугільних фракціях з густиною (від 1,25 – 1,26 до 1,28 – 1,30 г/см^3).

Отримані дані свідчать про те, що основна маса концентрату слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ складається з речовин з малою молекулярною масою, і сконцентровані в легкій вугільній фракції з густиною менше 1,25 г/см³. Підвищений вміст вугільного компонента в найважчій фракції з густиною більше 1,30 г/см³, свідчить про скупчення в ній основної частини високомолекулярних і мінеральних речовин.

Подальші дослідження, що спрямовані на вивчення властивостей отриманих окремих фракцій за густиною слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ проводилися використовуючи результати технічного аналізу. Результати дослідження технічного аналізу окремо отриманих фракцій подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Результати технічного аналізу окремо отриманих фракцій вугілля марки ДГ

Густина, г/см³	Технічний аналіз, %		
	A^d	V^{daf}	S^d_t
<1,25	2,6	48,8	1,43
1,25-1,26	1,8	46,5	1,25
1,26-1,27	2,2	46,1	1,27
1,27-1,28	2,0	43,5	1,23
1,28-1,3	2,6	42,4	1,35
>1,3	20,8	42,2	5,25

Провівши аналіз проведених досліджень, тобто впливу розділення по фракціях слабкоспікливе малометаморфізоване вугілля марки ДГ можна побачити, що отримані результати технічного аналізу відрізняються у отриманих фракціях та має неоднорідний характер.

Таким чином, обробивши отримані результати технічного аналізу окремо отриманих фракцій вугілля марки ДГ була побудована гістограма, яка

наведена на рисунку 3.2. Для зручності співставлення результатів технічного аналізу, таких як вихід золи (A^d), а також вміст сірки (S^d_t) на гістограмі результати цих показників збільшені на 10 (десять) одиниць.

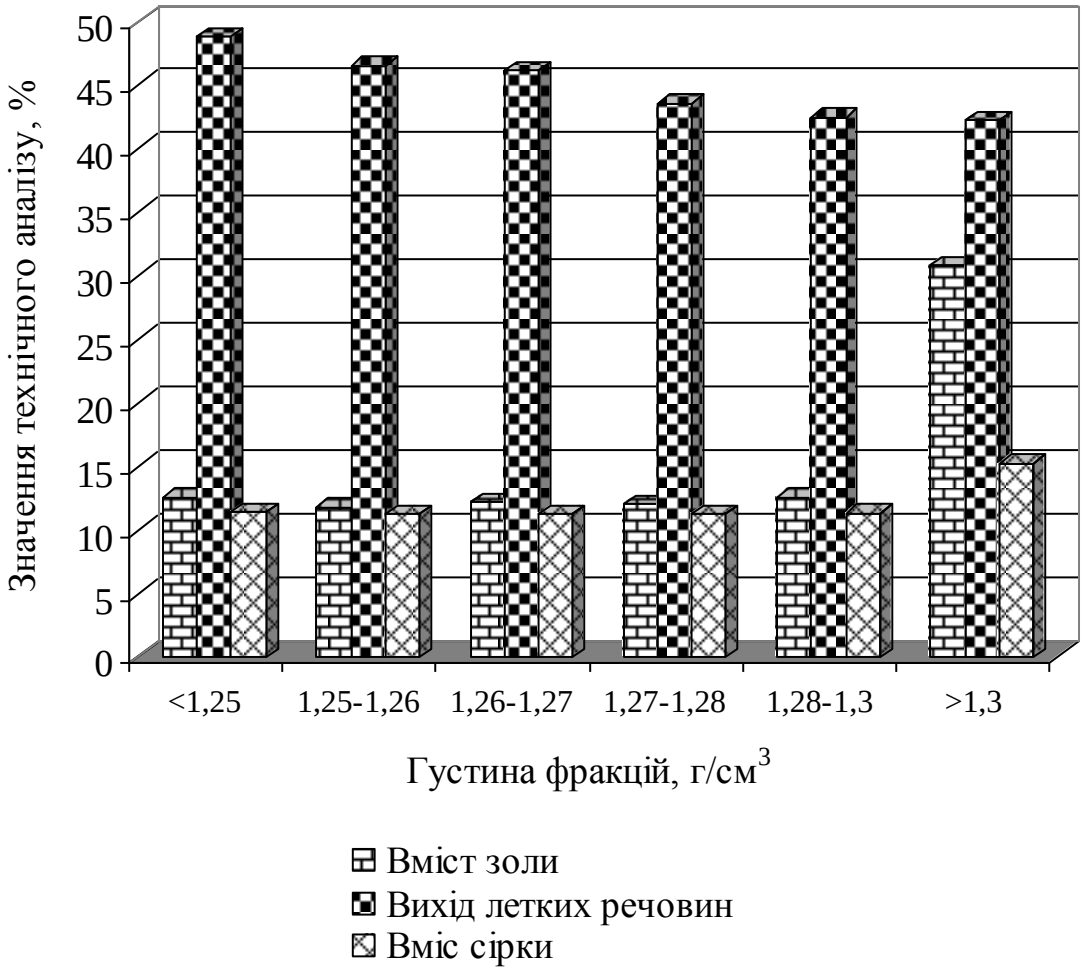

Рисунок 3.2 Результати технічного аналізу

З отриманих даних видно, що мінеральні компоненти практично рівномірно розподілені у всіх досліджуваних вугільних фракціях. Однак у фракції вугілля з густиною більше 1,3 г/см³ міститься значно більша кількість мінеральних речовин, про що свідчить показник вмісту золи у пробі. Це пояснюється тим, що мінеральні компоненти, які містяться у вугіллі, мають високу густину, а її основна маса зосереджена у фракціях з більшою густиною. Ці дані доводять твердження про підвищений вміст золи у фракції вугілля густиною більше 1,3 г/см³.

Розподіл показника, що відображає вміст сірки у вугільних фракціях має аналогічний характер. Так, у вугільних фракціях, що мають густину менше 1,3 г/см³, показник вмісту сірки знаходиться практично на одному рівні, в той час як у вугільних фракціях з більшою густиною вміст сірки різко збільшується. Отже, фракції вугілля з густиною від < 1,25 до 1,28 – 1,3 г/см³ відносяться до малосірчистого вугілля, а фракція з густиною > 1,3 г/см³ відноситься до високо сірчистого вугілля. Тобто можна припустити, що сірка в цьому вугіллі э сульфатною і піритною, і в загальній масі сконцентрована в мінеральній частині, тому що у важкій фракції показник зольності найбільший.

Відомо [90], що важливою особливістю кам'яного вугілля є його термічна стійкість, а також здатність органічної маси вугілля зазнавати термічних перетворень, що є необхідними властивостями і відносяться до коксівного вугілля. Досліджуючи отримані фракції слабкоспікливого вугілля за показником технічного аналізу «вихід летких речовин», була отримана залежність, що має практично лінійний характер, тобто при збільшенні густини показник виходу летких речовин зменшується за рахунок того, що у вугільних фракціях з меншою густиною міститься більша кількість мікрокомпонентів, що при нагріванні без доступу повітря переходять в паро- і газоподібний стан.

Подальші дослідження були спрямовані на вивчення мацерального складу отриманих фракцій, для чого було використано петрографічний метод. Результати розподілу мацеральних компонентів за фракціями слабкоспікливого вугілля марки ДГ подано в таблиці 3.2.

Отримані дані показують, що вугільні фракції з густиною 1,25 – 1,30 г/см³ мають найбільш оптимальний мацеральний склад, тому що фракції зазначеної густини містять найбільшу кількість вітриніта і меншу кількість інертиніта порівняно з іншими фракціями. Це наглядно можна побачити на гістограмі, яка наведена на рисунку 3.3.

Таблиця 3.2

Результати петрографічного аналізу окремо отриманих фракцій слабкоспікливого вугілля марки ДГ

Густина вугілля, г/см³	Петрографічний аналіз, %				
	Мацеральний склад			∑СК	R_0
	Vt	L	I		
<1,25	53,4	13,2	33,4	66,6	0,54
1,25-1,26	60,5	10,0	29,5	70,5	0,55
1,26-1,27	61,2	10,1	28,7	71,3	0,53
1,27-1,28	62,7	7,4	29,9	70,1	0,54
1,28-1,3	62,1	8,0	29,9	70,1	0,55
>1,3	49,4	6,4	44,2	55,8	0,55

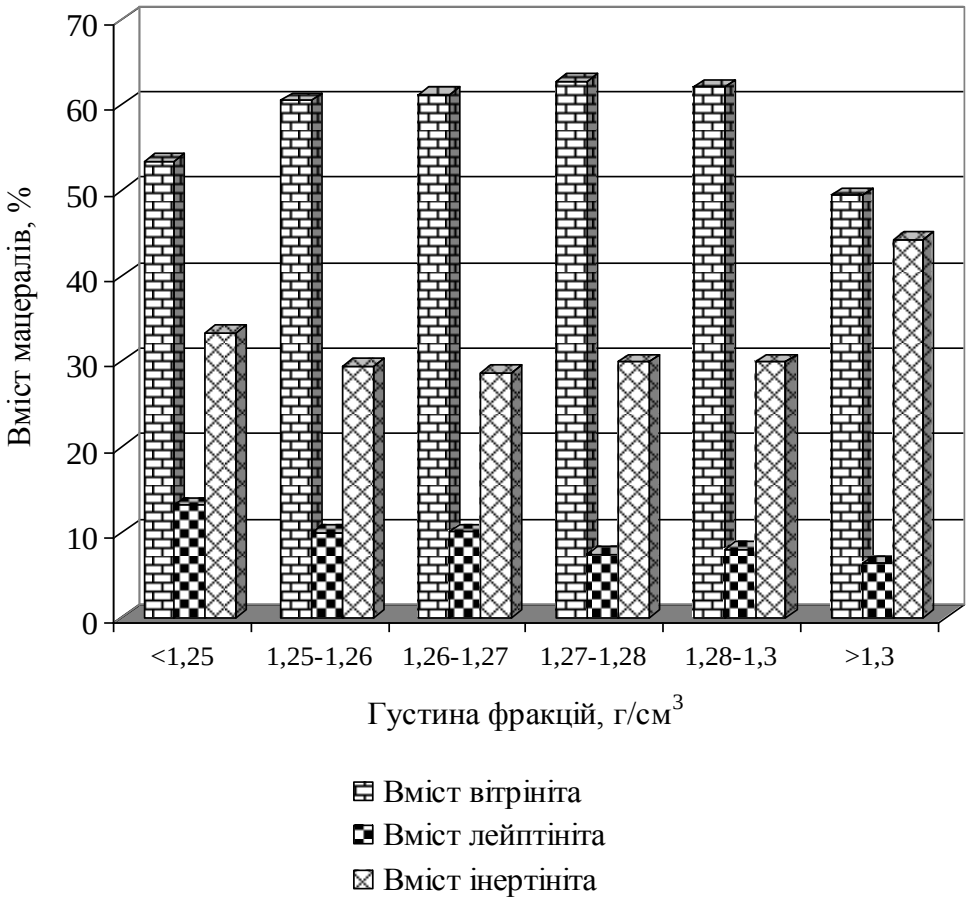

Рисунок 3.3 Мацеральний склад проб вугілля

Як відомо, показник відбиття вітриніта є якісним показником спікання вугілля. За результатами дослідження вугільних фракцій різних за густиною, зазначений вище показник (R_0) знаходиться в межах 0,53 – 0,55%, тобто в межах помилки (рисунок 3.4).

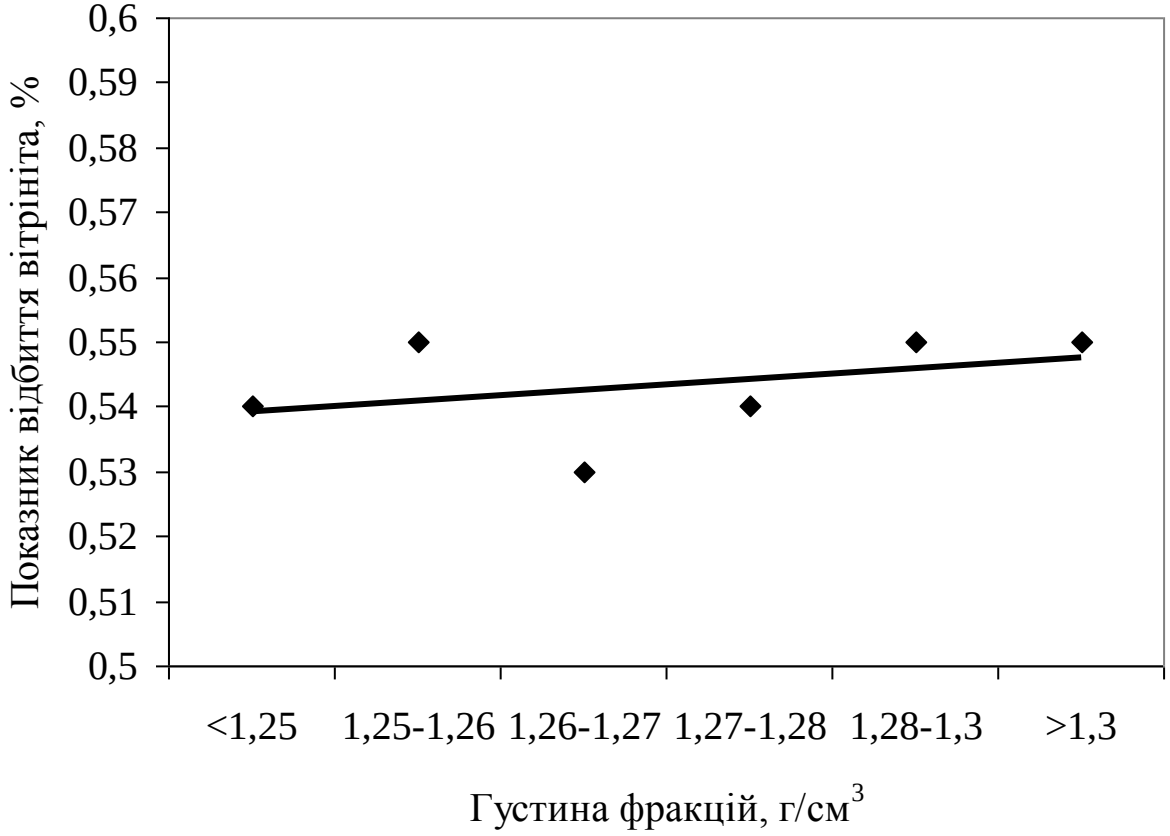

Рисунок 3.4 Вплив густини фракції на показник відбиття вітриніта

Однак необхідно зазначити, що показник суми спікливих компонентів істотно змінюється в окремо отриманих фракціях слабкоспікливого вугілля. Ця зміна має поліноміальний вигляд (рисунок 3.5).

Так, у найбільш легкій фракції з густиною менше 1,25 г/см³ показник суми спікливих компонентів складає 66,6%, після чого відбувається збільшення зазначеного показника у фракції з густиною 1,25 – 1,30 г/см³, що доводить певне підвищення спікливості зазначеної фракції.

З підвищенням густини понад 1,30 г/см³ сума спікливих компонентів стає мінімальною та відповідає значенню 55,8%. Відбиття вітриніта при зміні густини фракцій слабкоспікливого вугілля марки ДГ залишається практично незмінним і відповідає показнику вихідного вугілля. Отже, зміна густини вугільних фракцій не впливає на зміну показника відбиття вітриніта, але призводить до суттєвої зміни показника суми спікливих компонентів.

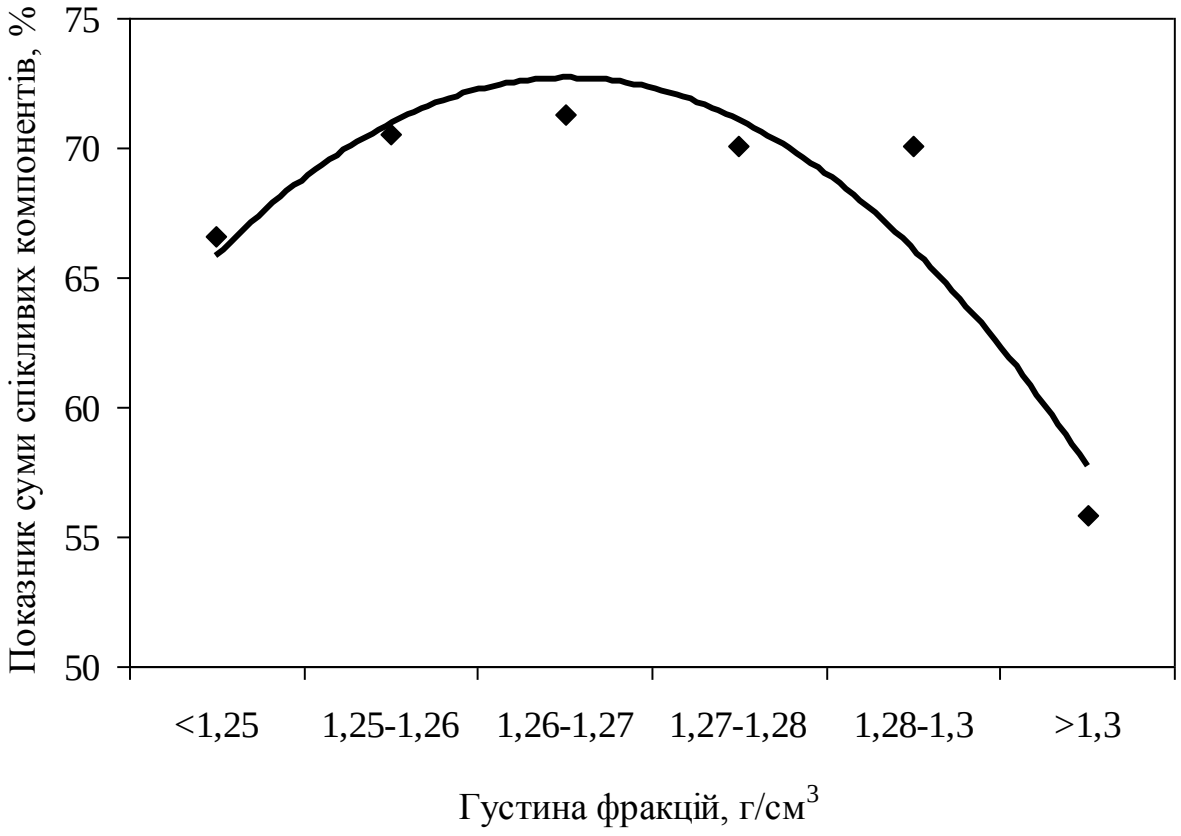

Рисунок 3.5 Вплив густини фракції на показник суми спікливих компонентів

За результатами проведених досліджень можна зазначити, що речовий склад органічної маси вугільних фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ неоднорідний. Показники технічного і петрографічного аналізів доводять, що вугільні фракції відрізняються між собою не тільки за густиною, а й за властивостями.

Як відомо [86] є певна залежність виходу рідкої нелеткої складової зі зміною стадії метаморфізму, максимальне значення знаходиться у вугіллі з вмістом летких речовин в межах 27 – 32%. А також кількість рідкої нелеткої складової різко зменшується при підвищенні щільності вугільних фракцій. Вихід рідкої нелеткої складової з пластичної маси вугілля підвищується зі збільшенням товщини пластичного шару та спікливої здатності вугілля. Але при цьому вихід рідкої фази не завжди відповідає зміні властивостей спікливої здатності і спікливості вугілля. Ці результати пояснюють різні властивості вугілля, і отже, при оцінці спікливості вугілля необхідно враховувати не тільки кількість але і якість виділених рідких продуктів.

У таблиці 3.3 представлені результати, виходу продуктів термічної деструкції фракцій слабкоспікливого вугілля, у відцентровому полі за допомогою методу розробленим Харківським політехнічним інститутом. За результатами отриманих даних рідка фракція має певну лінійну залежність, в той час як твердий залишок і газоподібні продукти мають параболічну залежність.

Таблиця 3.3.

Вихід продуктів термічної деструкції фракцій слабкоспікливого вугілля у відцентровому полі за допомогою методу ХПІ.

№	Фракція вугілля, г/см³	Твердий залишок, %	Рідкі нелеткі речовини,%	Газоподібні речовини, %
2	<1,25	47,4	26,7	25,9
3	1,25-1.26	52,9	14,6	32,5
4	1,26-1,27	59,6	11,95	28,45
5	1,27-1,28	61,0	8,2	30,8
6	1,28-1,3	62,6	7,9	29,5
7	>1,3	71,1	6,3	22,6

Результати проведеного дослідження виходу продуктів термічної деструкції фракцій слабкоспікливого вугілля у відцентровому полі показують, що зміна густини фракцій вугілля яке досліджується призводить до зміни показників зазначеного методу. Але характер зміни показників має не однаковий характер. Це може бути пов’язано з тим, що отримані фракції слабкоспікливого вугілля мають не однаковий мацеральний та компонентний склад, про що свідчить попереднє дослідження. Тому цікаво буде зіставити результати дослідження виходу продуктів термічної деструкції фракцій слабкоспікливого вугілля у відцентровому полі за допомогою методу ХПІ та результати петрографічного дослідження.

Приймаючи до уваги те, що такі мікрокомпоненти як вітринит і лейптініт при термічній деструкції виділяють достатньо велику кількість рідкої нелеткої складової, так як містять у своєму складі речовини, які можна віднести до менш термостійких то можна очікувати схожі результати досліджень. Зіставивши результати обох досліджень можна побачити, що вміст ліптініта має лінійну ідентичну залежність з виходом рідких продуктів у вугільних фракціях різних по густині. Обидва показники зменшується зі збільшенням густини вугільних фракцій.

Вміст вітриніта, у порівнянні з виходом рідких продуктів термічної деструкції отриманих фракцій слабкоспікливого вугілля не має тісної кореляції, а саме легка фракція вугілля <1,25 г/см³, яка має найбільший вихід рідкої нелеткої складової (26,7%), містить вітриніт в меншій кількості (53,4%), в порівнянні з іншими вугільними фракціями, кількість вітриніта яких знаходиться в межах від 60 до 63% (при густині 1,25 - 1,3 г/см³).

Інертініт є макрокомпонент вугілля якій не утворює у процесі термічної деструкції летких та рідких продуктів, тому буде дуже цікаво розглянути його розподіл по вугільним фракціям які відрізняються по густині. Результати дослідження показують, що найбільша кількість інертініта міститься у фракціях, яка має густину <1,25 і> 1,3 г/см³ та

становить 33,4 і 44,2%, в той час як проміжна густина містить порівняно однакову кількість (28,7-29,9%).

Тобто, вугільна фракція <1,25 г/см³ має найбільший вихід рідкої нелеткої складової, але приймаючи до уваги результати петрографічного аналізу можна припустити, що за рахунок достатньо великого вмісту такого макрокомпоненту як лейптініт отримана рідка нелетка складова буде мати не достатню спікливу здатність. Тому, у подальших дослідженнях треба детально розглянути можливість використання вказаної фракції вугілля.

3.2 Вивчення структурних фрагментів окремих фракцій слабкоспікливого вугілля

Беручи до уваги попередні дослідження, а саме те, що виникає зміна компонентного складу малометаморфізованого вугілля марки ДГ при його розділенні за густиною, було прийнято рішення вивчити його структурні фрагменти. Для отримання даних, що характеризують молекулярну структуру, а також властивості вугільних фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ використовували метод ІЧ-спектроскопії. ІЧ-спектри проб фракцій слабкоспікливого вугілля реєстрували на спектрометрі з використанням Фур'є перетворення. Корекція базової лінії проводилася з використанням програми Origin Pro 8.0.

Результати ІЧ- Фур'є спектроскопії подано на рисунку 3.6.

З рисунку, який відображає характер зміни ІЧ-спектрів досліджуваних проб можна побачити, що отримані спектри мають практично однаковий характер загальних частот поглинання. Суттєво відрізняється від інших лише ІЧ-спектр для фракції вугілля, яка має густину >1,3 г/см^3. Ця відмінність пов'язана з тим, що зазначена фракція слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля містить у своєму складі велику частку мінеральних речовин. Тобто отриманий спектр зазначеної фракції відображає коливання з'єднань, в загальній мірі, мінеральних речовин.

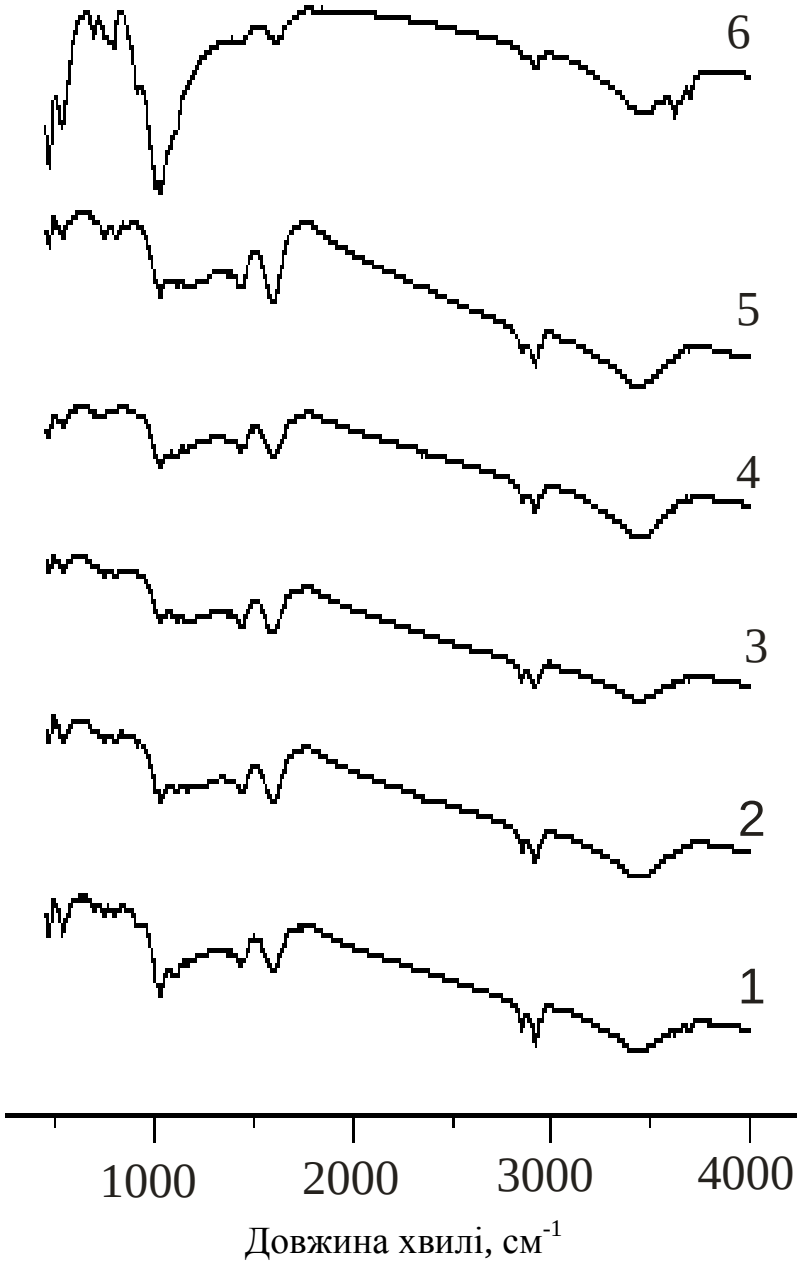

Рисунок 3.6 ІЧ – спектри досліджуваних проб:
1 – фракція густиною < 1,25 г/см^3; 2 – фракція густиною 1,25 – 1,26 г/см^3;
3 – фракція густиною 1,26 – 1,27 г/см^3; 4 – фракція густиною 1,27 – 1,28 г/см^3;
5 – фракція густиною 1,28 – 1,3 г/см^3; 6 – фракція густиною > 1,3 г/см^3.

У більшості ІЧ-спектри відмінні, які можна віднести до коливань органічних речовин, відрізняються лише інтенсивністю полос поглинання.

За результатами проведеного дослідження та за результатами якісного аналізу отриманих ІЧ-спектрів, можна виділити основні функціональні групи

досліджуваних фракцій слабкоспікливого вугілля [84, 91, 92], що подано в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Частоти поглинання в ІЧ-спектрах фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ

№ п/п	Частота, $см^{-1}$	Структурні віднесення
1	~ 3620	Поверхневі ОН-групи, пов’язані слабким водневим зв’язком
2	~ 3420	ОН-групи, зв’язані водневим зв’язком середньої сили
3	3040	СН-групи ненасичені, переважно ароматичних речовин у фракціях
4	2920	Поверхневі аліфатичні С-Н зв’язки
5	2850	Нафтенові й аліфатичні групи $C\text{-}H_x$
6	1600	Вуглець-вуглецеві зв’язки в системах полисопряження, а також карбоніє- і феноловмістні вуглеводи, про що свідчить наявність валентних коливань С=С зв’язків
7	1440	Поверхневі аліфатичні СН - зв’язки
8	1375	CH_3 – групи
9	1032	Ароматичні ССН в одинарних або конденсованих системах

З таблиці 3.4 видно, що всі отримані фракції слабко спікливого малометаморфізованого вугілля містять поверхневі ОН- групи які пов’язані слабким водневим зв’язком, а також ОН- групи, що зв’язані водневим зв’язком середньої сили. Це показує, що у всіх фракціях присутні оклюдовані гази на поверхні вугілля, а також речовини які закріплені на поверхні частинок вугілля за рахунок сил Ван-дер-Ваальса, тобто сил поверхневого тяжіння.

Також результати якісного аналізу свідчать про те, що у фракціях слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля на поверхні присутні

аліфатичні з'єднання про що говорять піки при частоті коливання 1440 $см^{-1}$, тобто на поверхні вугілля присутні аліфатичні СН- зв'язки.

Під час проведеного дослідження було також виявлено у структурі фракцій проб вугілля піки при частотах коливання 2920 та 2850 $см^{-1}$ які відповідають за коливання поверхневих аліфатичних С-Н зв'язків, а також нафтенові й аліфатичні групи $C\text{-}H_x$.

Пік при частоті коливання 3040 $см^{-1}$ говорить про присутність у отриманих фракціях СН-груп ненасичених, переважно ароматичних речовин, а при 1600 $см^{-1}$ вуглець-вуглецевих зв'язків в системах полисопряження і карбоніє- і феноловмістних вуглеводів, про що свідчить наявність валентних коливань С=С зв'язків.

Проведений якісний аналіз показав, що у складі вугільних фракцій, які отримані з малометаморфізованого слабко спікливого вугілля також присутні метальні групи, які можуть підвищувати активність гетеро атомів з якими вона з'єднана.

Треба зауважити що у отриманих фракціях також присутні вуглець-вуглецеві зв'язки в системах полисопряження, а також карбоніє- і феноловмістні вуглеводи, про що свідчить наявність валентних коливань С=С зв'язків (1600 $см^{-1}$).

Приймаючи до уваги те, що якісний аналіз ІЧ-спектрів отриманих з фракцій вугілля показав практично однакові результати було прийняте рішення стосовно розрахунку напівкількісного аналізу.

Привівши до базової лінії отриманні ІЧ-спектри було отримано інтенсивність поглинання при вказаних піках. Результати розрахунків подано в таблиці 3.5.

Отримані результати розрахунків показують, що інтенсивність полоси поглинання, що відповідає за коливання поверхневих –ОН груп, пов'язані слабким водневим зв'язком (~3620 $см^{-1}$) змінюються обернено пропорційно змінам густини отриманих фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля. У загальному вигляді, після апроксимації

отриманих даних, залежність інтенсивності полоси поглинання яка відповідає за коливання поверхневих –ОН груп має лінійний характер Найбільша інтенсивність частоти поглинання знаходиться при густині вугільної фракції <1,25 г/см^3 та становить 2,12 см$^{-1}$, а найменша ~ 1,15 см$^{-1}$ для важких фракцій. Залежність представлена на рисунку 3.7.

Таблиця 3.5

Зміна інтенсивності частоти поглинання

№ з/п	Густина фракції, г/см^3	Інтенсивність частоти поглинання, см$^{-1}$								
		3620	3420	3040	2920	2850	1600	1440	1375	1032
1	<1,25	2,12	4,91	2,5	10,07	8,2	4,98	4,98	4,21	11,89
2	1,25-1,26	1,9	4,34	2,82	8,36	6,99	5,67	5,4	4,55	8,23
3	1,26-1,27	1,72	4,95	2,94	7,81	6,23	5,81	5,77	4,71	4,53
4	1,27-1,28	1,15	4,5	2,64	5,15	3,39	3,57	3,36	2,87	3,2
5	1,28-1,3	1,53	4,46	2,63	5,07	4,3	5,2	4,57	3,9	4,14
6	>1,3	1,47	6,44	2,61	4,84	6,99	6,71	7,9	3,66	5,62

Необхідно зазначити, що зміна інтенсивності коливань –ОН груп пов’язаних водневим зв’язком середньої сили при зміні густини вугільних фракцій призводить до незначного підвищення зазначених з’єднань (рис. 3.8), але ці зміни знаходяться в межах похибки. Тобто отримана залежність також, як і попередня має лінійний характер, але при зміні густини фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ не призводить до суттєвих змін інтенсивності полоси поглинання яка відповідає за ОН-групи, зв’язані водневим зв’язком середньої сили.

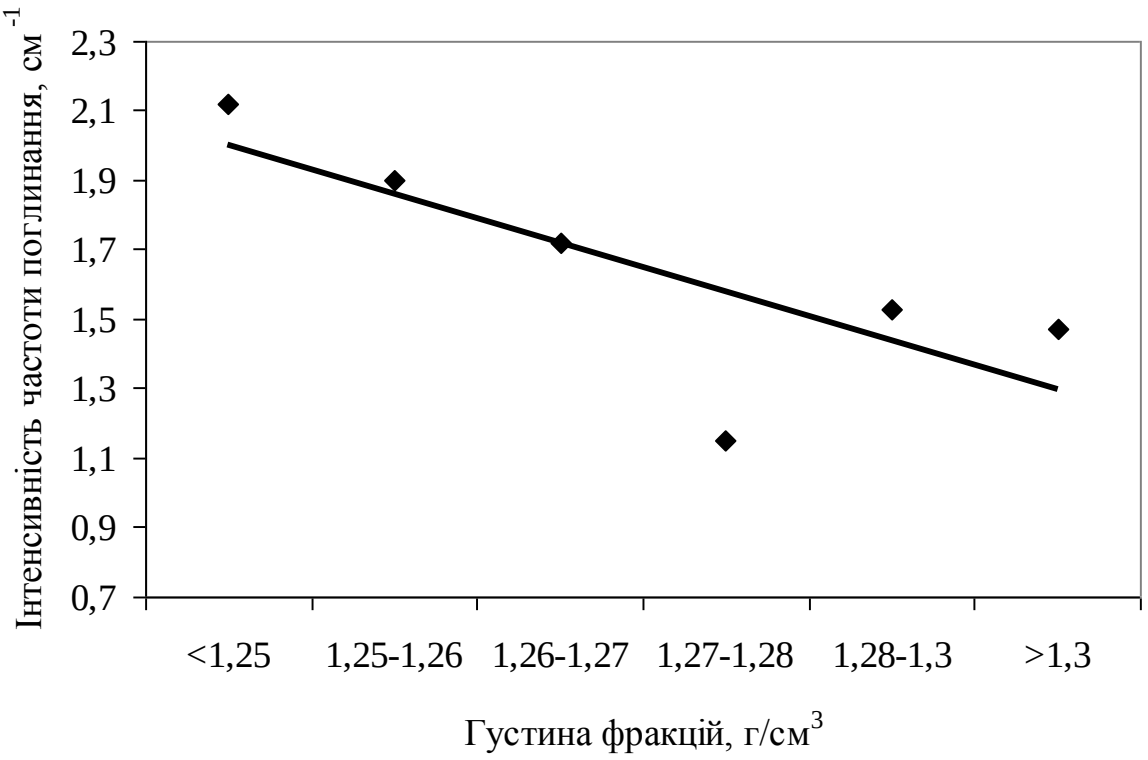

Рисунок 3.7 Зміна інтенсивності полоси поглинання яка відповідає за коливання поверхневих –ОН груп

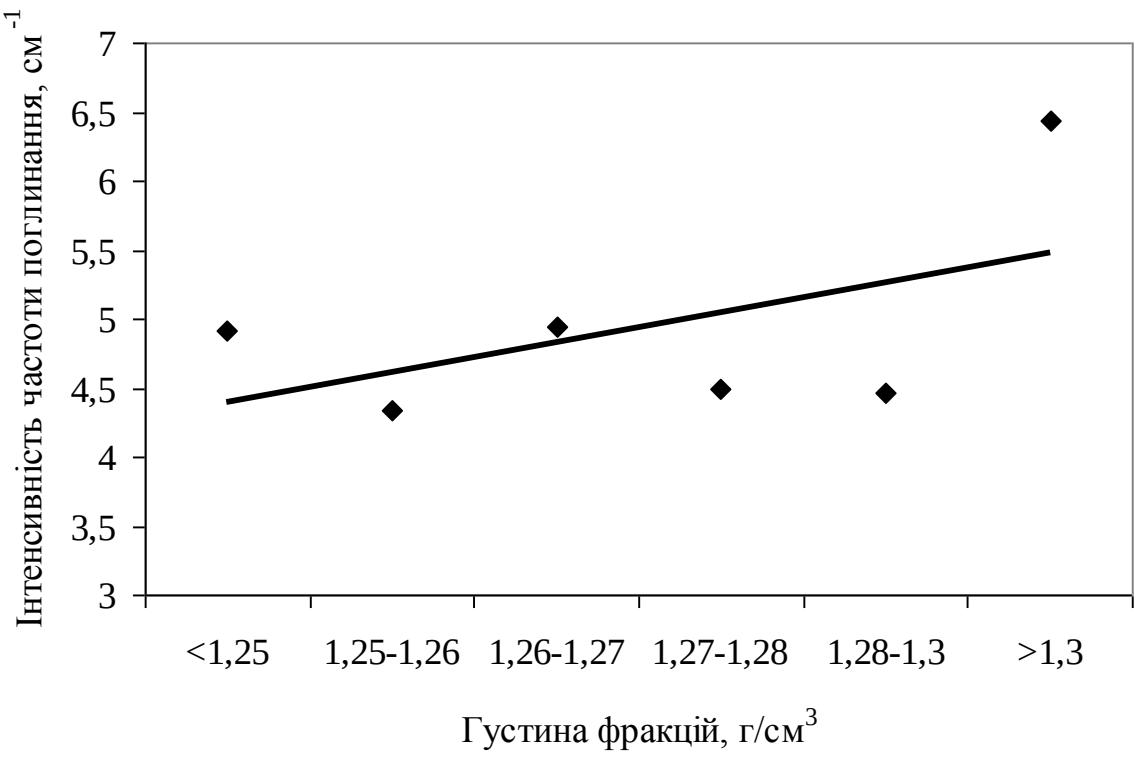

Рисунок 3.8 Зміна інтенсивності полоси поглинання яка відповідає за ОН-групи, зв’язані водневим зв’язком середньої сили

Отже, у результаті зміни густини вугільної речовини вплинути можливо тільки на поверхневі групи –ОН, що мають незначні зв’язки.

Вплив густини фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля на інтенсивність частоти коливання 3040 $см^{-1}$, які відносяться до валентних коливань С-Н ароматичних зв’язків, є також не суттєвим. Тобто інтенсивність отриманої полоси поглинання при вказаному піку практично не змінюється, а відхилення які можна спостерігати на наведеній залежності не є суттєвими.

Результати апроксимації отриманих даних, стосовно частоти поглинання 3040 $см^{-1}$ наведені на рисунку 3.9.

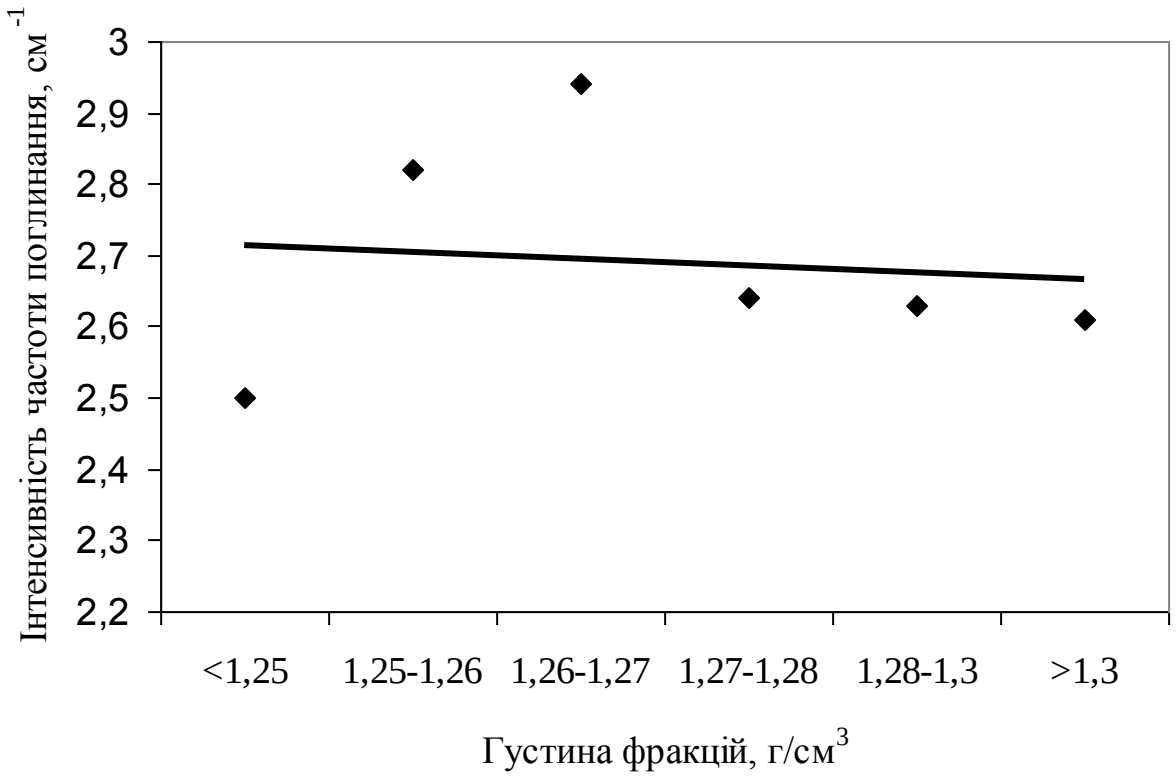

Рисунок 3.9 Зміна інтенсивності полоси поглинання яка відповідає за ароматичні речовини у фракціях

Інтенсивність полоси поглинання аліфатичних зв’язків С-Н, що відповідають частоті поглинання 2920 $см^{-1}$, яка представлена на рисунку 3.10,

змінюється лінійно. Найбільша інтенсивність зазначеної полоси поглинання спостерігається при густині фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ $< 1{,}25$ г/см^3, а найнижчий показник знаходиться у трьох фракціях, тобто у фракцій вугілля з густиною від 1,27 до $> 1{,}3$ г/см^3.

Таким чином, впливаючи на густину фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ це відображається на зниженні концентрації поверхневих аліфатичних С-Н зв’язків.

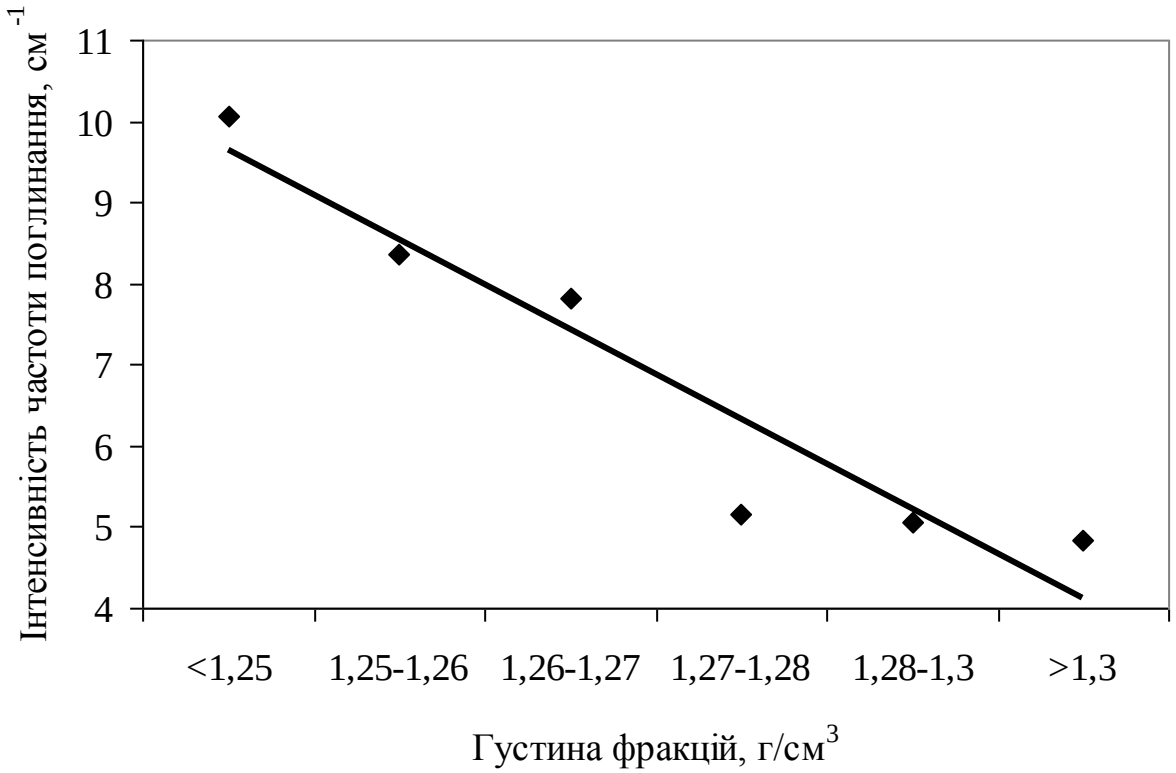

Рисунок 3.10 Зміна інтенсивності полоси поглинання яка відповідає за поверхневі аліфатичні С-Н зв’язки

Зважаючи на це, можна припустити, що зі збільшенням густини вугільних фракцій буде збільшуватись ароматичність.

Для перевірки цієї гіпотези був розрахований показник ароматичності, тобто отримані відношення інтенсивності полоси поглинання при 3040 $см^{-1}$ до інтенсивності при 2920 $см^{-1}$ [84].

Отримані результати розрахунку показника ароматичності вугільних фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ (рис. 3.11) показують, що цей показник змінюється лінійно, тобто з підвищенням густини фракцій вугілля показник ароматичності підвищується.

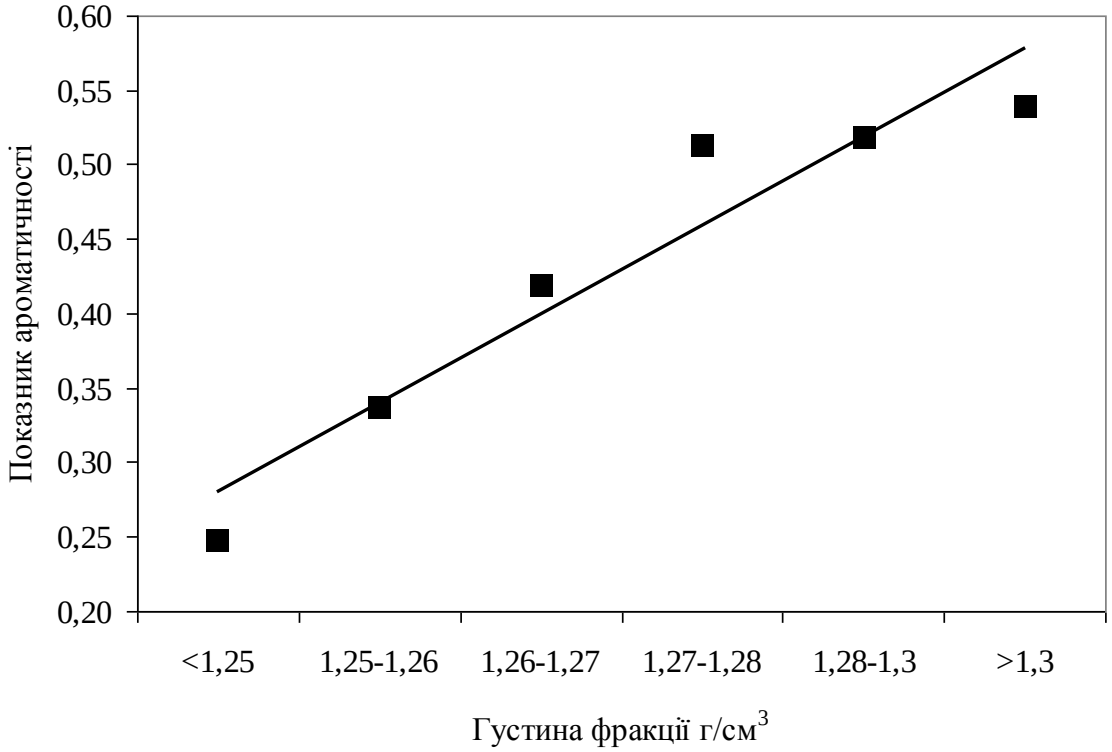

Рисунок 3.11 Зміна показника ароматичності (D_{3040}/D_{2920})

Необхідно зазначити, що вказаний показник збільшується за рахунок зниження інтенсивності полос поглинання, що відповідають за коливання аліфатичних С-Н зв'язків (2920 $см^{-1}$), при цьому інтенсивність полоси поглинання, що відповідає за валентне та диференційне коливання $С_{ар}$ – Н зв'язків, що знаходяться практично на одному рівні у всіх фракціях слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля.

Отже, отриманні результати ІЧ-спектроскопії показують, що зміна густини вугільних фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля

марки ДГ призводить до зміни пропорцій аліфатичних і ароматичних сполук, що впливає на їх технологічні властивості. Тому, отримавши вищезазначені результаті досліджень було прийнято рішення про подальше вивчення фракцій різних за густиною на показники технологічних властивостей.

3.3. Технологічні властивості

З отриманих результатів попередніх досліджень видно, що досліджувалися вугілля містить певну кількість органічних та неорганічних речовин, що нерівномірно розподілені в масиві вугілля, зокрема в отриманих фракціях. Отже, зміна густини вугільних фракцій може призводити до зміни фізичних, хімічних і фізико-хімічні властивостей, що певною мірою впливають на спікливу здатність.

Для вивчення цього припущення подальші дослідження були спрямовані на вивчення технологічних властивостей отриманих фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ. Для цього отримані фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ, досліджувалися за показниками спікливості і спікливої здатності.

Спікливість фракцій вугілля визначали за двома методами: за дилатометричними показниками методу ІГК–ДМетІ та пластометричними показниками за методом Сапожнікова Л.М. [65, 90, 93].

Результати досліджень спікливості за методом ІГК–ДМетІ та за методом Сапожнікова Л.М. подано таблиці 3.6.

Обробивши отримані результати дослідження були побудовані залежності впливу густини фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ на показники:

- індекс спучення I_c (рис. 3.12);
- період до початку спучення $П_п$ (рис. 3.13);
- період спучення $П_с$ (рис. 3.14).

Таблиця 3.6

Показники спікливості дослідних фракцій вугілля марки ДГ.

Густина фракцій, г/см^3	Дилатометричні показники			Пластометричні показники	
	$П_п$, сек	$П_с$, сек	$I_с$, мм	X, мм	Y, мм
<1,25	625	192	58	92	7
1,25-1.26	442	202	44	74	9
1,26-1,27	437	216	35	73	10
1,27-1,28	429	197	23	70	9
1,28-1,3	428	183	26	74	9
>1,3	524	77	2	66	0

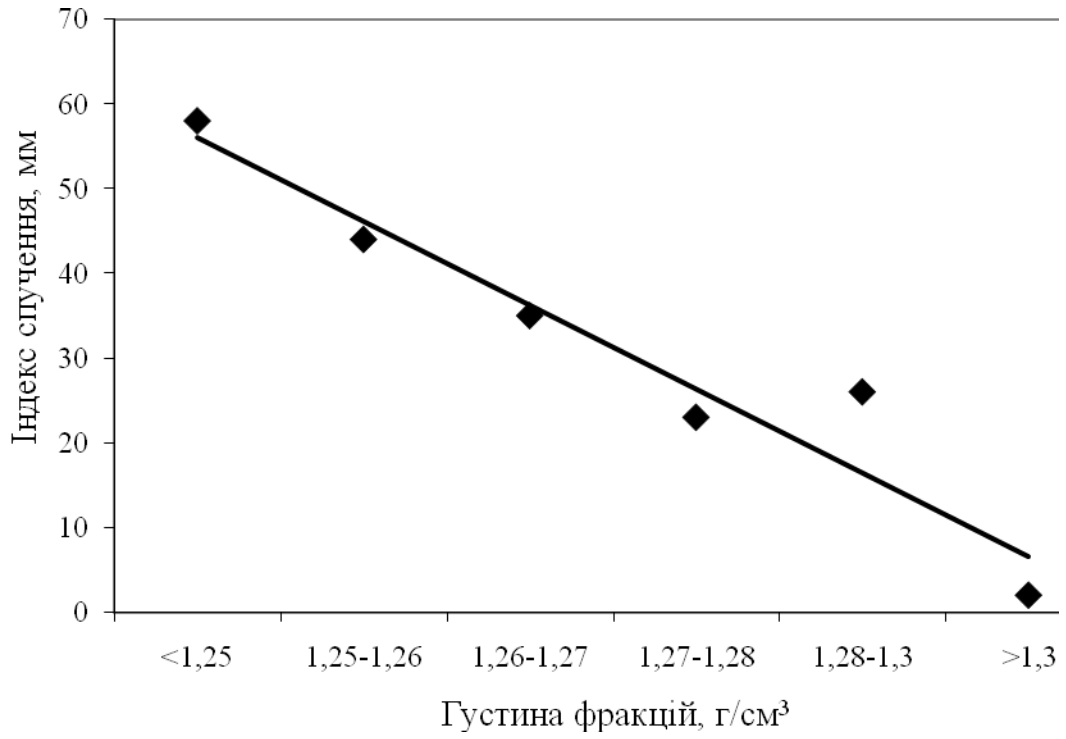

Рисунок 3.12 – Зміна показників індексу спучення ($I_с$)

Отримані результати доводять, що при збільшенні густини вугільних фракцій індекс спучування змінюється лінійно (рис. 3.12), з максимальним значенням 58 мм (< 1,25 г/см³) і мінімальним значенням 2 мм (> 1,3 г/см³). Така зміна індексу спучування зумовлюється збільшенням вмісту

мінеральних і органічних речовин, що мають надмолекулярну структуру та не переходять у пластичну рідиннорухливу масу. У найважчій фракції, з густиною > 1,3 г/см³, індекс спучування знижується до нуля, що пояснюється великим вмістом мінеральних речовин і мінімальною кількістю спікливих компонентів.

Варто зазначити, що з підвищенням густини вугільних фракцій змінюються й інші показники динаміки спучування. Так, при найбільшому значенні індексу спучування (< 1,25 г/см³), період до початку спучування (рис. 3.13) у даній точці також має максимальне значення, тобто речовинам, що знаходяться в цій вугільній фракції, необхідно витратити більшу кількість енергії, необхідної для переходу вугілля в пластичний стан цієї фракції. Можна припустити, що в зазначеній фракції містяться речовини, на деструкцію яких витрачається більше енергії, ніж на речовини інших фракцій

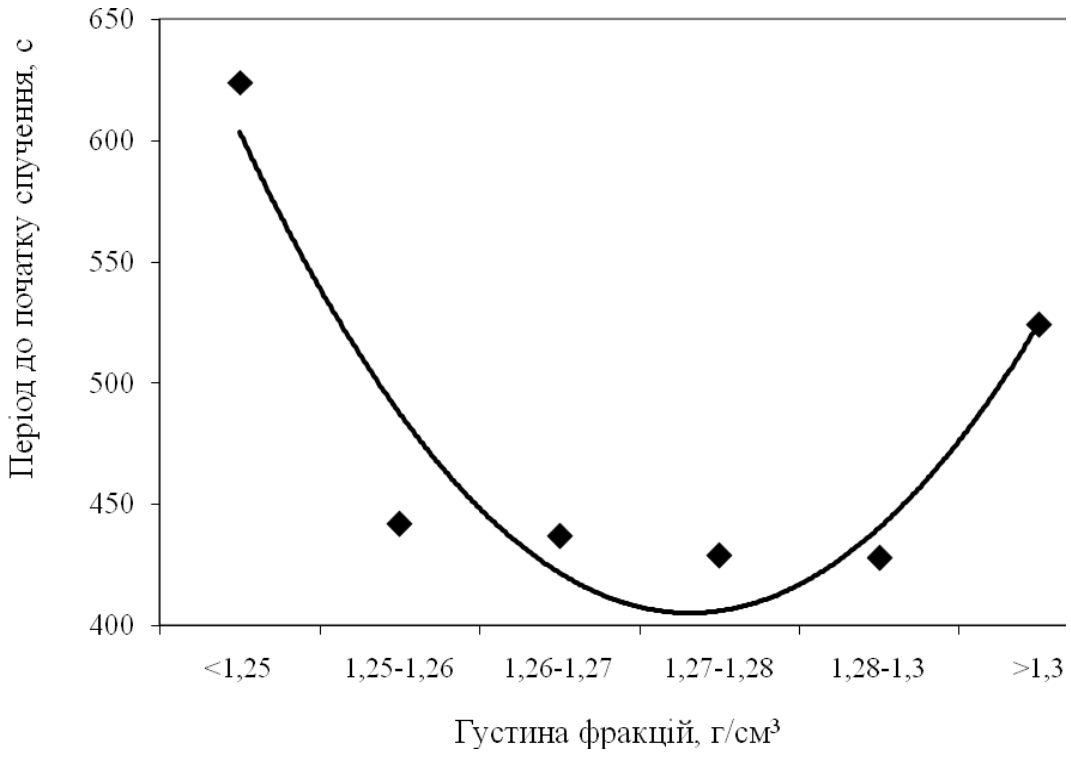

Рисунок 3.13 – Зміна показників періоду до початку спучення ($П_п$)

з великою густиною. Подальша зміна показника періоду до початку спучування знаходиться практично на однаковому рівні з різницею лише в останній фракції слабкоспікливого вугілля з густиною більше 1,30 г/см³, що містить велику кількість мінеральних компонентів.

Взаємозв'язок між періодом спучування і густиною вугільних фракцій показана на рисунку 3.14, з якого видно, що майже всі фракції слабкоспікливого вугілля утворюють текучу, термічно більш стійку пластичну масу, що знаходитися в межах 183 – 216 с. Зниження періоду спучування (77 с) відбувається лише з густиною > 1,30 г/см³. Це відбувається як за рахунок погіршення пластичних властивостей, пов'язаних з якісними особливостями пластичної маси, що зумовлюється недостатньою в’язкістю і неоднорідністю, так і з наявністю великої кількості мінеральних компонентів, що входять до її складу.

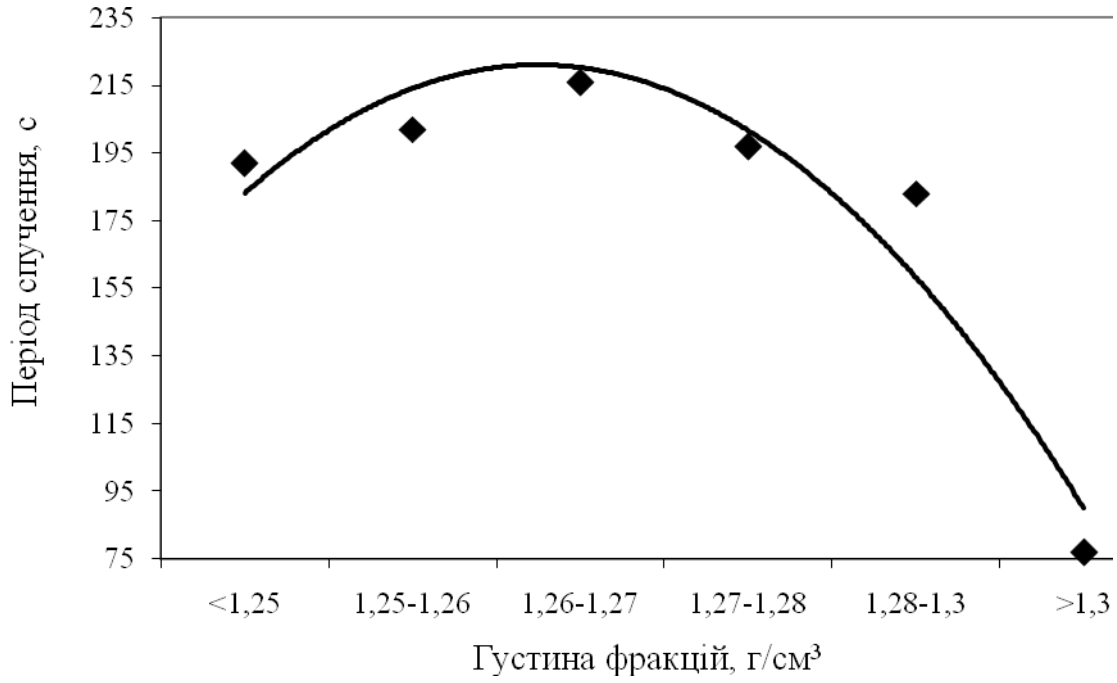

Рисунок 3.14 – Зміна показників періоду спучення ($П_с$)

Додатково проводили дослідження властивостей пластичної маси окремих фракцій слабкоспікливого вугілля марки ДГ, з використанням

пластометричного методу Л.М. Сапожнікова. Результати проведеного пластометричного дослідження, а саме зміна показника товщини пластичного шару подана на рисунку 3.15. Результати пластичної усадки подані на рисунку 3.16.

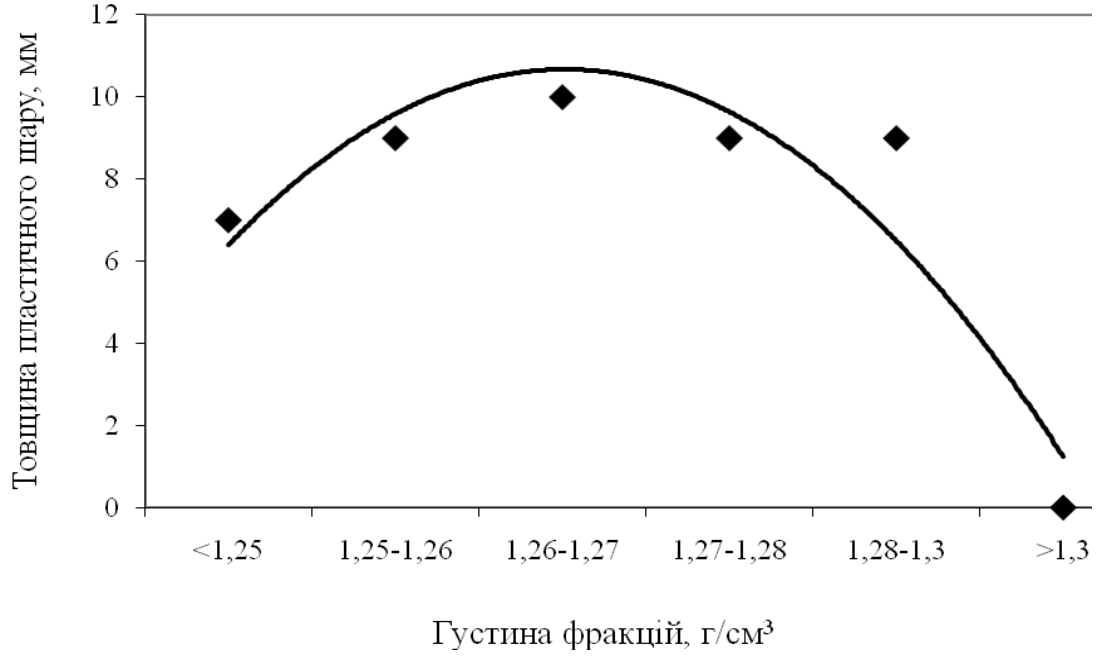

Рисунок 3.15 – Зміна показника товщини пластичного шару

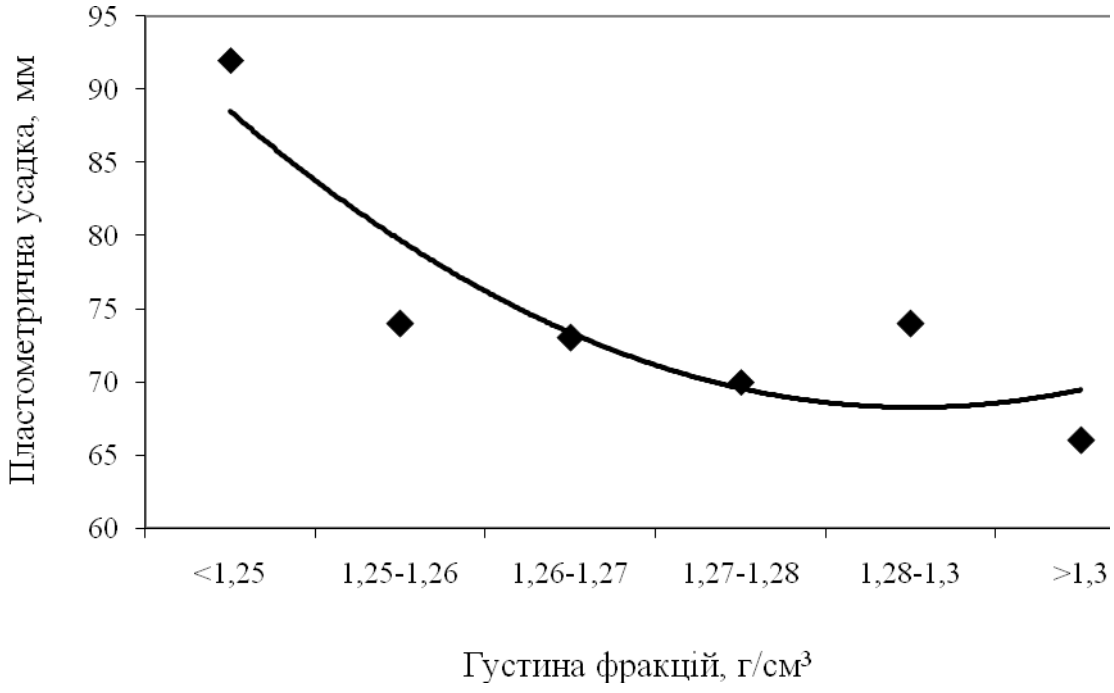

Рисунок 3.16 – Зміна показника пластометричної усадки

З результатів дослідження видно, що отримані дані пластичних властивостей фракцій слабкоспікливого вугілля різних за густиною відрізняються, як за показником товщини пластичного шару, так і за показником пластометричної усадки.

Зміна товщини пластичного шару має вигляд параболи. Найбільш легка фракція слабкоспікливого вугілля має товщину пластичного шару 7 мм, подальше підвищення густини фракцій призводить до підвищення цього показника і досягає свого максимального значення при густині фракцій вугілля 1,26 - 1,27 г/см^3. Підвищення густини вугільної речовини на наступних двох фракціях тільки незначною мірою зменшує товщину пластичного шару, а при максимальній густині цей показник різко знижується до 0.

Зміна показника пластичного шару свідчить про те, що в легких фракціях містяться речовини, що меншою мірою здатні до утворення рідкої пластичної маси, а в більш важких, що мають густину понад 1,27 г/см^3 для утворення великої кількості пластичної маси заважає висока зольність [94].

Показники пластометричної усадки мають іншу залежність пов'язану з густиною вугільних часток. Найбільше значення усадки має вугільна фракція густиною менше 1,25 г/см³. Можна припустити, що до складу цієї вугільної фракції входять компоненти, що містять велику кількість низькомолекулярних органічних сполук, при нагріванні яких без доступу повітря, велика частина речовин залишає реакційний простір, а ті речовини, що залишилися, утворюють продукти, що мають найбільшу усадку. Відносно невелика усадка в найважчій фракції, як і в попередніх дослідженнях, пояснюється великим вмістом мінеральних речовин.

Отже, результати вивчення спікливості фракцій слабкоспікливого вугілля марки ДГ показали, що легка фракція містить велику частину низькомолекулярних речовин, що при термічній деструкції виділяють велику кількість летких речовин, що призводить до неможливості використання таких фракцій в шихті для коксування. Також не придатні для внесення в

шихту найважчі фракції, тому що вони містять велику кількість мінеральних речовин. Найбільш придатними є середні фракції з густиною 1,25 – 1,3 г/см^3.

Беручи до уваги те, що до складу вугільної шихти для коксування, входить частина опіснюючого вугілля, що необхідно запекти, було проведено дослідження, для з'ясування оцінки придатності фракцій слабкоспікливого вугілля для коксування. Подальші дослідження були спрямовані на вивчення спікливої здатності окремо виділених фракцій слабкоспікливого вугілля з використанням модифікованого методу УХІНу [88] і методу Рога [78]. Результати проведених досліджень представлені в таблиці 3.7.

Таблиці 3.7.

Показники спікливої здатності дослідних фракцій вугілля марки ДГ.

Щільність, г/см³	Спіклива здатність по модифікованому методу УХІНа.	Спіклива здатність по методу Рога, %
<1,25	20,7	52
1,25-1.26	16,4	58
1,26-1,27	19,17	54,3
1,27-1,28	16,3	55,4
1,28-1,3	16,04	50,8
>1,3	7,5	25,5

З представлених даних видно, що зі зміною щільності показники спікливої здатності змінюються, маючи при цьому певну залежність. Для наочності було побудовано криві залежності по двом методам спікливої здатності, які представлені на рисунках 3.17 і 3.18.

Аналіз проведених досліджень за вищевказаними методами показує подібні результати, за винятком легкої фракції (< 1,25 г/см^3). Згідно з результатами за методом УХІНу, легка фракція має найбільший показник. Така зміна пояснюється тим, що з вугільних зерен виділяється велика

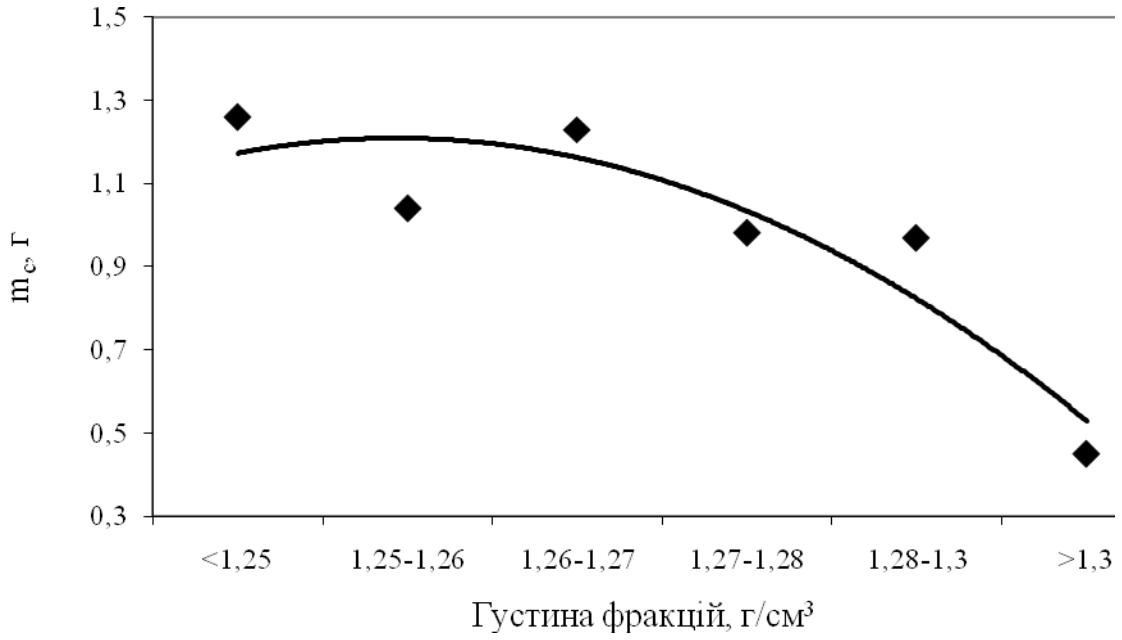

Рисунок 3.17 – Результати спікливої здатності вугільних фракцій за модифікованим методом УХІНа

кількість рідких речовин, що, можливо, володіють низькою в'язкістю. Отже, загальна органічна маса слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ різна за складом, тому вона забезпечує різний ступінь спікання. Це припущення підтверджує метод Рогу, за показниками якого легка фракція має гірші властивості спікливої здатності, оскільки цей метод передбачає механічний вплив на отримані «корольки». Отже, рідкі речовини, що виділилися з легкої фракції вугілля, запекли в собі недостатню кількість пісного компонента, а лише склеїли його, що при механічному впливі призвело до руйнування твердого залишку.

Важка фракція з густиною більше 1,30 г/см^3 містить велику кількість мінеральних компонентів і, отже, показники спікливої здатності за двома методами прагнуть до нуля.

Вугільні частки, що мають густину від 1,25 до 1,30 г/см^3 показують більш стабільні результати спікливої здатності. Тобто органічна маса

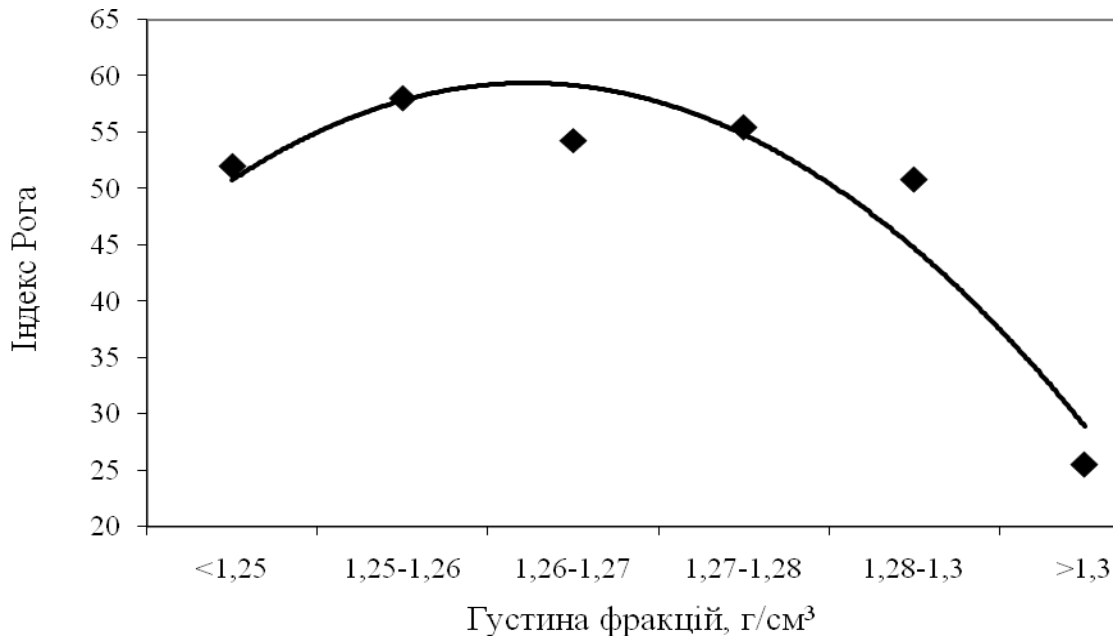

Рисунок 3.18 – Результати спікливої здатності вугільних фракцій за методом Рога

вугільних частинок, вищевказаної густини при термічному впливі утворює достатню кількість вузьких рідких продуктів, що не тільки змочують а й запікають спіснюючий компонент.

За результатами дослідження спікання і спікливої здатності вугільних частинок різних за густиною, можна зробити висновок, що легкі і важкі фракції не мають необхідних властивостей як компоненти добреспікливого вугілля. Легкі фракції з густиною менше 1,25 г/см³ містять велику кількість низькомолекулярної органічної маси, що при термічному впливі утворює велику кількість рідких продуктів з низькою в'язкістю. До складу важких фракцій з густиною більше 1,30 г/см³ входить велика кількість мінеральних речовин, що не дозволяє використовувати їх для коксування. Оптимальні результати спікання і спікливої здатності мають вугільні частинки густиною від 1,25 до 1,30 г/см^3. Отже, в шихту для коксування доцільно використовувати саме ці фракції малометаморфізованого слабкоспікливого вугілля.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Слабкоспікливе малометаморфізоване вугілля марки ДГ складається з компонентів різних за густиною і нерівномірно розподілених. Основна маса слабкоспікливого вугілля знаходиться в легкій та важкій фракціях з густиною < 1,25 і > 1,30 г/см³.

2. Фракції слабкоспікливого вугілля з густиною від < 1,25 до 1,28 – 1,3 г/см³ відносяться до малосірчистого вугілля, а фракція з густиною >1,3 г/см³ відноситься до високосірчистого вугілля. Тобто сірка в цьому вугіллі є сульфатною і піритною, і в загальній масі сконцентрована в мінеральній частині, тому що у важкій фракції показник зольності найбільший.

3. Зміна густини вугільних фракцій не впливає на зміну показника відбиття вітриніта, але призводить до суттєвої зміни показника суми спікливих компонентів. Вугільні фракції з густиною 1,25 – 1,30 г/см³ мають найбільш оптимальний мацеральний склад, тому що фракції зазначеної густини містять найбільшу кількість вітриніта і меншу кількість інертиніта порівняно з іншими фракціями.

4. Показник ароматичності отриманих фракцій збільшується за рахунок зниження інтенсивності полос поглинання, що відповідають за коливання аліфатичних С-Н зв'язків (2920 $см^{-1}$), при цьому інтенсивність полоси поглинання, що відповідає за валентне та диференційне коливання $С_{ар}$ – Н зв'язків, знаходяться практично на одному рівні у всіх фракціях слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ.

5. Результати вивчення спікливості фракцій слабкоспікливого вугілля марки ДГ показали, що легка фракція містить велику частину низькомолекулярних речовин, що при термічній деструкції виділяють велику кількість летких речовин, що призводить до неможливості використання цих фракцій у шихті для коксування. Також не придатні для додавання в шихту

найважчі фракції, оскільки вони містять велику кількість мінеральних речовин. Найбільш придатними є середні фракції з густиною 1,25 – 1,3 г/см^3.

6. Органічна маса вугільних частинок, що мають густину від 1,25 до 1,30 г/см^3 при термічному впливі утворює достатню кількість рідких продуктів, що не тільки змочують, але і запікають спіснюючий компонент.

7. Оптимальні результати спікання і спікливої здатності мають вугільні фракції з густиною від 1,25 до 1,30 г/см^3. Отже, при складанні вугільної шихти для коксування доцільніше використовувати саме ці фракції малометаморфізованого слабкоспікливого вугілля марки ДГ.

РОЗДІЛ 4
РОЗРОБКА ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ ЩОДО СКЛАДАННЯ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ, ЩО МІСТИТЬ ФРАКЦІЮ СЛАБКОСПІКЛИВОГО ВУГІЛЛЯ

Встановлений вище факт зміни властивостей слабкоспікливого вугілля залежно від густини, дозволив припустити можливість використання малометаморфізованого вугілля в шихті для коксування. Тому необхідно було розробити основні положення щодо використання певних фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ у шихті для коксування і отримання коксу високої якості.

Беручи до уваги, що технологічні властивості вугілля, що забезпечують отримання доменного коксу високої якості, виявляються при термічній деструкції сумішей вугілля, отже, подальші дослідження були спрямовані на визначення складу вугільних шихт, що містить фракцію слабкоспікливого вугілля, а також оптимальних показників.

4.1 Визначення оптимального складу вугільної шихти, що мстить фракцію слабкоспікливого вугілля

Попередньо, перед визначенням оптимального складу вугільної шихти, що містить фракцію слабкоспікливого вугілля,як однин з компонентів,необхідно було провести дослідження, які визначать оптимальний склад домішки компонента фракції слабкоспікливого вугілля. Для цього було проведено лабораторне коксування вугільних шихт, що містять домішку, фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ (1,25-1,3 г/см^3) у кількості 5, 10 і 15%. Необхідно зауважити, що вугільна фракція додавалась до усередненої середньозміної шихти ПрАТ «Дніпровський КХЗ».

Результати здійсненого коксування подано в таблиці 4.1.

Результати лабораторного коксування доводять, що додавання до шихти фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ суттєво не впливає на

показник виходу твердого вуглецевого залишку, а зміна результатів проведеного дослідження знаходиться в межах помилки досліду [90].

Таблиця 4.1

Результати лабораторного коксування

№ п/п	Вміст домішки вугільної фракції в шихті,%	Кінцева температура нагріву, С	Час нагріву, год	Вихід залишку	
				Г	%
1	0	850	1.2	369,5	73.9
2	5			364,0	72.8
3	10			367,0	73.4
4	15			370,5	74.1

Подальші дослідження щодо визначення оптимального складу вугільних шихт проводилися шляхом визначення механічних властивостей отриманих коксових залишків. Визначення механічних властивостей проводили шляхом визначення виходів фракції коксового залишку після чотирьохразового скидання на сталеву плиту та розсіювали за класами крупності, %: > 40; 25 – 40; 10 – 25; 5 – 10; <5 мм. Результати проведеного дослідження представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Результати дослідження міцності коксових залишків на скидання

№ п/п	Вміст домішки фракції в шихті, %	Вихід класів, %				
		>40мм	25-40мм	10-25мм	5-10мм	<5мм
1	0	91,6	3,6	0,2	0,3	4,3
2	5	94,4	0,5	0,2	0,5	4,4
3	10	94,5	0,4	0,5	0,4	4,2
4	15	93,3	0,3	0,3	0,4	5,7

З результатів дослідження міцності отриманих коксових залишків видно, що внесення фракції слабкоспікливого вугілля впливає на вихід коксового залишку з розміром більше 25 мм і менше 5 мм. Домішка в шихту до 10% не призводить до суттєвих змін виходу фракцій. Проте домішка фракції слабкоспікливого вугілля призводить до зниження виходу класів коксового залишку більше 25 мм, а також збільшення вмісту класів менше 5 мм, що погіршує якість коксу.

Отже, вміст фракцій слабкоспікливого вугілля є фактором, що змінює якість утворення твердого вуглецевого залишку.

Для оцінки впливу зазначеного фактору був використаний однофакторний дисперсійний аналіз [95, 96], оскільки він дозволяє розкласти складну дисперсію на складові та оцінити їх за певними критеріями. Для оцінки впливу цього фактору використовувалися показники дослідження міцності отриманих коксових залишків більше 25 мм, а також вихід дрібного класу, тобто вихід класу коксового залишку менше 5мм.

Чисельні характеристики проведеного дисперсного аналізу подано в таблиці 4.3 для оцінки показника виходу класів коксового залишку більше 25 мм. В свою чергу, в таблиці 4.4 представленні чисельні характеристики проведеного дисперсного аналізу для оцінки показника виходу класів коксового залишку дрібного класу, менше 5мм.

Отримані числові характеристики оброблених експериментальних даних дозволять зробити висновок, що при проведенні дослідження міцності коксового залишку на скидання відсутні грубі похибки. Отже, результати дослідження мають достатньо високий ступінь достовірності результатів.

Потім були розраховані інтервальні оцінки проведеного дослідження. Результати проведеного визначення представлені в таблиці 4.5 та 4.6.

Подальші розрахунки проводили для перевірки гіпотези про статистичне значення відмінності результатів, отриманих з різними домішками фракції слабкоспікливого вугілля.

Таблиця 4.3

Чисельні характеристики показника виходу класів коксового залишку більше 25 мм.

№ п/п	Найменування та позначення характеристики	Чисельні значення характеристик для домішки фракцій			
		0	5	10	15
1	Математичне очікування, ¯ρ	95,2	94,9	94,9	93,6
2	Дисперсія, σ^2	0,029	0,016	0,047	0,082
3	Незміщена дисперсія, S^2	0,043	0,023	0,07	0,123
4	Стандартне відхилення, σ	0,169	0,125	0,216	0,287
5	Виправлене стандартне відхилення, S	0,208	0,153	0,265	0,351
6	Розмах варіювання, R	0,4	0,3	0,5	0,7
7	Середньоарифметичне відхилення, f *f*	0,156	0,111	0,2	0,244

Таблиця 4.4

Чисельні характеристики показника виходу класів коксового залишку менше 5 мм.

№ п/п	Найменування та позначення характеристики	Чисельні значення характеристик для домішки фракцій			
		0	5	10	15
1	Математичне очікування, ¯ρ	4,3	4,4	4,2	5,7
2	Дисперсія, σ^2	0,007	0,029	0,027	0,096
3	Незміщена дисперсія, S^2	0,01	0,043	0,04	0,143
4	Стандартне відхилення, σ	0,081	0,17	0,163	0,309
5	Виправлене стандартне відхилення, S	0,1	0,208	0,2	0,379
6	Розмах варіювання, R	0,2	0,4	0,4	0,7
7	Середньоарифметичне відхилення, f *f*	0,067	0,156	0,133	0,289

Таблиця 4.5

Інтервальні оцінки для показника виходу коксового залишку більше 25 мм.

№ п/п	Вміст домішки фракції в шихті, %	Довірений інтервал, δ	Середнє значення з довіреним інтервалом, $\bar{\rho} \pm \delta$
1	0	0,382	95,2±0,382
2	5	0,28	94,9±0,28
3	10	0,486	94,9±0,486
4	15	0,645	93,6±0,645

Таблиця 4.6

Інтервальні оцінки для показника виходу коксового залишку менше 5 мм.

№ п/п	Вміст домішки фракції в шихті, %	Довірений інтервал, δ	Середнє значення з довіреним інтервалом, $\bar{\rho} \pm \delta$
1	0	0,184	4,3±0,184
2	5	0,382	4,4±0,382
3	10	0,367	4,2±0,367
4	15	0,695	5,7±0,695

Тобто проводили оцінку впливу як позитивного, так і негативного вмісту фракцій слабкоспікливого вугілля як фактора, що впливає на показники механічної міцності коксового залишку на скидання.

Оцінку значення відмінностей визначали за допомогою t – критерію Стюдента, використовуючи формулу 4.1 [96]:

$$\left| t_{\text{розрах}} \right| \geq t_{\text{табл.a\$f}} \qquad (4.1)$$

де: $t_{\text{розрах.}}$ – розрахункове значення t – критерію Стюдента;

$t_{табл.a;f}$ – табличне значення t – критерію Стюдента.

Отримані результати проведеного розрахунку (рис. 4.1, 4.2) показують, що як для першого так і для другого показника статистично значимою відмінністю є тільки зміна вмісту домішки слабкоспікливого вугілля від 10 до 15% і, як показують результати експерименту, ці зміни призводять до погіршення механічних властивостей коксового залишку.

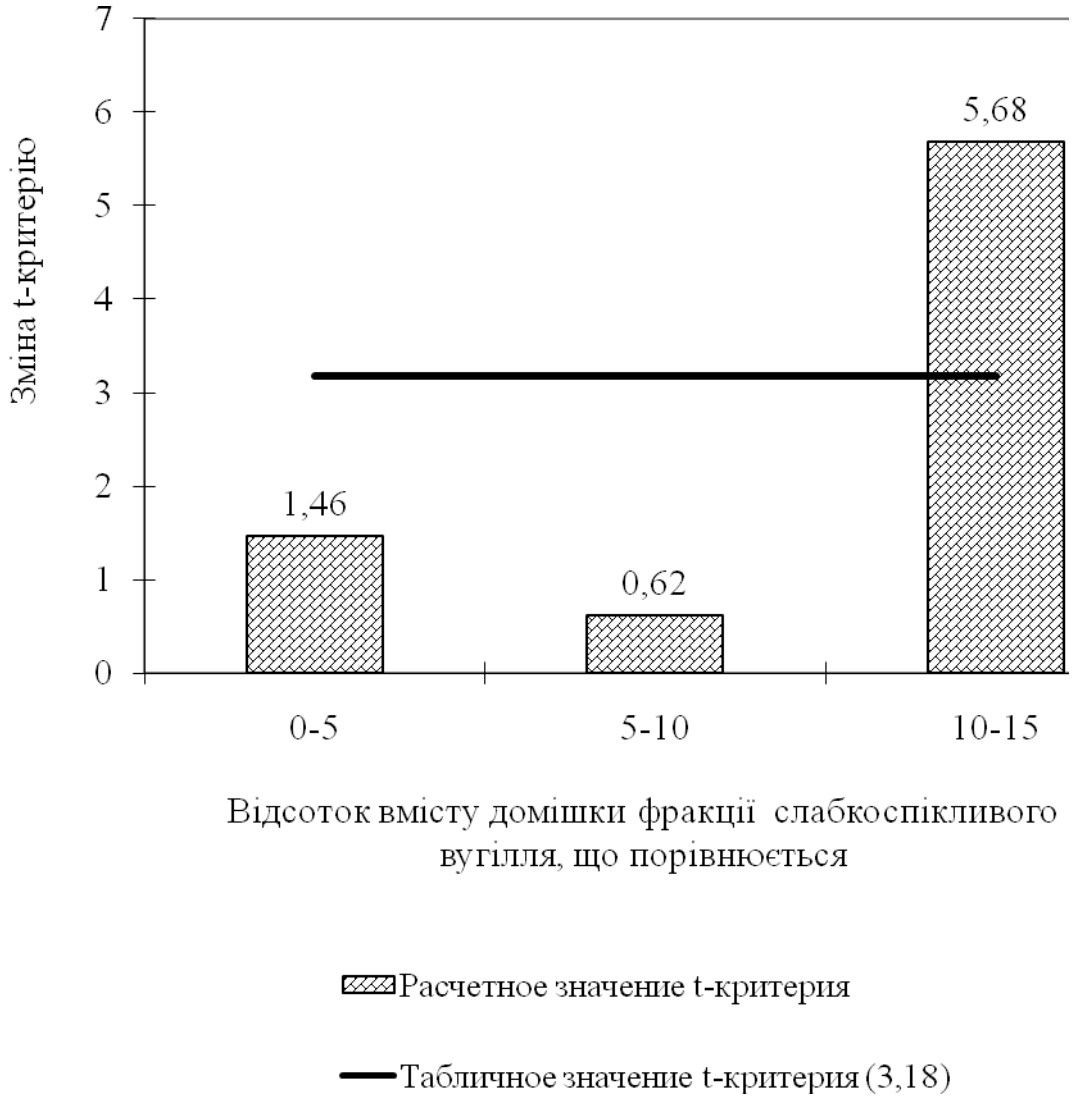

Рисунок 4.1 – Зміна t – критеріїв для показника класів коксового залишку більше 25 мм.

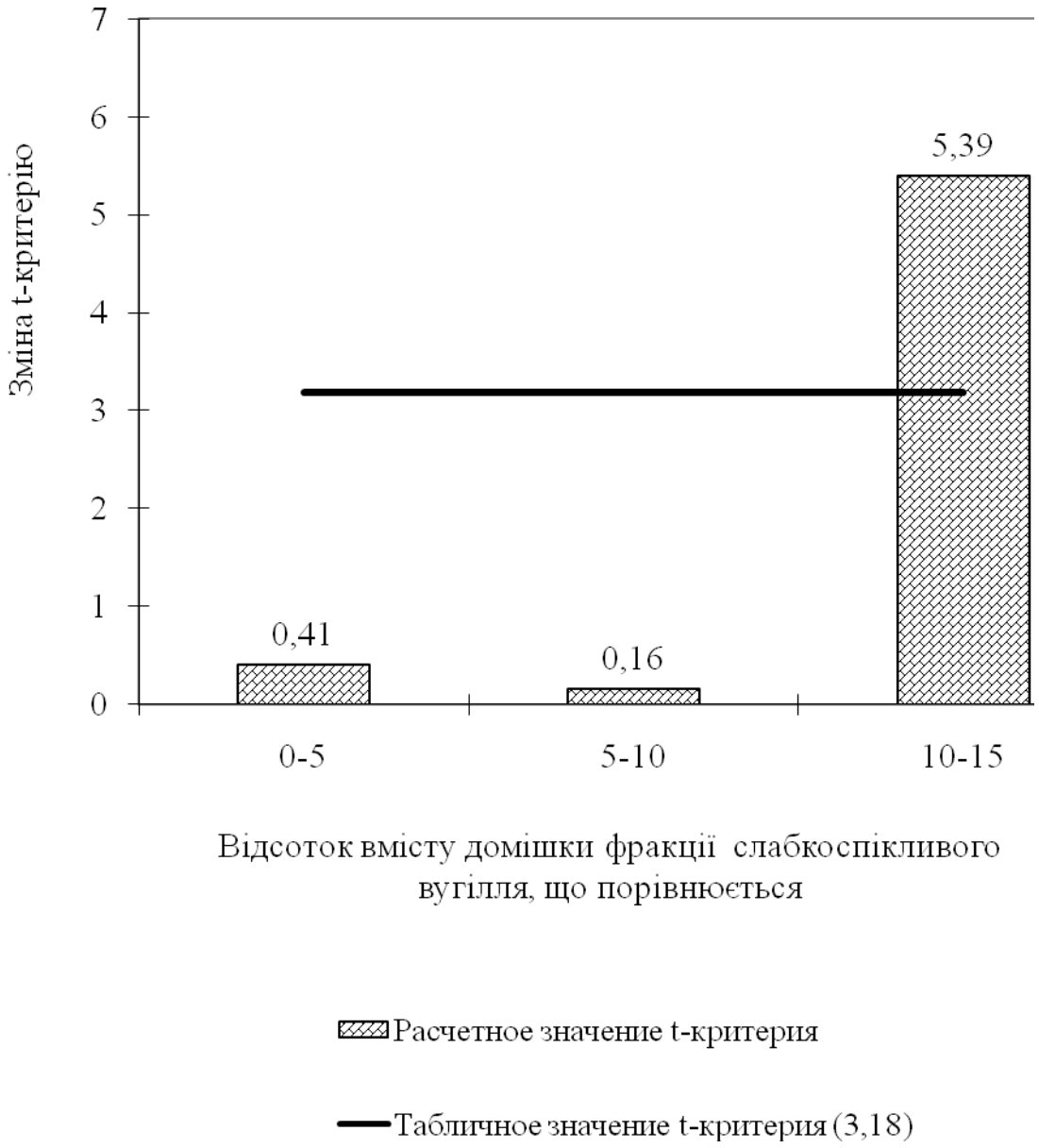

Рисунок 4.1 – Зміна t – критеріїв для показника класів коксового залишку менше 5 мм.

Отже, результати однофакторного дисперсійного аналізу показали, що оптимальним вмістом фракції слабкоспікливого вугілля становить 10%. При такому вмісті малометаморфізованого вугілля властивості коксу знаходяться в межах похибки експерименту та дозволяють отримати кокс необхідної якості. Тобто подальші дослідження були спрямовані на визначення складу

вугільних шихт, що містять домішку фракції слабкоспікливого вугілля в межах оптимальної області (10%).

4.2 Визначення складу вугільної шихти, що містять як один з компонентів, фракцію слабкоспікливого вугілля

Для визначення складу вугільних шихт, що містять в своєму складі як один з компонентів, певну фракцію слабкоспікливого вугілля марки ДГ був використаний метод математичного планування експерименту [97 – 99], зокрема застосований повний факторний експеримент. Цей метод використовували, тому що при його реалізації можливо визначити значення параметрів оптимізації при всіх можливих поєднаннях рівнів варіювання факторів.

Вище було зазначено, що домішка фракції слабкоспікливого вугілля, що додається до вугільної шихти впливає на показники якості отримуваного твердого вуглецевого залишку. Отже, для визначення складу вугільних шихт необхідно проаналізувати взаємодії компонентів суміші на всіх стадіях термічних перетворень і виявити визначальні фактори, що впливають на формування необхідних властивостей коксу.

В роботах [98, 99] було показано, що на стадіях як середньо-температурних, так і високотемпературних перетворень основними факторами є:

- матеріальний склад вугілля і ступінь його метаморфізму, що впливає на якісний і кількісний склад продуктів термічного піролізу в результаті термічної деструкції;

- рівень температурного впливу на вугілля та швидкість підвищення температури, що впливають як на початкові, так і на подальші хімічні реакції, що протікають між уламками макромолекулярних речовин, які утворилися в результаті термічної деструкції;

- розмір вугільних зерен і величина тиску в реакційному об’ємі, що впливають на реакції та які протікають між продуктами термічного розпаду макромолекули вугілля;

- хімічна активність газової фази в міжзерновому реакційному об’ємі, що здатна вступати в хімічну взаємодію з поверхнею вугільних частинок і, тим самим, змінювати їх пластичні властивості;

- наявність різних мінеральних сполук або мінеральних домішок у вугіллі, одночасно впливаючи на внутрішньозернову взаємодію проміжних продуктів термічної деструкції вугілля і на термохімічні перетворення в міжзерновому реакційному об’ємі.

Проаналізувавши зазначені фактори з урахуванням об'єктів і методів нашого дослідження, були виділені два фактори:

1. Матеріальний склад вугілля і ступінь його метаморфізму, тобто природа використаного спікливого вугілля. Для кількісної оцінки зазначеного фактора в дослідженні використовувався показник вмісту в шихті фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ (X_1);

2. Розмір вугільних зерен, тобто помел спікливого вугілля. Для кількісної оцінки цього фактора в дослідженні використовувався показник вмісту часток фракції слабкоспікливого вугілля (X_2).

Для оцінки впливу зазначених факторів у дослідженні використовували як параметри оптимізації показники аналізів структурної міцності (Y_1), твердості за Гінсбургом (Y_2), а також горючість лабораторного коксу (Y_3). Тут необхідно зазначити, що для оцінки горючості лабораторного коксу застосовували показник швидкості втрати маси лабораторного коксу при температурі 500ºС у вільному струмі повітря.

Як математичний апарат використовували метод повного факторного експерименту (ПФЕ 2^2). Згідно з зазначеним методом перед початком розрахунку необхідно провести кодування факторів. Результати виконаного кодування факторів подані в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

Кодування факторів

№ п/п	Інтервал варіювання і рівень факторів	Вміст фракцій вугілля марки ДГ, %	Гранулометричний склад фракцій вугілля марки ДГ, %
1	Нульовий рівень $X_i=0$	10	80
2	Інтервал варіювання δ_i	5	10
3	Нижній рівень $X_i=-1$	5	70
4	Верхній рівень $X_i=+1$	15	90
5	Кодове позначення	X_1	X_2

Матриця планування експерименту (ПФЕ 2^2) і результати експериментів представлені в таблиці 4.8.

Обробивши результати, за допомогою статистичного аналізу, були отримані такі результати:

Рівняння регресії:

$$Y_1=59,5-2,25X_1+1,3X_2 \quad (4.2)$$

$$Y_2=0,911-0,043X_1+0,021X_2 \quad (4.3)$$

$$Y_3=0,029+0,003X_1-0,001X_2 \quad (4.4)$$

Дисперсія, відтворюваності (похибка досліду):

$$S_y^2 = 1,25 \ ;(Y_1) \quad (4.5)$$

$$S_y^2 = 8,75 \cdot 10^{-5} ;(Y_2) \quad (4.6)$$

$$S_y^2 = 3,75 \cdot 10^{-7} ;(Y_3) \quad (4.7)$$

Таблиця 4.8

План матриця ПФЕ 2^2 і результати експериментів*

№ п/п	План-матриця (у кодованій формі)						Результати дослідження								
	X_0	X_1 Вміст фракції вугілля марки ДГ		X_2 Грам склад фракції вугілля марки ДГ		X_1*X_2	Y_1 Структурна міцність			Y_2 Абразивна твердості			Y_3 Горючість		
							1	2	$\overline{Y_1}$	1	2	$\overline{Y_2}$	1	2	$\overline{Y_3}$
1	+	–	5	–	70	+	60	62	61	0,94	0,93	0,935	0,027	0,027	0,027
2	+	+	15	–	70	–	55	57	56	0,84	0,85	0,845	0,034	0,035	0,0345
3	+	–	5	+	90	–	63	62	62,5	0,97	0,98	0,975	0,026	0,025	0,0255
4	+	+	15	+	90	+	58	59	58,5	0,9	0,88	0,89	0,03	0,031	0,0305
5 (основний рівень)	0	0	10	0	80	0	62,5	62	62,25	0,97	0,98	0,975	0,024	0,025	0,0245

*Обробка результатів проводилась з використанням програмного пакету обробки експериментальних даних Oringi Pro 8.0

Дисперсія адекватності:

$$S^2_{\text{ад}} = 27774{,}45 \ ;(Y_1) \tag{4.8}$$

$$S^2_{ад} = 0{,}001813 \ ;(Y_2) \tag{4.9}$$

$$S^2_{y} = 9{,}13 \cdot 10^{-6} \ ;(Y_3) \tag{4.10}$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_P = 22219{,}56 \ ; \ (Y_1) \tag{4.11}$$

$$F_P = 20{,}71 \ ; \ (Y_2) \tag{4.12}$$

$$F_P = 24{,}33; \ (Y_3) \tag{4.13}$$

Табличне значення критерію Фішера:

$$F_T = 7{,}7086 \tag{4.14}$$

Довірений інтервал для коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b = 1{,}552055; \ (Y_1) \tag{4.15}$$

$$\Delta b = 0{,}012985; \ (Y_2) \tag{4.16}$$

$$\Delta b = 0{,}00085; \ (Y_3) \tag{4.17}$$

Результати розрахунків показують, що лінійні отримані моделі, не адекватні, оскільки розрахункове значення критерію Фішера більше табличного. Отже, лінійні моделі, що отримані у встановлених межах не є прийнятними. Тому, необхідно зону експериментів описувати за допомогою моделей більш вищого порядку.

Для синтезу регресії моделі більш високого (другого) порядку, а також при математичному описі оптимальної зони експерименту було застосовано центральне композиційне ортогональне планування експерименту (ЦКОП).

Досліди, подані в таблиці 4.8, використовувалися як ядра центрального композиційного ортогонального планування другого порядку.

Матриця планування експерименту (ЦКОП) і результати експериментів подані в таблиці 4.9.

При обробці результатів планування (ЦКОП), за допомогою статистичного аналізу, були отримані такі рівняння регресії:

Розрахункові значення критерію Фішера склали:

$$F_P=0,73 ; (Y_1) \quad (4.21)$$

$$F_P= 0,22 ; (Y_2) \quad (4.22)$$

$$F_P= 0,34; (Y_3) \quad (4.23)$$

Табличне значення критерію Фішера:

$$F_T=6,256 \quad (4.24)$$

Результати проведеного дослідження показують, що рівняння регресії адекватні, оскільки розрахункове значення критерію Фішера менше табличного. Результати розрахунку для перевірки значущості коефіцієнтів регресії показані в таблиці 4.10 ($t_{табл}$ = 2,26).

Таблиця 4.9

План–матриця і результати досліджень за ЦКОП

Дослід	План-матриця								Y_1 Структурна міцність		Y_2 Абразивна твердості		Y_3 Горючість	
	X_0	X_1Вміст фракції вугілля марки ДГ		X_2 Грам склад фракції вугілля марки ДГ		X_1X_2	X_1^2-2/3	X_2^2-2/3	1	2	1	2	1	2
1	+	–	5	–	70	+	1/3	1/3	60	62	0,94	0,93	0,027	0,026
2	+	–	5	+	90	–	1/3	1/3	63	62	0,97	0,98	0,026	0,025
3	+	+	15	–	70	–	1/3	1/3	55	57	0,84	0,85	0,034	0,035
4	+	+	15	+	90	+	1/3	1/3	58	59	0,9	0,88	0,03	0,031
5	+	0	10	–	70	0	–2/3	1/3	60	61	0,95	0,93	0,027	0,029
6	+	0	10	+	90	0	–2/3	1/3	62	64	0,93	0,98	0,025	0,026
7	+	–	5	0	80	0	1/3	–2/3	62,5	63	0,95	0,97	0,023	0,024
8	+	+	15	0	80	0	1/3	–2/3	54	55	0,87	0,89	0,031	0,029
9	+	0	10	0	80	0	–2/3	–2/3	61,5	62	0,97	0,98	0,024	0,025

Таблиця 4.10

Перевірка значимості коефіцієнтів регресії

	t_0	t_1	t_2	t_{12}	t_{11}	t_{22}
Y_1	271,9	12,74	4,8	1,1	11,26	2,58
Y_2	259,4	11,4	4,47	0,34	11,4	4,02
Y_3	113,3	15,1	5,8	3,5	11,24	11,23

Підставивши значення факторів у рівняння регресії, були отримані графічні зображення рівнянь (рис. 4.3 - 4.5).

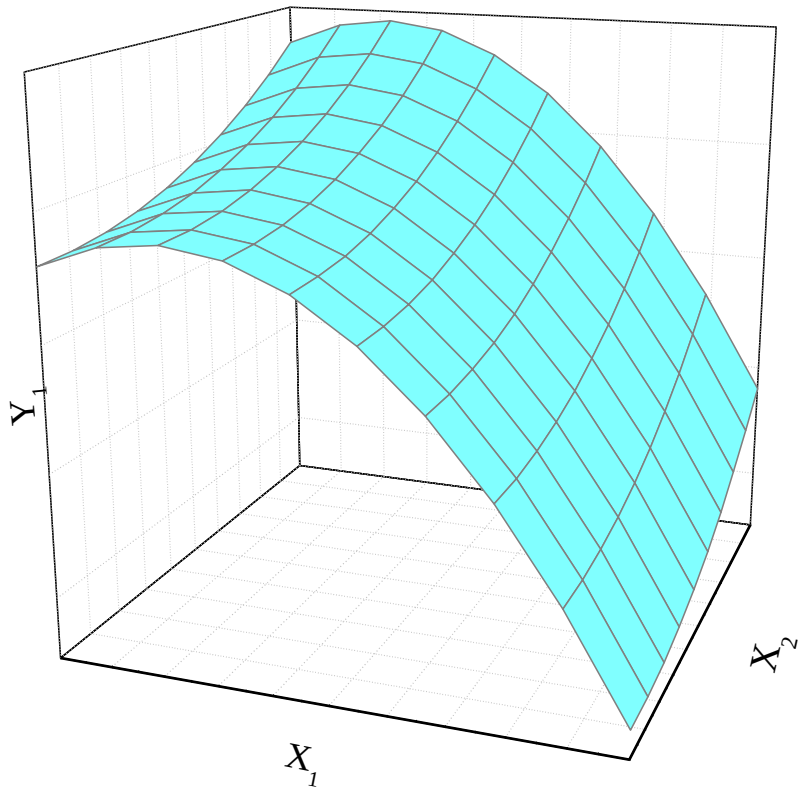

Рисунок 4.3 – Поверхня відгуку для структурної міцності при ЦКОП

Беручи до уваги те, що отримані статистичні рівняння регресії 4.18-4.20 мають кодовані значення факторів, що ускладнює їх використання. Отже, для зручності технологічного використання розробленими рівняннями регресії отримані рівняння були перераховані в натуральний вигляд, де вміст фракції

вугілля марки ДГ позначений V, а гранулометричний склад фракції вугілля марки ДГ позначений G.

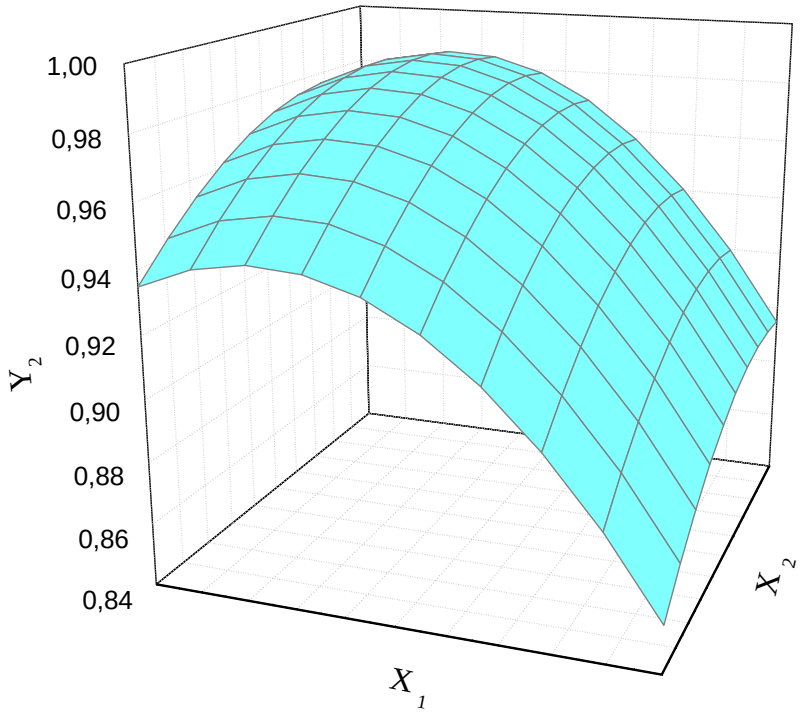

Рисунок 4.4 – Поверхня відгуку для абразивної твердості при ЦКОП

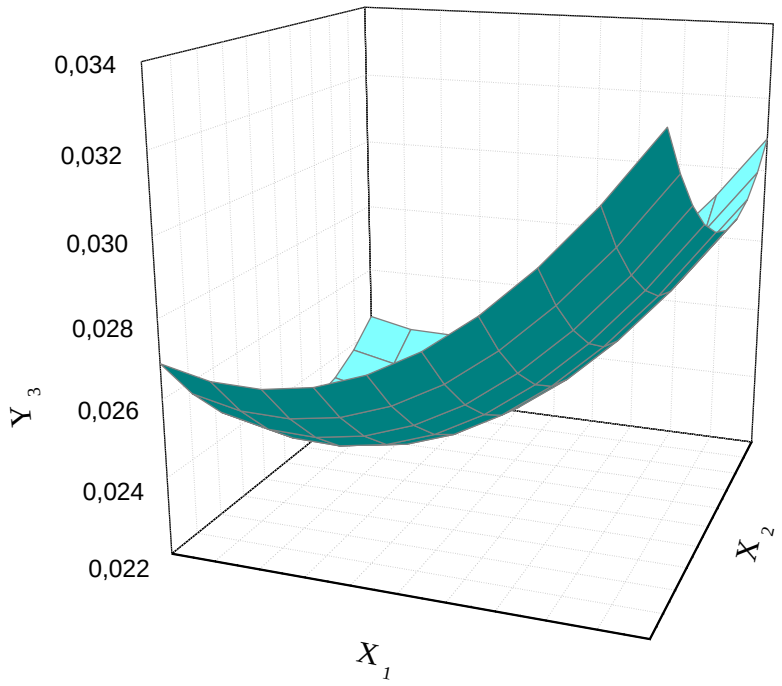

Рисунок 4.5 – Поверхня відгуку для показника горючості при ЦКОП

Рівняння для параметрів оптимізації «Структурна міцність»:

$$f_1(V,G)=85,42+1,46\cdot V-0,84\cdot G-0,11\cdot V^2+5,8\cdot 10^{-3}\cdot G^2 \quad (4.21)$$

Рівняння для параметрів оптимізації «Абразивна твердість»:

$$f_2(V,G)=1,71+2,5\cdot 10^{-2}\cdot V-2,23\cdot 10^{-2}\cdot G-1,68\cdot 10^{-3}\cdot V^2+1,5\cdot 10^{-4}\cdot G^2 \quad (4.22)$$

Рівняння для параметрів оптимізації «Горючість»:

$$f_3(V,G)=0,18-2,2\cdot 10^{-4}\cdot V-3,83\cdot 10^{-3}\cdot G-1,4\cdot 10^{-5}\cdot VG+1,01\cdot 10^{-4}V^2+2,4\cdot 10^{-5}\cdot G^2 \quad (4.23)$$

З аналізу отриманих моделей видно, що обидва фактори впливають на параметри оптимізації проведеного дослідження. Отже, математичні залежності, отримані в результаті планування експерименту, можуть стати основою математичної моделі технологічного регулювання властивостей коксу шляхом додавання домішки фракції сабкоспікливого вугілля марки ДГ.

4.3 Визначення технологічних параметрів отримання вугільної шихти на збільшеній промисловій установці

Дослідження,здійснені в попередніх розділах, дозволили визначити оптимальний вміст фракції слабкоспікливого вугілля в шихті для коксування, а також були отримані статистично-математичні моделі, за допомогою яких можна прогнозувати якість коксу при додаванні домішки фракції слабкоспікливого вугілля.

Для перевірки гіпотези щодо оптимального вмісту фракції слабкоспікливого вугілля було проведено лабораторне коксування вугільних шихт на збільшеній лабораторній установці на ПрАТ «Дніпровський КХЗ».

Для зазначеного дослідження була використана шихта середньо змінна ПрАТ «Дніпровський КХЗ», до якої додавали збагачене слабко спікливе

вугілля, а також фракція слабкоспікливого вугілля. Отже, використовувалися:

- шихта 1. Шихта середньозмінна;

-шихта 2. Шихта середньозмінна з додаванням 10% фракції слабкоспікливого вугілля;

- шихта 3. Шихта середньозмінна з додаванням 10% збагаченого слабкоспікливого вугілля.

Показники якості отриманих вугільних шихт подані на рисунках 4.6 – 4.8.

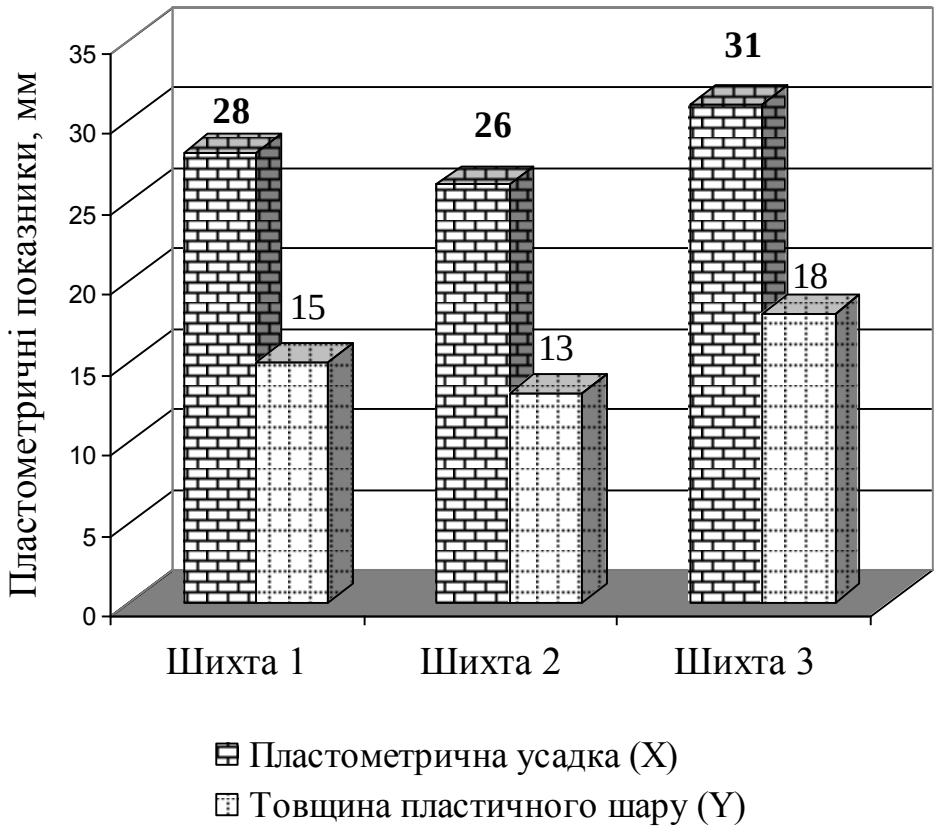

Рисунок 4.6 – Зміна пластометричних показників досліджуваних шихт

Результати досліджень, що відображають якість використовуваних модельних вугільних шихт доводять, що істотних змін не відбулося [100].

Після отримання лабораторного коксу було проведено дослідження для отримання показників:

- міцність коксу після реакції CRI;

- реакційної здатності CSR.

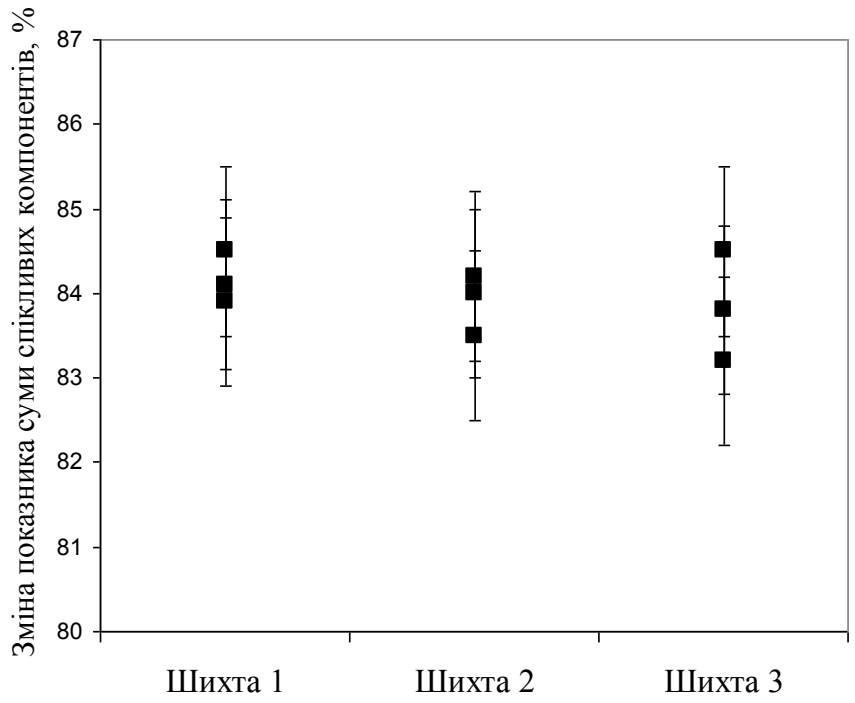

Рисунок 4.7 – Зміна показника суми спікливих компонентів вугільних шихт

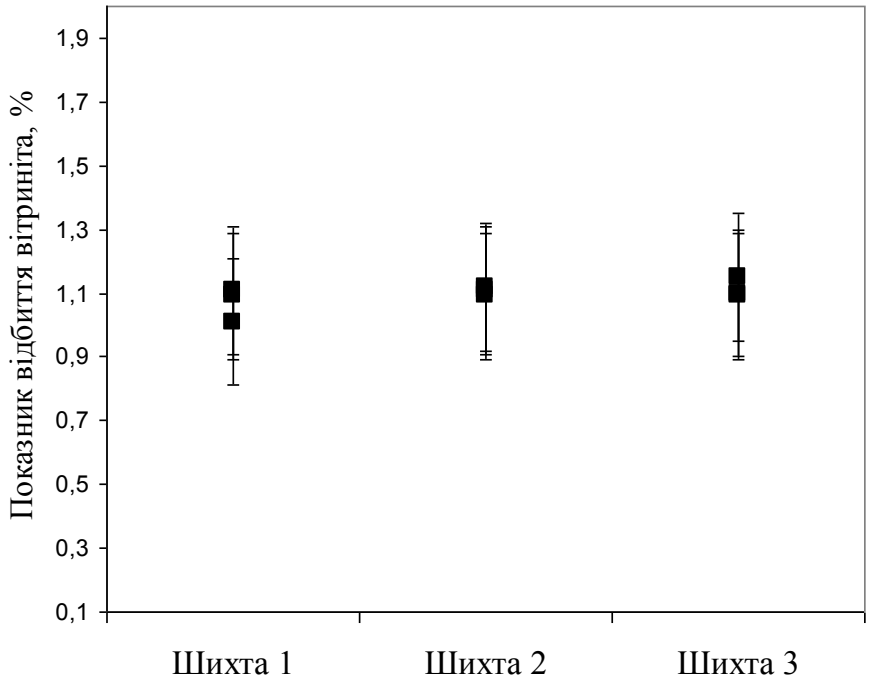

Рисунок 4.8 – Зміна показника відбиття вітриніта вугільних шихт

Результати проведеного дослідження подано на рисунку 4.9.

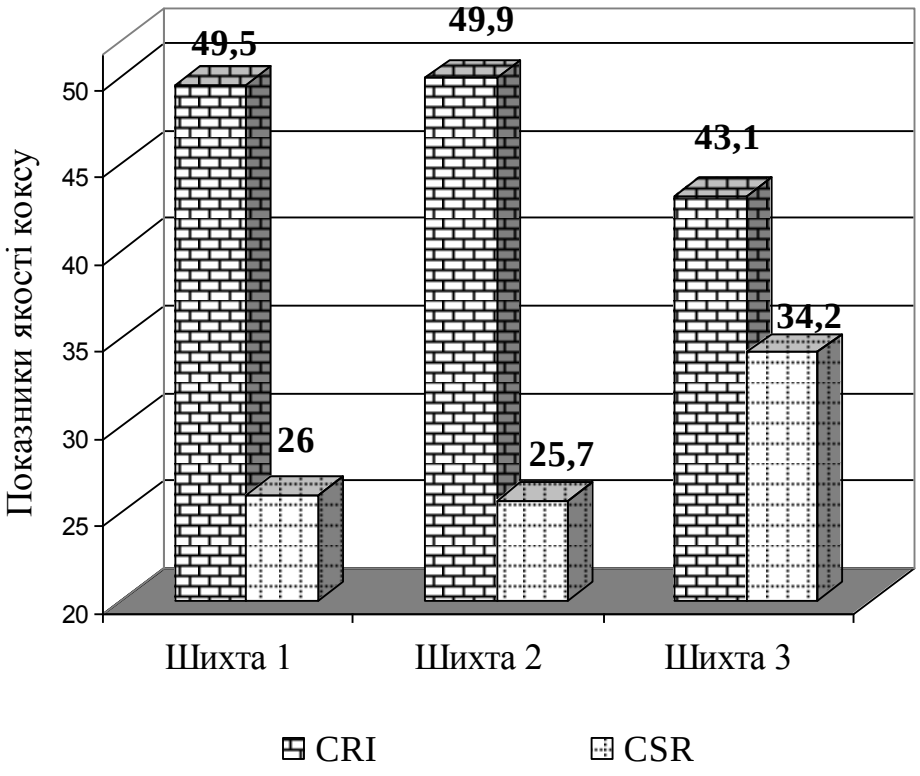

Рисунок 4.9 – Зміни показників якості коксу з модельних шихт

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновки, що показники реакційної здатності (CRI) і міцності коксу після реакції (CSR) при додаванні 10% фракції слабкоспікливого вугілля практично не змінюються і знаходяться в межах похибки, проте додавання збагаченого слабкоспікливого вугілля марки ДГ призводить до різкого погіршення показників якості отриманого коксу.

Отже, проведені лабораторні коксування на ПрАТ «Дніпровському КХЗ» доводять, що додавання фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ в кількості 10% істотно не впливає на технологічні параметри металургійного коксу. Отже, розроблені технологічні параметри технологічного режиму дозволяють використовувати малометаморфізоване слабкоспікливе вугілля марки ДГ під час виробництва доменного коксу.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Результати лабораторного коксування доводять, що додавання до шихти фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ суттєво не впливає на показник виходу твердого вуглецевого залишку, а зміни, що простежуються у результаті проведеного дослідження знаходяться в межах помилки досліду.

2. Зважаючи на те, що домішка фракції слабкоспікливого вугілля більш ніж 10% призводить до зниження виходу класів коксового залишку більше 25 мм, а також збільшення вмісту класів менше 5 мм, що погіршує якість коксу, тобто вміст фракції слабкоспікливого вугілля є фактором, який змінює якість твердого вуглецевого залишку, що утворився.

3. Результати однофакторного дисперсійного аналізу доводять, що оптимальний вміст фракції слабкоспікливого вугілля становить 10%. При такому вмісті малометаморфізованого вугілля властивості коксу знаходяться в межах похибки експерименту та дозволяють отримати кокс відповідної якості.

4. Результати планування експерименту також доводять, що обидва фактори впливають на параметри оптимізації здійсненого дослідження. Отже, математичні залежності, отримані в результаті планування експерименту, можуть бути основою математичної моделі технологічного регулювання властивостей коксу шляхом додавання домішки фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ.

5. Лабораторні коксування, які були проведені на ПрАТ «Дніпровський КХЗ» доводять, що внесення фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ в кількості 10% істотно не впливає на технологічні параметри металургійного коксу, тобто розроблені технологічні параметри технологічного режиму дозволяють використовувати малометаморфізоване слабкоспікливе вугілля марки ДГ під час виробництва доменного коксу.

РОЗДІЛ 5
ТЕХНОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВИРОБНИЦТВА КОКСУ З ВИКОРИСТАННЯМ СЛАБКОСПІКЛИВОГО ВУГІЛЛЯ В ШИХТІ ДЛЯ КОКСУВАННЯ

Дослідження, проведенні в попередніх розділах дисертаційної роботи, доводять, що використання малометаморфізованого слабкоспікливого вугілля марки ДГ у шихті для коксування, без зміни останнього, призводить до погіршення якісних показників отриманого металургійного коксу. Попередні дослідження також показали, що використовувати слабкоспікливе малометаморфізоване вугілля марки ДГ можливо не повністю, а лише його частку (фракцію, що має густину 1,25 – 1,3 г/см^3). Також було встановлено, що вносити зазначену фракцію слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ у шихту для коксування, без погіршення якості показників коксу, можна не більше 10%.

З урахуванням отриманих результатів, цього розділу здійснювалася розробка технологічних режимів отриманих фракцій слабкоспікливого вугілля, розробка технологічних режимів додавання фракцій слабкоспікливого вугілля в шихту для коксування, а також представлений розрахунок потенційної економічної ефективності використання фракцій слабкоспікливого вугілля для виробництва металургійного коксу.

5.1. Розробка технологічних режимів отримання фракцій слабкоспікливого вугілля

Під час розробки технологічних режимів за основу була прийнята стандартна технологія збагачення рядового вугілля у важкому середовищі [5]. Також при розробці технологічних режимів враховувалося, що основні процеси збагачення вугілля включають операції [101]:

1. Ретельна класифікація вугілля перед збагаченням;

2. Розділення вихідного продукту відповідно до заданої густини та вилучення отриманих продуктів збагачення з сепараторів, в яких відбувається розподіл;
3. Відділення суспензії, вилучення разом з продуктами збагачення, від останніх та повернення їх до апарату для збагачення;
4. Промивання поверхні продуктів збагачення потужним струмом води від розчину в якому проходить розділення вугільних часток на фракції. В процесі відбувається не тільки змиття реагенту, але й глиняний та вугільний шлам, що входить до складу рядового вугілля;
5. Вилучення суспензії з промивної води та одночасним відділенням його від вугільного та глиняного шламу;
6. Повернення вилученої суспензії у вигляді кондиційної (заданої) густини до апарата для збагачення вугілля;
7. Безперервну очистку частини кондиційної суспензії від вугільного та глиняного шламу.

Останні три пункти стосуються регенерації суспензії.

З урахуванням зазначеної вище розробки технологічних режимів отримання вузької фракції слабкоспікливого вугілля (1,25 – 1,3 г/см^3) за основу була обрана стандартна двохстадійна технологічна схема збагачення вугілля у важкому середовищі. Зміна стандартної схеми стосується лише сепаратора другого етапу збагачення, оскільки в роботі ставилася задача не стандартного збагачення, а виділення фракції вугілля з густиною 1,25 – 1,3 г/см^3. Отже, останній сепаратор (гребковий чи механічний) стандартної схеми збагачення був замінений на вдосконалений, що фактично працює як два послідовно з’єднані сепаратори. Це дозволить отримати необхідну фракцію слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля (1,25 – 1,3 г/см^3) та два класи промислового продукту з густиною 1,35-1,3 та <1,25 г/см^3.

Для апаратного оформлення технологічної схеми отримання вузької фракції, як приклад, для останньої стадії розділення був обраний сепаратор

Tri-Flo компанії Tri-Flo Intern [54, 102]. Схематичне зображення цього сепаратора подано на рисунку 5.1. Зазначений сепаратор ефективно використовується в промислових умовах збагачення вугілля Австралії[103], а також важко збагачуваного вугілля Індії [104] з великим вмістом золи.

Як видно з рисунку 5.1. сепаратор працює як два послідовних сепаратори. В серединні сепаратор розділений стінкою на два циліндричні відсіки, що розташовані під кутом 20 градусів: у першому – вилучають частину вугілля найбільшої густини (1,35-1,3 г/см^3), більш легкі продукти надходять до наступного відсіку сепаратора, де розділення відбуваються при меншій густині, отримуючи концентрат (1.25-1.3 г/см^3) і промисловий продукт (< 1.25 г/см^3).

Отже, процес збагачення вугілля з отриманням вугільних фракцій необхідної густини відбуватиметься за схемою, що подана на рисунку 5.2.

Рядове подрібнене вугілля, що надходить з вугільної шахти, подрібнюють та відправляють до першого сепаратора 1, у якому відбувається процес виділення породи та глиняних частинок від органічної маси вугілля. Розчин суспензії в першому сепараторі має густину 1,35 г/см^3.

Важка фракція, тобто мінеральні речовини з густиною >1,35 г/см^3 є відходом, оскільки містить значну кількість мінеральних та глиняних частин, що не використовуються в промисловості. Вилучена важка фракція надходить на грохот 14, де промивається технічною водою від розчину. Розчин з вмістом суспензії проходить регенерацію та повертається знову до сепаратора.

Збагачене вугілля в сепараторі 1 знаходиться на поверхні суспензії, за допомогою шкребків воно надходить на сито скидання 2. Разом зі збагаченим вугіллям на сито потрапляє і значна частина суспензії густиною >1,35 г/см^3, більша частина суспензії відділяється від продукту та повертається до сепаратора. Після чого вугілля надходить до вібраційного грохоту 3, де відбувається подальше вилучення залишків суспензії шляхом вібраційних коливань. Для максимального відділення суспензії від вугільного

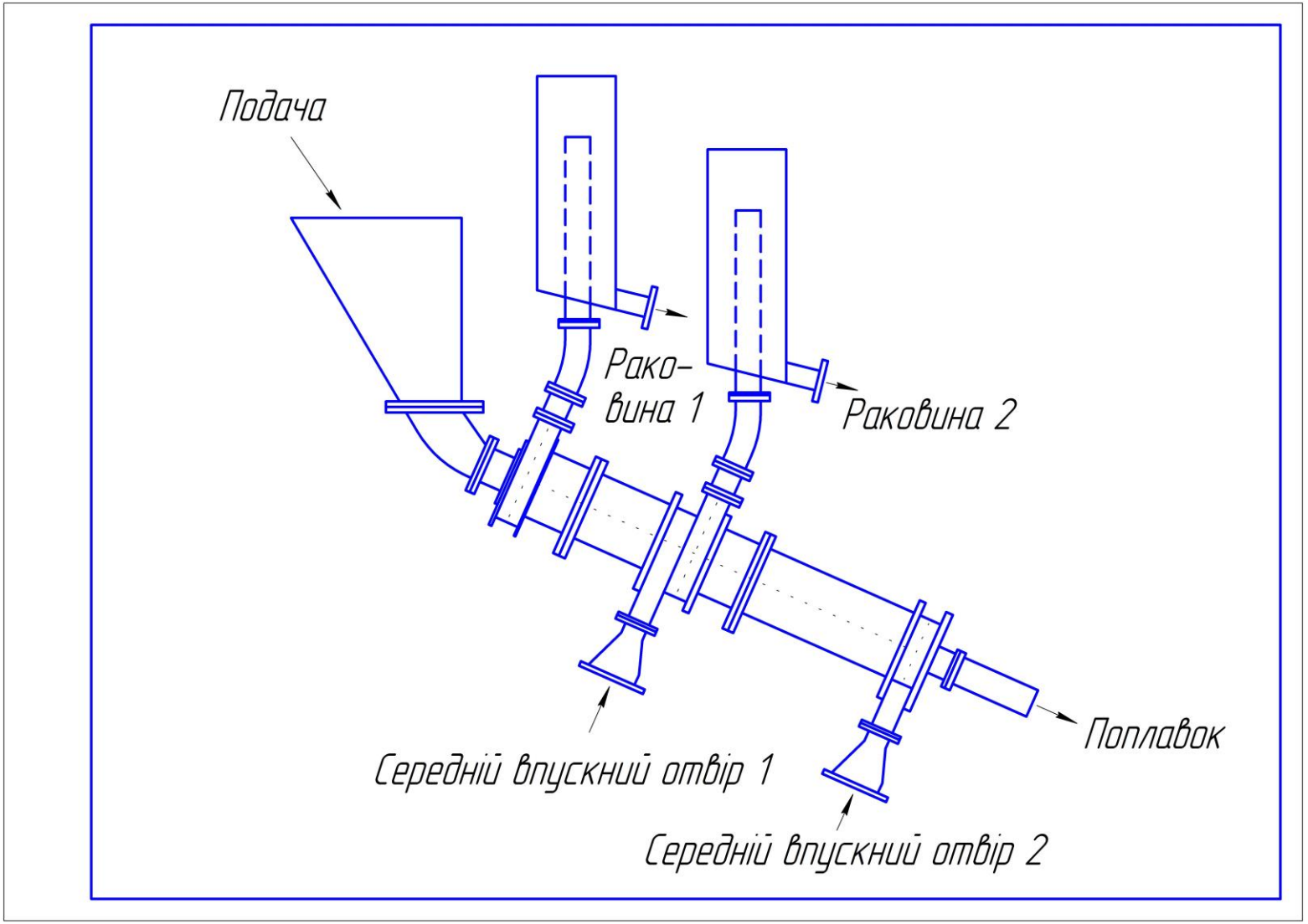

Рисунок 5.1 – Сепаратор двостадійний (Tri-Flo компанії Tri-Flo Intern.)

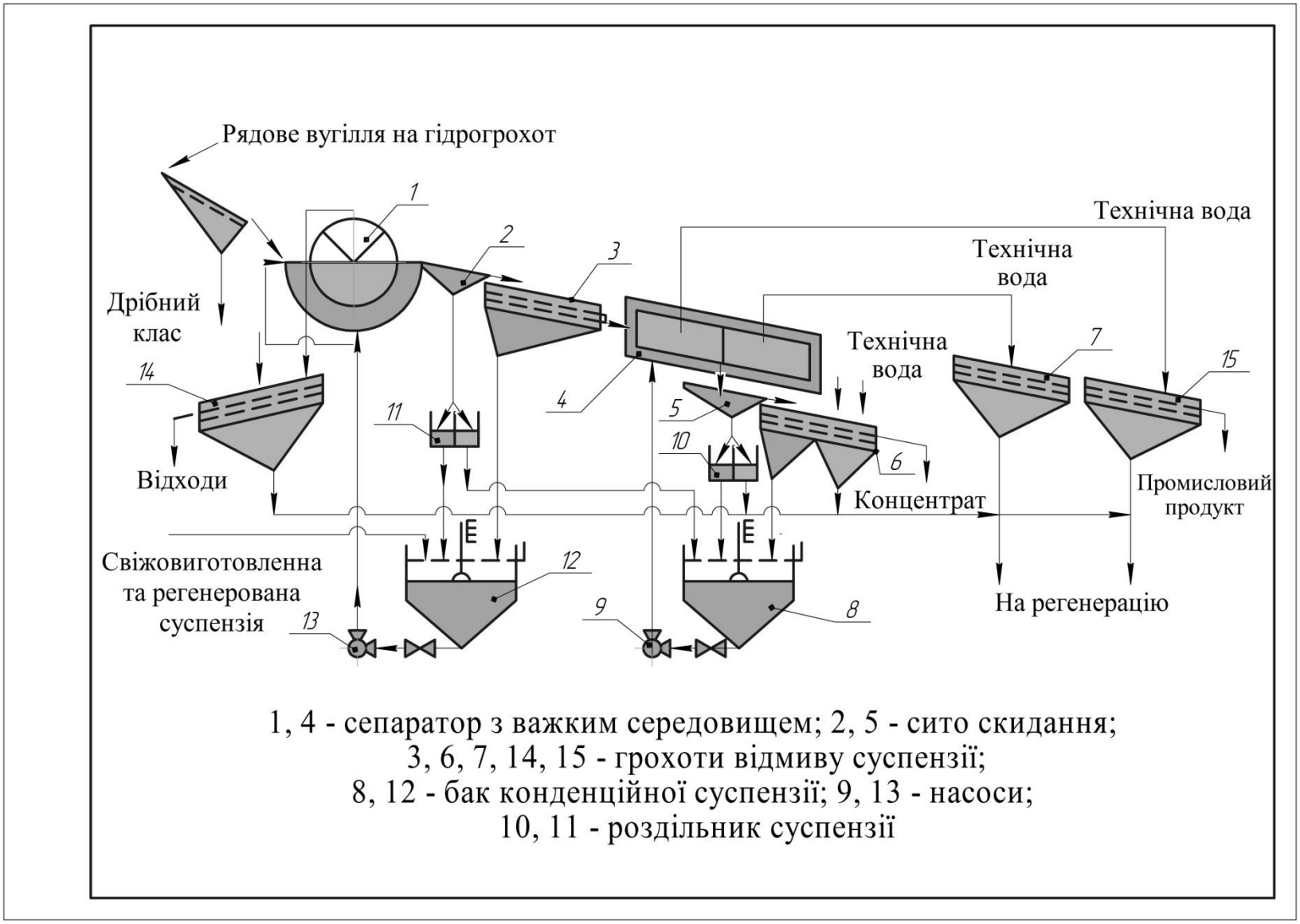

Рисунок 5.2 – Технологічна схема отримання вузьких фракцій слабкоспікливого вугілля певної густини

концентрату використовують вібраційні грохоти з шириною отворів 0,25 – 1,0 мм. Суспензія,що надходить з грохота, подається до розподільника суспензії 11, після якого надходить до баку кондиційної суспензії 12. З бака конденсації, за допомогою насосу 13, суспензія подається до підвідного сепаратора, де повторно відбувається процес збагачення вугілля.

Після проходження збагаченого слабкоспікливого вугілля через сепаратор Tri-Flo 4, отримуємо три вугільні фракції з густиною 1,35-1,3 г/см^3, 1,3-1,25 г/см^3 і <1.25 г/см^3, кожна фракція окремо надходить до гідрогрохотів 15, 6 і 7 відповідно, на якому відбувається процес відділення вугілля від суспензії. Після відділення суспензії від збагаченого вугілля на поверхні вугільного зерна залишаються частинки суспензії. Відділення залишкових частинок суспензії з поверхні збагаченого вугілля проходить шляхом змиву потужним струмом води. Вода після змиву залишкових частинок суспензії відправляється на регенерацію, де проходить стадію очищення від вугільного та глиняного шламу та в подальшому повертається до сепаратора.

Отримані фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля з густиною 1,35-1,28 г/см^3 і <1.26 г/см^3 в такому випадку належать до промислового продукту, а вугілля густиною 1.25-1.3 г/см^3 є цінний компонент слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля, що в подальшому може використовуватися в коксохімічній промисловості у вугільній шихті для коксування [105].

Отже, розробленні технологічні режими дозволять отримати необхідні фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля у виробництві.

5.2. Розробка технологічних режимів внесення фракцій слабкоспікливого вугілля в шихту для коксування

Для внесення фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля з густиною 1.25-1.3 г/см^3 до шихти для коксування в промислових умовах, за основу була взята стандартна технологічна схема ДШ з відкритим

складом, що розділена на такі частини: прийом вугілля, зберігання на відкритому складі, дозування та складання вугільної шихти.

Під час розробки технологічної схеми для внесення вугільної фракцій в шихту для коксування було запропоновано встановити додатковий дозатор, з якого буде подаватися фракція слабкоспікливого вугілля до шихти для коксування. Змінена технологічна схема подана на рисунку 5.3.

Процес отримання вугільної шихти, до складу якої входить фракція слабкоспікливого вугілля марки ДГ, відбувається так: вугілля, що надійшло до коксохімічного підприємства спочатку потрапляє на розвантаження. За допомогою вагоноперекидача 1 вугілля потрапляє до бункерів прийому 2, з яких за допомогою живильників надходить до відділення попереднього подрібнення 5. Попереднє подрібнення вугілля здійснюється у валкових дробарках, що покращує процес дозування та підвищує продуктивність молоткових дробарок під час завершального подрібненні вугілля. Після попереднього подрібнення, вугілля за допомогою елеватора 3 транспортується до відкритого складу 4. В період зберігання та поступового поповнення вугільного складу вугіллям, відбувається процес усереднення.

Усереднене вугілля з відкритого складу за допомогою стрічкового конвеєру надходить до відділення завершального подрібнення 12 вугільного компоненту. Процес подрібнення здійснюється в молоткових дробарках, за схемою ДШ. Подрібнені вугільні компоненти надходять до елеватора 7 у відповідні вугільні дозатори.

Процес подачі фракції слабкоспікливого вугілля до шихти для коксування відбувається за допомогою дозатора та стрічкового конвеєру. Дозатори подають вугілля на конвеєр у встановленій відсотковій кількості, у свою чергу, вугільна фракція в кількості 10% поступово з додаткового дозатора подається на стрічковій конвеєр до вугільної шихти для подальшої подачі до вугільної вежі.

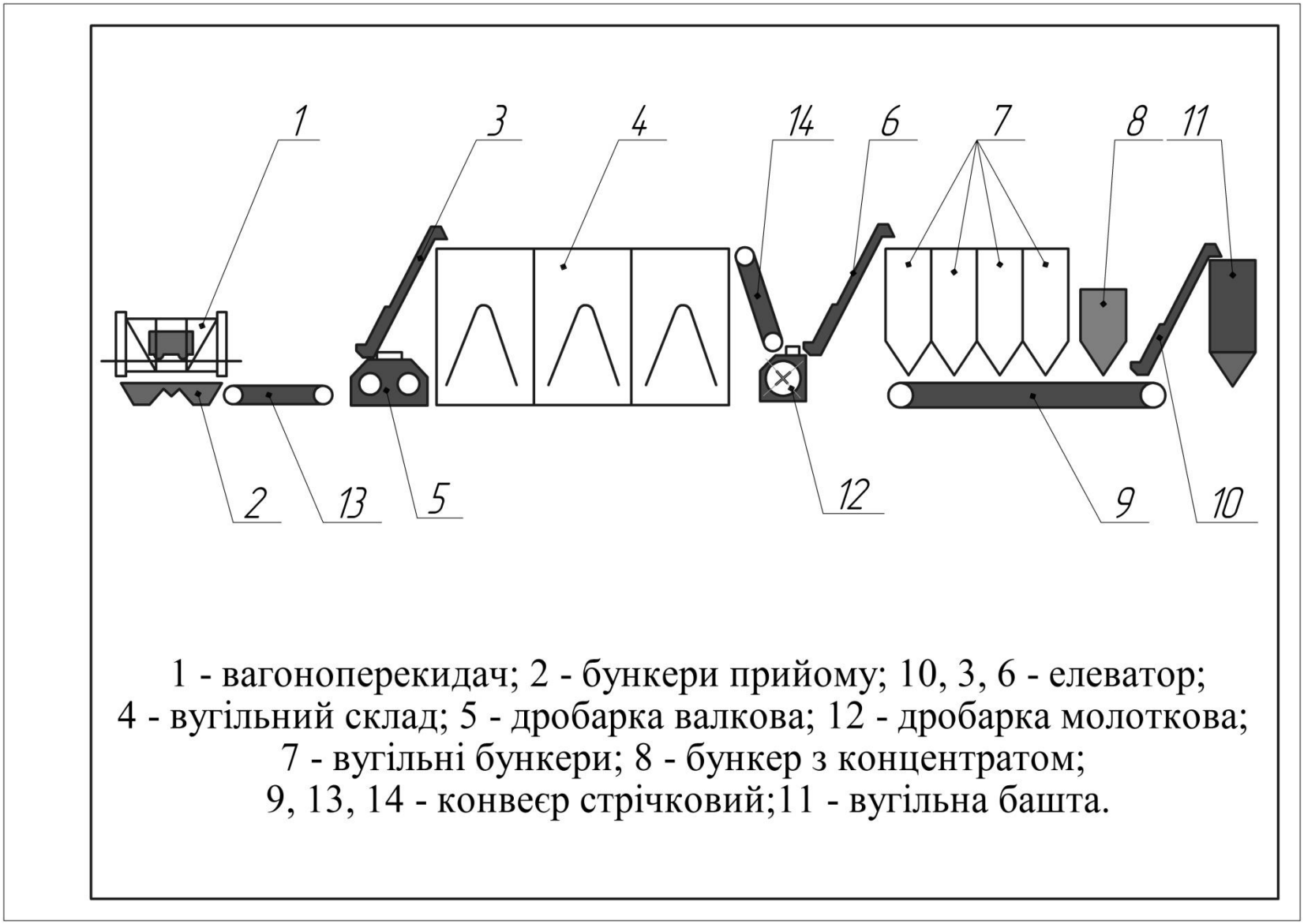

Рисунок 5.3 – Технологічна схема внесення фракції слабкоспікливого вугілля до шихти для коксування

5.3. Економічне обґрунтування використання фракцій слабкоспікливого вугілля в шихті для коксування

В умовах сучасного розвитку ринкової економіки та обмеженої кількості запасів спікливого вугілля, для виробництва доменного коксу, коксохімічні підприємства змушені використовувати в шихті для коксування підвищену кількість слабкоспікливого вугілля. Тому, необхідно було зробити розрахунки,що підтвердять ефективність та доцільність запропонованої в роботі технології.

В цьому розділі було зроблено розрахунок економічного обґрунтування використання фракцій слабкоспікливого вугілля в шихті для коксування, що уможливить оцінення економічного обґрунтування використання фракцій слабкоспікливого вугілля марки ДГ в шихті для коксування та отримання коксу необхідної якості.

Для оцінки економічного обґрунтування використання фракцій слабкоспікливого вугілля в шихті для коксування та визначення економічної ефективності виробництва коксу за запропонованою технологією використовувався показник, що відображує вартість вугільної шихти та витрати на виробництво. Тобто зроблено порівняльний розрахунок вартості виробництва металургійного коксу як за стандартною технологією, так і з використанням у вугільній шихті фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ.

При розрахунку потенційної економічної ефективності використовувались економічні показники, що були надані УНПА «Укркокс», за період 2017 – 2018рр. Отже, вартість вугільної сировини складає:

- вугілля марки ДГ – 2430 грн/т;
- вугілля марки Г– 2646 грн/т;
- вугілля марки Ж– 4374 грн/т;
- вугілля марки К– 5238 грн/т;
- вугілля марки ПС– 5670 грн/т.

У таблиці 5.1 подано результати розрахунку потенційної вартості вугільної шихти, склад якої подано в таблиці 2.4 (склад шихти №1) та вугільної шихти,до складу якої входить фракція слабкоспікливого вугілля, склад якої подано в таблиці 2.4 (склад шихти №3).

Таблиця 5.1

Вартість вугільних шихт

Марка вугілля	Вартість вугілля, грн/т	Стандартна вугільна шихта		Шихта з фракцією слабко-спікливого вугілля марки ДГ	
		Склад шихти, %	Вартість шихти грн./т	Склад шихти, %	Вартість шихти грн/т
ф ДГ	2551,50	0	4438,80	10	4170,15
Г	2646,00	25		25	
Ж	4374,00	25		25	
К	5238,00	35		25	
ПС	5670,00	15		15	

Результати стосовно вартості фракції слабкоспікливого вугілля, що представлені в таблиці 5.1, дещо відрізняються від вартості чистого вугілля. Відміна вартості включає витрати на отримання вугільної фракції слабкоспікливого вугілля необхідної якості, що складають 10% від вартості вугілля.

Відповідно до отриманих результатів розрахунку вартості компонентів як стандартної вугільної шихти, так і шихти з додаванням фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ, була побудована діаграма, що подана на рисунку 5.4.

Як видно з отриманих результатів розрахунку вартості компонентів як стандартної вугільної шихти, так і шихти, до складу якої входить слабкоспікливе малометаморфізоване вугілля марки ДГ, то використання

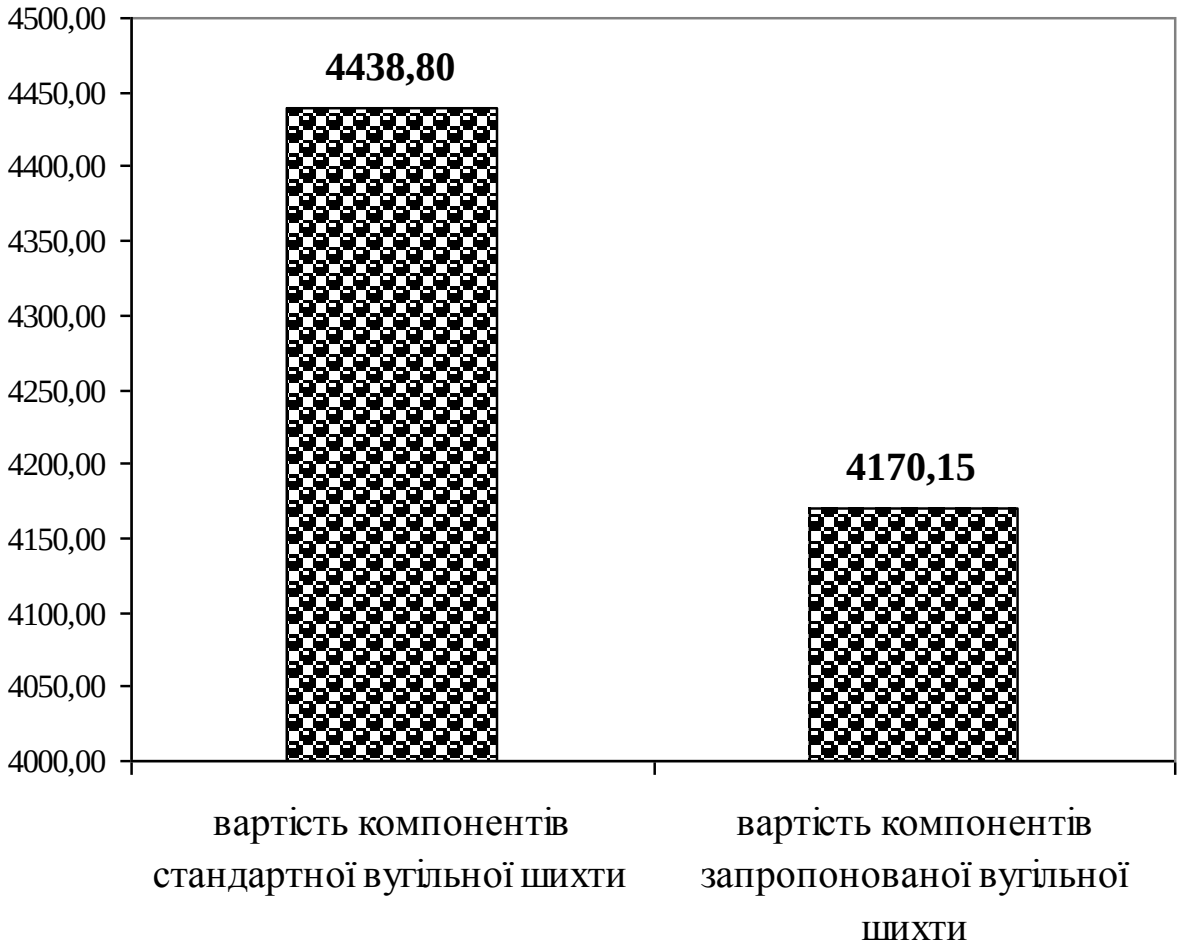

Рисунок 5.4 – Вартість 1 т вугільної шихти, грн/т

останньої під час виробництві металургійного коксу є економічно обґрунтованим. Оскільки вартість вугільної шихти з фракцією слабкоспікливого вугілля на 6% менша ніж вартість стандартної вугільної шихти. Таке зменшення вартості відбувається за рахунок зменшення кількості вугілля марки К та внесення замість нього енергетичного вугілля марки ДГ, вартість якого вдвічі менша.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

1. Розроблена технологічна схема отримання окремих фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля відрізняється тим, що останній сепаратор стандартної схеми збагачення замінений на вдосконалений, який фактично працює як два послідовно з'єднані сепаратори. Це дозволить отримати необхідну фракцію слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля (1,25 – 1,3 г/см^3) та два класи промислового продукту з густиною 1,35-1,3 та <1,25 г/см^3.

2. Розроблений метод та технологічна схема внесення окремих фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ до вугільної шихти для коксування. Це дозволяє використовувати фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля в шихті для коксування без суттєвої зміни класичної технології підготовки вугільних шихт.

3. Виробництво та використання окремих фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ дозволяє вирішити завдання, пов'язані з розширенням сировинної бази коксування, а також залучення для виробництва коксу вітчизняного вугілля.

4. Отримані результати економічного розрахунку, а також урахування того, що використання фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля в шихті для коксування для виробництва металургійного коксу не потребує додаткових витрат на виробництво, можна стверджувати,що вартість шихти, за умови застосування запропонованої нами технології зменшиться на 6%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Отримані наукові та експериментальні результати дозволили вирішити конкретну прикладну науково-господарчу задачу – розробити технологію використання слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ у вугільній шихті при виробництві металургійного коксу.

2. Запропонований автором принципово новий науково-технічний напрям виробництва металургійного коксу з використанням у шиті для коксування як одного з компонентів вітчизняного слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ, що ґрунтується на використанні останнього як окремої фракції з різною густиною.

3. Методи розширення сировинної бази коксування поділяються на декілька груп, що відрізняються за способом впливу. До першої групи відносяться механічні методи. До другої – термічні методи. До третьої – методи впливу на вугілля за допомогою різноманітних домішок. До четвертої – методи, що передбачають виділення зі спікливого вугілля цінної речовини, тобто «сепараційні».

4. Слабкоспікливе малометаморфізоване вугілля марки ДГ складається з компонентів різних за густиною, але нерівномірно розподілених. Основна маса слабкоспікливого вугілля знаходиться в легкій та важкій фракціях з густиною<1,25 і >1,30 г/см³.

5. Зміна густини вугільних фракцій не впливає на зміну показника відбиття вітриніта, але призводить до суттєвої зміни показника суми спікливих компонентів. Вугільні фракції з густиною 1,25 – 1,30 г/см³ мають найбільш оптимальний мацеральний склад, тому що фракції зазначеної густини містять найбільшу кількість вітриніта і меншу кількість інертініта порівняно з іншими фракціями.

6. Показник ароматичності отриманих фракцій збільшується за рахунок зниження інтенсивності полос поглинання, що відповідають за коливання аліфатичних С-Н зв’язків (2920 $см^{-1}$), при цьому інтенсивність полоси

поглинання, що відповідає за валентне та диференційне коливання $C_{ар}$ – Н зв'язків, які знаходяться практично на одному рівні у всіх фракціях слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля.

7. Оптимальними результатами спікання і спікливої здатності є вугільні фракції з густиною від 1,25 до 1,30 г/см^3. Отже, при складанні вугільної шихти для коксування доцільно використовувати саме ці фракції малометаморфізованого слабкоспікливого вугілля.

8. Лабораторні коксування, що були проведені на ПрАТ «Дніпровському КХЗ» показали, що додавання фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ в кількості 10% істотно не впливає на технологічні параметри металургійного коксу, тобто розроблені технологічні параметри технологічного режиму дозволяють використовувати малометаморфізоване слабкоспікливе вугілля марки ДГ під час виробництва металургійного коксу.

9. Розроблений метод та технологічна схема додавання окремих фракцій слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ до вугільної шихти для коксування,що дозволяє використовувати фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля в шихті для коксування без суттєвої зміни класичної технології підготовки вугільних шихт.

10.Отримані результати економічного розрахунку, а також враховуючи те, що використання фракції слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля в шихті для коксування для виробництва металургійного коксу не потребує додаткових затрат на виробництво, можна стверджувати,що за умови застосування запропонованої нами технології вартість вугільної шихти зменшиться на 6%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Старовойт А.Г. Состояние и перспективы рынка кокса Украины / А.Г. Старовойт // Черная металлургия. – 2009. – № 11. – С. 32 – 36.
2. Старовойт А.Г. Проблемы и перспективы глобального и европейского рынка стали, кокса и угля / А.Г. Старовойт, В.И. Рудыка, Е.Т. Ковалев // Черная металлургия. – 2009. – № 7. – С.35 – 39.
3. Рудыка В.И. Мировые рынки стали, угля и кокса, достижения в исследованиях, технологии и эксплуатации коксового производства (Аналитический обзор материалов саммита «Европейский кокс 2015») / В.И. Рудыка, В.П. Малина // Кокс и химия. – 2015. – № 7. – С. 15 – 24.
4. Ковалев Е.Т. Особенности формирования угольной сырьевой базы коксохимических предприятий Украины в современных условиях / Е.Т. Ковалев, И.Д. Дроздик, Ю.С. Кафтан // Углехимический журнал. – 2015. – № 3 – 4. – С. 8 – 13.
5. Справочник коксохимика. В 6-ти т. Т. 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию / под общ. ред. Л.Н. Борисова, Ю.Г. Шаповала. – Харьков: Издательский Дом «ИНЖЭК». – 2010. – 536 с.
6. Цикарев Д.А. Частичное брикетирование углей как средство использования низкосортных углей для коксования / Д.А. Цикарев // Кокс и химия. – 1975. – № 11. – С. 57 – 58.
7. Модифицирование угольной шихты в камере коксования / А.Г. Старовойт, Е.И. Малый, М.С. Чемеринский и др. // Кокс и химия. – 2013. – № 5. – С. 2 – 5.
8. Васильев В.С. Частичное брикетирование угольной шихты / В.С. Васильев // Кокс и химия. – 2012. – № 11. – С. 24 – 31.
9. Кузниченко В.М. Влияние коксовой мелочи на прочность и выход кокса при насыпной и трамбованной загрузке (Обзор) / В.М. Кузниченко, Н.И. Малько, С.С. Кубрак //Углехимический журнал. – 2013. – № 3 – 4. – С.16 – 21.

10. Производство кокса из трамбованных шихт в печах с утилизацией тепла: опыт успешной эксплуатации» / Х.П. Тивари, С.К. Халдар, С. Дута и др. // Кокс и химия. – 2015. – № 11. – с. 27 – 37.
11. Теория и практика производства доменного кокса высокого качества из трамбованных шихт пониженной спекаемости. / Е.Т. Ковалев, Ю.С. Васильев, В.М. Кузниченко, и др. // Углехимический журнал. – 2009. – № 3 – 4. – С. 24 – 30.
12. Браун Н.В. Полупромышленное испытания трамбованных шихт из донецких углей / Н.В. Браун, Ю.С. Васильев, В.М. Кузниченко // Кокс и химия. – 1988. – № 3. – С. 16 – 19.
13. Браун Н.В. Опытные промышленные коксования трамбованных шихт из донецких углей / Н.В. Браун, Ю.С. Васильев, В.М. Кузниченко // Кокс и химия. – 1988. – № 4. – С. 16 – 19.
14. Сытник А.В. Влияние технологических факторов на давление распирания насыпной и трамбований угольной шихты / А.В. Сытник, В.М. Кузниченко, И.В. Шульга // Кокс и химия. – 2012. – № 2. – С. 15 – 21.
15. Старовойт А.Г. Модернизированный аппарат для определения динамики давления распирания и пластических свойств углей и шихт / А.Г. Старовойт, А.С. Коверя // Кокс и химия. – 2008. – № 2. – С. 15 – 23.
16. Старовойт А.Г. Оценка механических свойств лабораторного кокса по показателям динамики давления распирания углей и их смесей / А.Г. Старовойт, А.С. Коверя // Кокс и химия. – 2008. – № 3. – С. 19 – 22.
17. Влияния связующего на процесс коксования трамбованной угольной шихты с улавливанием химических продуктов / Х.П. Тивари, П.К. Банерджи, Р. Шарма и др.// Кокс и химия. – 2014. – № 1. – С. 15 – 21.
18. Шарма Р. Получение кокса с высокой прочностью после взаимодействия с CO_2 коксованием трамбованной шихты / Р. Шарма, Х.П. Тивари, П.К. Бенерджи // Кокс и химия. – 2014. – № 9. – С. 25 – 32.
19. Кузниченко В.М. Технологические аспекты использования коксовой пыли УСТК в шихте для трамбования при производстве доменного кокса

/ В.М. Кузниченко, А.В. Сытник, С.С. Кубрак // Углехимический журнал. – 2015. – № 3 – 4. – С.32 – 36.

20. Первая промышленная коксовая батарея с установкой термической подготовки шихты Украины как способ повышения ресурсо- и энергоэффективности металлургической отрасли / Ю.С. Васильев, А.И. Гордиенко, Г.В. Долгарев и др. // Углехимический журнал. – 2010. – № 3 – 4. – С. 48 – 52.
21. Васильев Ю.С. Опыт промышленного использования термической подготовки угольной шихты перед коксованием/ Ю.С. Васильев, А.И. Гордиенко, Г.И. Долгарев // Кокс и химия. – 2008. – № 7. – С. 22 – 25.
22. Новости черной металлургии за рубежом. – 2007 – №1. – С. 15 – 18.
23. Справочник коксохимика. Т. 2. Производство кокса / под ред. А.Г. Старовойт, Ю.Е. Зингерман – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2014. – 728 с.
24. Опыт освоения и эксплуатации опытно-промышленной установки термической подготовки шихты на ОАО «Ясиновский коксохимический завод» / А.И. Гордиенко, В.А. Редин, Г.В. Долгарев и др. // Углехимический журнал. – 2008. – № 5 – 6. – С. 22 – 31.
25. О влиянии качества кокса, полученного из термоподготовленных шихт, содержащие слабоспекающиеся угли, на эффективность доменного процесса, использующего ПУТ / Ю.С. Васильев, А.И. Гордиенко, Г.В. Долгарев, и др. // Углехимический журнал. – 2008. – № 5 – 6. – С. 38 – 40.
26. Старовойт А.Г. Влияние различных способов термической подготовки углей и угольных шихт на качество кокса / А.Г. Старовойт, Е.И. Малый, М.С. Чемеринский // Углехимический журнал. – 2012. – № 1 – 2. –С. 9 – 14.
27. Пат. 94977 Україна, МПК[51] С 10 В 57/08. Спосіб термічної підготовки вугільної шихти до процесу коксування / А.Г. Старовойт, Е.І.Малий, М.С. Чемеринський; заявник і патентовласник Національна металургійна академія України. – заяв. 22.06.09, публ. 25.06.2011, Бюл. №12.

28. Старовойт А.Г. Исследование влияния микроволновых воздействий на термопластические свойства газовых углей / А.Г. Старовойт, Е.И. Малый, М.С. Чемеринский // Черная металургія. – 2009. – № 5. – С. 21 – 25.
29. Старовойт А.Г. Влияние содержания в шихте термически подготовленного в микроволновом поле газового угля на качество кокса / А.Г. Старовойт, Е.И. Малый, М.С. Чемеринский // Кокс и химия. – 2012. – № 12. – С. 8 – 12.
30. Влияние нефтяной коксующей добавки на качество каменноугольной шихты, кокса и смолы / И.И. Мельников, В.М. Крячук, Д.А. Мезин и др. // Кокс и химия. – 2011. – № 12. – С. 21 – 23.
31. Использование нефтяной коксующей добавки в качестве компонента шихты для коксования / Д.Ю. Дунцев, Д.Г. Зублев, В.М. Тристан и др. // Кокс и химия. – 2014. – № 8. – С. 13 – 16.
32. Исследование возможности использования «модифицированного» нефтяного кокса в качестве коксующей добавки к угольной шихте с целью повышения прочностных показателей металлургического кокса / С.Н. Соболева, М.И. Стуков, В.С. Загайнов и др. // Кокс и химия. – 2009. – № 8. – С. 12 – 15.
33. Гуляев В.М. Влияние добавок в шихту побочных продуктов коксохимического производства на качество кокса / В.М. Гуляев, В.Д. Барский, А.Г. Рудницкий // Кокс и химия. – 2011. – № 5. – С. 10 – 19.
34. Гуляев В.М. Влияние на качество кокса добавок в шихту побочных продуктов коксохимического производства / В.М. Гуляев, В.Д. Барский, А.Г. Рудницкий // Кокс и химия. – 2011. – № 7. – С. 2 – 11.
35. Особенности производства кокса из угольной шихты с участием органических добавок / В.И. Трифанов, П.Г. Горшков, А.Н. Беляничев, и др. // Кокс и химия. – 2007. – № 6. – С. 23 – 31.
36. Пат. 2039787 Российская Федерация, МПК С 10 В 57/06. Способ подготовки угольной шихты к коксованию / В.М.Гуляев, А.Ю.Мельничук, Л.И. Хиль; заявитель и патентообладатель Научно-производственное предприятие "Металлург"; Днепродзержинский индустриальный институт. – заяв. 01.06.1993, публ. 20.07.1995.

37. Зорин М.В. Влияние содержание в угольной шихте твердого продукта переработки нефти («добавки коксующей») на показатели реакционной способности CRI и прочности после реакции CSR получаемого кокса / М.В. Зорин, С.Г. Стахеев // Кокс и химия. – 2015. – № 9. – С. 24 – 27.
38. Повышение качества доменного кокса ОАО «Ясиновский КХЗ» путем введения в шихту углеводородных добавок / А.И. Гордиенко, А.Н. Бирченко, А.А. Шевченко и др. // Углехимический журнал. – 2008. – № 5 – 6. – С. 32 – 37.
39. Павлюк Ю.С. Исследования влияния некоторых минеральных и углеводородных добавок на пластическое состояние углей в процессе коксования: дисс. канд. техн. наук: – Днепропетровск, 1969. – 217с.
40. Мениович Б.И. Повышение эффективности процесса слоевого коксования / Б.И. Мениович, С.И. Пинчук, А.Г. Дюканов. – К.: Техника. – 1985. –230с.
41. Егоров В.М. Взаимодействие угля марки Г с красным шламом / В.М. Егоров, Е.Л. Сорокин //Углехимический журнал. – 2003. – № 1 – 2. – С. 6 – 7.
42. Получение высокопрочного кокса с высокой реакционной способностью добавлением в шихту сталеплавильного шлака / Чжан Сунь, Пэн Ли, Руй Го и др. // Кокс и химия. – 2014. – № 10. – С. 21 – 28.
43. Борисенко А.Л. Термическое обезвреживание в коксовых печах отходов коксохимических предприятий / А.Л. Борисенко // Углехимический журнал. – 2009. – № 5 – 6. – С. 59 – 69.
44. Парфенюк А.С. Крупномасштабная комплексная переработка твердых углеродистых промышленных и бытовых отходов / А.С. Парфенюк // Кокс и химия. – 2001. – № 5. – С. 41 – 43.
45. Fernandez A.M. Recycling tyre wastes as additives in industrial coal blends for cokemaking / A.M. Fernandez, C. Barriocanal, E. Diaz-Faes // Fuel Process. Technol. – 2015. – Vol. 132. – P. 173 – 179.
46. Рецикл техногенных отходов в коксохимическом производстве / Л.Б. Павлович, В.П. Долгополов, А.А. Попов и др. // Сталь. – 2004. – №5. – С. 120 – 121.

47. Гуляев В.М. Методы оценки спекающих добавок (аналитический обзор) / В.М. Гуляев, Д.А. Мучник // Углехимический журнал. – 2006. – № 5 – 6. – С.22 – 30.
48. Применение пневмосепарации при подготовке угольной шихты к коксованию / А.П. Фомин, В.М. Чучминов, А.М. Ивейхет и др. //Кокс и химия. – 1979. – № 3. – С. 10 – 13.
49. Бронштейн А.П. Влияние восстановленности и плотности витринитов метаморфического ряда на выход продуктов их термической деструкции / А.П. Бронштейн, Л.А. Бекетова, О.И. Супруненко // Кокс и химия. – 1988. – № 8. – С. 8 – 12.
50. Coal maceral chemistry. 1. Liquefaction behavior / J.T. Joseph, R.B. Fisher, C.A. Masin et al. // Energy and Fuels. – 1991. – № 5. – P. 724.
51. Gilfillan A. Prospects for Coal Science in the 21 th century / A. Gilfillan, E. Lester, M.Cloke // Proc. 10 th Intern. Conf. on Coal Science. Taiyan (P.R.China): Shanxi Sci. and Technol. Press. – 1999. – P. 291.
52. Фоменко Т.Г. Исследование углей на обогатимость: ученик для вузов / Т.Г. Фоменко, В.С. Бутовецкий, Е.М. Погарцева. – М.: Недра, – 1978. – 262с.
53. Прокопьева Т.Л. Влияние петрографического состава углей на их температурные свойства / Т.Л. Прокопьева, Н.Д. Русьянова, В.К. Попов // Кокс и химия. – 1988. – № 2. – С. 8.
54. Гагарин С.Г. Современные тенденции в обогащении углей (Обзор) / С.Г. Гагарин, А.М. Гюльмалиев, Ю.А. Толченкин // Кокс и химия. – 2008. – № 2. – С. 2 – 15.
55. Дебердеев И.Х. Практические меры к развитию обогащения углей, обеспечивающие высокую его результативность / И.Х. Дебердеев, М.В. Давыдов, Б.Ш. Сотников // Кокс и химия. – 2005. – № 11. – С. 5 – 10.
56. Калабухов М.Л. Эффективность обогащения углей в тяжелосредных гидроциклонах и другой обогатительной технике (Обзор) / М.Л. Калабухов // Кокс и химия. – 2003. – № 4. – С. 10 – 16.

57. An investigation of the vitrinitemaceral group in microlithotypes using density gradient separation methods / R. Gary, G.R. Dyrkacz, C.A.A. Bloomquistet al. // Energy and Fuels. – 1991. – №1. – P. 155 – 163.
58. Apex water injection for improved hydrocyclone classification efficiency / R.Q. Honaker, A.V. Ozsever, N. Singh et al. // Minerals Engineering – 2001. – P. 1445 – 1457.
59. Budge G., Review of the worldwide status of coal preparation technology / G. Budge, J. Brough, J. Knight // Report No. COAL R199. – L.: Crown, 2000. – 99 p.
60. Honaker R.Q. A fine coal cireuitry study using column flotation and gravity separation / R.Q. Honaker, S. Reed, K. Ho // Technical Report. – 1995. – 24 p.
61. Peatfield D.F. Coal and coal preparation in South Africa / D.F. Peatfield // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy – 2003 . – P. 355 – 372.
62. Гагарин С.Г. Взаимосвязь между определяемым петрографически содержанием минеральных компонентов в угле и показателем его зольности / С.Г. Гагарин //Кокс и химия. – 2008. – № 7. – С. 2 – 7.
63. О методе оценки петрографической обогатимости карагандинских углей / В.Д. Музычук, Л.К. Григоров, А.И. Ольферт и др. // ХТТ. – 1972. – №6. – С. 50 – 56.
64. Химия и петрология углей / И.И. Аммосов, Н.И. Назаров, Г.В. Харитонов и др. // Тр. ИГИ. – Т.8. – М.: Изд-во АН СССР. – 1959. – С. 51.
65. Боровец Т.М. Взаимосвязь классификационных параметров спекаемости каменных углей / Т.М. Боровец, С.Г. Гагарин // ХТТ. – 2002. – № 1. – С. 40 – 51.
66. Гагарин С.Г. Влияние полиассоциативности структуры органической массы угля на выход жидкоподвижных продуктов / С.Г. Гагарин, Т.Г. Гладун // ХТТ. – 1991. – № 4. – С. 24 – 32.
67. Камнева А.И. Петрография и физические свойства углей / А.И. Камнева, Я.М. Аммосова, Д.А. Цикарев. – М.: Недра, 1980. – 216 с.

68. Аммосов И.И. Химия и генезис твердых горючих ископаемых / И.И. Аммосов. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 295 с.

69. Гагарин С.Г. Расчет элементарного состава углей по их петрографическим характеристикам / С.Г. Гагарин // ХТТ. – 1997. – № 5. – С. 3 – 13.

70. Структурные характеристики углей разных бассейнов. 2. Структурные особенности инертинита разновосстановленных углей / В.С. Жданов, Н.Д. Русьянова, Е.Э. Мухамедзянова и др. // Кокс и химия. – 1992. – № 9. – С. 5 – 8.

71. Гагарин С.Г. Формы серы и азота в органической массе углей / С.Г. Гагарин // Кокс и химия. – 2003. – № 7. – С. 31 – 39.

72. Церр Г.Я. Коксуемость угольных фракций различных плотностей Карагандинского бассейна / Г.Я. Церр, А.Ю. Мельничук, И.М. Глущенко // ХТТ. – 1973. – №3. – С. 153 – 155.

73. Гагарин С.Г. Фракционирование углей по плотности для решения проблемы сырьевой базы коксования / С.Г. Гагарин //Кокс и химия. – 2010. – № 9. – С. 16 – 21.

74. Гагарин С.Г. Проблемы маркировки угольных смесей / С.Г. Гагарин, Т.М. Броновец //Кокс и химия. – 2003. – № 12. – С. 4 – 10.

75. Гагарин С.Г. Модификация марочной принадлежности углей при обогащении / С.Г. Гагарин, Т.М. Броновец //Кокс и химия. – 2005. – № 8. – С. 8 – 13.

76. Strezov V. Effect of pressure on the swelling of density separated coal particles / V. Strezov, J.A. Lucas, T.F. Wall // Fuel. – 2005. – № 10. – P. 1238 – 1245.

77. Jasienko S. Cjal Science and Tehnol/ S. Jasienko, L. Rog // Proc. 8 Intern. Conf. on Coal Science. Amsterdam: Elsevier Science B.V. – 1995. – Vol. 1. – P.262 – 265; 377 – 380.

78. Панчинко С.И. Микрокомпоненты, определяющие спекание углей / С.И. Панчинко, М.Е. Попова, О.П. Кожевникова // Технология коксования углей Востока СССР: Тр. ВУХИН. – Вып. 5. – Свердловск: Металлургиздат,1948. – С. 38 – 55.

79. Ереми И.В. Физико–химическая модель и эпр-спектроскопическое прогнозирование выбросоопасности углей / И.В. Ереми, С.Г. Гагарин // ХТТ. – 1998. – № 4. – С. 18 – 36.
80. Технологические аспекты реализации энергетического потенциала углей / С.Г. Гагарин, Г.С. Головин, А.М. Гюльмалиев и др. // ХТТ. – 2001. – № 2. – С. 14 – 24.
81. Gagarin S.G. The petrographic approach to coal liquefaction / S.G. Gagarin, A.A. Krichko // Fuel. – 1992. – Vol. 71. – № 7. – P. 785 – 791.
82. Дослідження технологій та сировинної буровугільної бази для отримання енерготехнологічних газів і рідкого палива (№ 0111U004892)/ Науково-дослідна робота: НМетАУ. – Дніпропетровськ. 2011. – 49 с.
83. Основи хімії і фізики горючих копалин / В.І.Саранчук, М.О.Ільяшов, В.В. Ошовський, В.С.Білецький–Донецьк: Східний видавничий дім, – 2008. – 640с.
84. Русьянова Н.Д. Углехимия / Н.Д. Русьянова – М.: Наука, 2003. – 316с.
85. Скляр М.Г. Химия твердых горючих ископаемых / М.Г. Скляр, Ю.Б. Тютюнников.– К.: Вища школа; Головное изд-во, 1985. – 247 с.
86. Бирюков Ю.В. Термическая деструкция спекающихся углей / Ю.В. Бирюков – М.: Металлургия, 1980. – 120с.
87. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Фізика і хімія горючих копалин» для студентів спеціальності 6.091605 / укл.: А.В Компанієць, А.С. Коверя. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2009. – 78 с.
88. Определение спекающей способности углей / М.Г. Скляр, Е.М. Солдатенко, В.М. Шмалько и др. // Кокс и химия. – 1984. – № 10. – С.8-10.
89. Пат. № 85624, МПК С10В 57/04 (2006.01). Склад вугільної шихти для одержання металургійного коксу / А.Г. Старовойт, Є.Л. Сорокін, Т.О. Кабак. // Заяв. 31.05.2013. публ. 25.11.2013. Бюл. № 22.
90. Скляр М.Г. Физико–химические основы спекания углей / М.Г.Скляр. – М.: Металлургия, – 1984. – 200 с.

91. Саранчук В.И. Структурные преобразования твердого остатка при пиролизе шихты для коксования // В.И. Саранчук, О.А. Чернова, Е.И. Збыковский // Науковіпраці Донецького національного технічного університету. Серія «Хімія і хімічна технологія». Вип. 119. – Донецьк: ТОВ «Лебідь». – 2007. – С. 152 – 157.

92. Бутузова Л.Ф. Изучение молекулярной и надмолекулярной структуры сернистых углей / Л.Ф. Бутузова, О.Н. Турчанина, Р.В. Маковский // Вісник Донецького національного університету. Серія «Природничі науки». Вип.2. – Донецьк: ТОВ.«Лебідь». – 2008. – С. 251 – 256.

93. Обуховский Я.М. Дилатометрияуглей, примененных для коксования / Я.М. Обуховский, А.М. Шейхет, П.Я. Гольдберг. – М.: Металлургия, 1967. – 180 с.

94. Кабак Т.А. Изучения свойств слабоспекающегося угля марки ДГ / Т.А. Кабак// Теория и практика металлургии. – 2013. – №3 – 4. – С.15 – 17.

95. Барский В.Д. Практический математико-статистический анализ в коксохимии / В.Д. Барский, Л.А. Качан. – М.: Металлургия, 1975. – 184с.

96. Пинчук С.И. Организация эксперимента при моделировании и оптимизации технических систем: учебное пособие. – Днепропетровск: ООО Независимая издательская организация «Дива», 2008. – 248 с.

97. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента в химической технологи / А.Г. Бондарь, Г.А. Статюха. – К.: Вища школа, 1976. – 124с.

98. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: Техніка, 1975. – 168с.

99. Пинчук С.И. Планирование эксперимента,основы научных исследований и организация эксперимента: конспект лекций для студентов специальностей: 7.090401, 7.090103. – Днепропетровск: НМетАУ, 2002. – 62с.

100. Грязнов Н.С. Основы теории коксования / Н.С. Грязнов – М.: Металлургия, 1976. – 312 с.

100. Циперович М.В. Обогащение углей в тяжелых средах / М.В.Циперович. – Свердловск: Металлург издат, 1959. – 422с.

101 Калабухов М.Л. Технология и техника обогащения углей в тяжелосредных сепараторах. Обзор / М.Л. Калабухов, И.П Потапов // Кокс и химия. – 2003. – № 6. – С.7-13.

102 Chikis N. The Australian Coal Review / N.Chikis, J.Davis // Associate News. – 1997. – № 4. – P.1 – 2.

103 Baille D. Three-Product larcodems separator demonstration? Installation and performance testing / D. Baille, C. Shah, A. Heley. – Luxembourg: Office for Official Publications, European Community, 1997.

104 Артемьев В.В. Петрография угля и его эффективное использование / В.В. Артемьев, И.В.Еремин, С.Г. Гагарин. –М.: Надракоммюник. ЛТД, 2000. – 334с.

ДОДАТКИ

Додаток А

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Генеральний директор ПрАТ
«Дніпровський КХЗ»
_____Є.В.Дідусь
«17» 04 2018р.

Дніпропетровська обл., м. Кам'янське
ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ДНІПРОВСЬКИЙ КОКСОХІМІЧНИЙ ЗАВОД» Код 05393085 УКРАЇНА

АКТ

Про результати проведення дослідно-промислового коксування шихти з участю вугільної фракції певної щільності на ПрАТ «Дніпровський КХЗ»

Мета дослідної роботи – вивчити вплив слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ, певної щільності, на якісні показники коксу, що дозволить розширити сировинну базу коксування, та отримати металургійний кокс з необхідними показниками.

Для проведення дослідження використовувалась виробнича шихта заводу до складу якої входила фракція слабкоспвкливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ щільністю 1,25-1,3г/см^3.

Для дослідно-промислового коксування було підготовлено три вугільні шихти: 1. Шихта середньозмінна; 2. Шихта середньозмінна з додаванням 10% фракції слабкоспікливого вугілля; 3. Шихта середньозмінна з додаванням 10% збагаченого слабкоспікливого вугілля. Технічний аналіз шихт представлено в таблиці 1, також в таблиці представлені данні по пластометричним показникам кожної дослідної шихти.

Таблиця 1

Технічний аналіз та пластометрія вугільних шихт, що досліджуються

№ шихти	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм	
	Ad	Vdaf	Sd	X	Y
1	8,6	28,4	1,76	26	13
2	7,5	28,9	1,89	31	18
3	8,2	28,0	2,01	28	15

Наступні дослідження проводили на установці NSC в процесі дослідження отримані кокси вивчали на показники реакційної здатності (CRI) та міцності коксу після реакції (CSR). Виконано три паралельні досліди, результати представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати дослідження коксу на показники CRI та CSR

№ шихти	CRI, %				CSR, %			
	1	2	3	Ср.	1	2	3	Ср.
1	79,5	78,1	80,1	79,6	26,2	26,1	25,8	26,0
2	49,5	49,7	50,4	49,9	14,5	14,9	15,5	15,7
3	42,8	43,0	44,0	43,3	33,2	33,9	35,5	34,2

Начальник ЦЗЛ В.В. Кавецька

Додаток Б

Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний університет імені Івана Франка
Вул. В. Бердичівська, 40,
м. Житомир, 10008
телефон /факс (0412) 43-14-17
E-mail: zu@zu.edu.ua Web: www.zu.edu.ua
код ЄДРПОУ 02125208

Ministry of Education and Science of Ukraine
Zhytomyr Ivan Franko State University
40, Velyka Berdychivska Str.,
City of Zhytomyr Ukraine, 10008
Tel/Fax (0412) 43-14-17
E-mail: zu@zu.edu.ua Web:www.zu.edu.ua
USREOU 02125208

Від 13.06.18 № 711

На № _____ від _____

АКТ

про впровадження матеріалів дисертаційного дослідження Кушнарьової Тетяни Олександрівни "Розробка технологічних способів застосування слабкоспікливого вугілля для розширення сировинної бази коксування " зі спеціальності 05.17.07 – хімічна технологія палива і паливно-мастильних матеріалів

У навчальний процес професійної підготовки майбутніх хіміків Житомирського державного університету імені Івана Франка у 2017-18 навчальному році були впроваджені лабораторні заняття з використанням матеріалів дисертаційного дослідження Кушнарьової Тетяни Олександрівни "Розробка технологічних способів застосування слабкоспікливого вугілля для розширення сировинної бази коксування". Впровадження в освітній процес вищого навчального закладу запропонованих автором лабораторних занять з навчальної дисципліни «Основи хімічної технології» для студентів спеціальності 102 Хімія забезпечило: зростання рівня засвоєння базових знань з навчальної дисципліни «Основи хімічної технології», розвиток вміння проводити технологічні операції для визначення параметрів палива, набуття студентами професійних компетентностей, щодо набуття майбутньої професії.

Матеріали дисертаційного дослідження є актуальними і можуть використовуватись у професійній підготовці майбутніх хіміків.

Результати апробації матеріалів дисертаційного дослідження Кушнарьової Тетяни Олександрівни "Розробка технологічних способів застосування слабкоспікливого вугілля для розширення сировинної бази коксування" були розглянуті на засіданні кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка, протокол № 10 від 30 травня 2018 р.

Завідувач кафедри хімії В. В. Чумак

Проректор з наукової і міжнародної роботи Н. А. Сейко

Додаток В

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
В.о. ректора ДВНЗ УДХТУ
Голеус В.І.

ДОВІДКА
про впровадження матеріалів дисертаційної роботи Кушнарьової Т.О «Розробка технологічних способів застосування слабкоспікливого вугілля для розширення сировинної бази коксування» в практику навчального процесу ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

В дисертаційній роботі Кушнарьової Тетяни Олександрівни запропоновано нове вирішення наукового завдання, щодо розширення сировинної бази коксування шляхом зміни властивостей слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля марки ДГ та виділення окремих компонентів різних за густиною.

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи Кушнарьової Т.О. впроваджено в навчальний процес кафедри хімічної технології палива ДВНЗ УДХТУ. Теоретичні та експериментальні результати, які отримані в результаті досліджень, використані курсах лекцій, практичних і лабораторних заняттях з дисципліни «Технологія переробки горючих копалин», «Сучасні методи переробки альтернативних палив», «Фізика та хімія твердих горючих копалин».

Результати досліджень Кушнарьової Т.О., які приведені в дисертаційній роботі, мають практичну значимість при підготовці студентів за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Начальник навчально-наукового центру — Р.В. Смотраев

Декан факультету технології високомолекулярних сполук д.т.н., професор — В.І. Овчаров

Завідувач кафедри хімічної технології палива д.х.н., професор — Л.О.Сніжко

Додаток Г

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Перший проректор
НМетАУ
В.П. Іващенко
"14" 02 2018 р.

АКТ

про використання результатів, що містяться у дисертаційної роботи Кушнарьової Тетяни Олександрівни " Розробка технологічних способів застосування слабкоспікливого вугілля для розширення сировинної бази коксування ".

Матеріали дисертаційної роботи Кушнарьової Тетяни Олександрівни "Розробка технологічних способів застосування слабкоспікливого вугілля для розширення сировинної бази коксування " використовуються в навчальному процесі викладачами кафедри металургійного палива та вогнетривів Національної металургійної академії України.

Декан металургійного факультету
НМетАУ Камкіна Л.В.

Додаток Д

Перелік опублікованих разом зі співавторами наукових робіт по темі дисертації і конкретний особистий внесок здобувача

1. Старовойт А.Г. Иследование температурных интервалов взаимодействия угольной и рудной составляющих / А.Г. Старовойт, Е.Л. Сорокин, Т.А. Кабак // Углехимический журнал. – 2012. – №1-2. С. 63 – 66. *Дисертант приймав участь при обґрунтуванні та оформлені висновків.*

2. Старовойт А.Г. Изучение кинетики взаимодействия рудной и угольной составляющей при их совместном нагревании / А.Г. Старовойт, Е.Л. Сорокин, Т.А. Кабак, Я.В. Фролов, А.С. Ермакова // Теория и практика металлургии. – 2012. – № 3, С. 62 – 65. *Дисертантом проведено аналіз літературних та електронних інформаційних.*

3. Сорокин Е.Л. Модификация реакционной способности кокса для недоменного производства / Е.Л. Сорокин, Т.А. Кабак, М.О. Загородня // Углехимический журнал. – 2013.- № 1-2. С. 34 – 37. *Дисертант приймав участь при обґрунтуванні та оформлені висновків.*

4. Кабак, Т.А. Изучения свойств слабоспекающегося угля марки ДГ / Татьяна Александровна Кабак // Теория и практика металлургии. – 2013. – №3 – 4. – С.15 – 17. *Дисертантом зроблено вибір об'єкта дослідження та проведено аналіз дослідження.*

5. Kushnareva T.A. Clinkering Properties of Individual Fractions of Enriched Poorly Clinkering Coal / T.A. Kushnareva, E.L. Sorokin // Coke and Chemistry, 2018, Vol. 61, No. 2 , pp. 38 – 41. *Дисертант проводив експериментальні дослідження та провів обробку отриманих результатів.*

6. Пат.UA 85624 Україна. Склад вугільної шихти для одержання металургійного коксу / А.Г. Старовойт, Є.Л. Сорокін, Т.О. Кабак //. Опуб.

2013. Бюл. № 22. *Дисертант провів дослідження та визначив основні фактори взаємодії вугільних компонентів між собою під час коксування.*

7. Старовойт А.Г. Дослідження властивостей низькометаморфізованого слапкоспіклівого вугілля / А.Г. Старовойт, Є.Л. Сорокін, Т.О. Кабак // Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості: VI міжнар. наук.-техн. конф. Студентів, аспірантів та молодих вчених, 25-28 квітня 2012 р.: тези доповідей. – Львів, НУ «Львівська політехніка», 2012. – С.168. *Дисертант провів дослідження та брав участь в оформлені цілей та висновків.*

8. Старовойт А.Г. Изменение свойств угольных фракций слабоспекающегося угля / А.Г. Старовойт, Є.Л. Сорокин, Т.А. Кабак // XXXIX Міжнародна науково-технічна конференція молоді ВАТ «Запоріжсталь» 2013, 5 – 6 грудня 2013 р. Тези доповідей – Запоріжжя, 2013. – С. 13 *Дисертант провів експериментальні дослідження та брав участь у оформлені доповіді.*

9. Кушнарева Т.А. Изучение возможности использования слабоспекающегося угля в шихте для коксования / Т.А. Кушнарева, Є.Л. Сорокин // IX Українська наукова конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Хімічна проблема сьогодення» 29 – 30 березня 2016 р. Тези доповідей – Вінниця, 2016. – С. 194. *Дисертант провів дослідження та підготував доповідь.*

10. Кушнарева Т.А. Разработка метода расширения сырьевой бази коксования / Т.А. Кушнарева, Є.Л. Сорокин // X Українська наукова конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Хімічна проблема сьогодення» 27-29 березня 2017 р. Тези доповідей. – Вінниця, 2017. – С. 204. *Дисертант провів дослідження та підготував доповідь.*

11. Кушнарева Т.А. Вивчення структурних фрагментів фракцій слабко спікливого вугілля різної щільності / Т.А. Кушнарева, Є.Л. Сорокин // II Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи» 16 травня 2018 р. Тези доповідей. – Житомир, 2018. – С. 282 – 283. *Дисертантом зроблено доповідь.*