

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

МИРОШНИЧЕНКО ІГОР ВОЛОДИМИРОВИЧ

Прим. № \_\_\_\_\_  
УДК 622.749.39

ДИСЕРТАЦІЯ  
ВПЛИВ СИРОВИННИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТЕПЛОТУ  
ЗГОРЯННЯ КОКСУ

161 «Хімічні технології та інженерія»

16 «Хімічна та біоінженерія»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 І.В. Мирошніченко

Науковий керівник: Мірошніченко Денис Вікторович, д.т.н., проф.

Харків 2021

*Додатково за змістом  
з першим прикладом  
дисертації засвідчує  
Віце-секретар  
проф. Зяковоротний О.М.  
03.03.2021*



## АНОТАЦІЯ

**Мирошниченко І.В. Вплив сировинних та технологічних факторів на теплоту згоряння коксу. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – хімічні технології та інженерія (16 – хімічна та біоінженерія). Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерство освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертаційна робота направлена на розвиток наукових основ і уявлень щодо впливу комплексу факторів виробництва коксу на величину його теплоти згоряння.

Об'єкт дослідження – процес формування теплоти згоряння доменного коксу під впливом сировинних та технологічних факторів його виробництва.

Предмет дослідження – вугільні концентрати, вугільні шихти, доменний кокс, схема підготовки та умови коксування вугільних шихт, післяпічна обробка доменного коксу.

У дисертаційній роботі на підставі розвитку наукових уявлень щодо впливу сировинних та технологічних факторів виробництва коксу на величину його найвищої теплоти згоряння вирішено важливе науково-технічне завдання, яке характеризується науковою новизною і має практичну цінність, а саме – розроблено науково-обґрунтовані рекомендації щодо керування величиною найвищої теплоти згоряння коксу.

Дослідження здійснені за допомогою теоретичних та емпіричних методів досліджень. Серед теоретичних методів застосовувався системний аналіз і синтез, узагальнення, формалізація, класифікація, аналогія. В експериментальній частині роботи використані сучасні стандартизовані методи визначення властивостей

вугілля – ситовий, технічний ( $W^r_t, W^a, A^d, S^d_t, V^{daf}$ ), пластометричний ( $x, y$ ), петрографічний ( $R_0, Vt, Sv, I, L$ , рефлектограма вітриніту) і елементний ( $C^{daf}, H^{daf}, N^{daf}, S^d_t, O^{daf}$ ) аналізи. Крім того, визначали тиск розпирання та насипну густину вугілля та шихт.

Для визначення показника окиснення вугілля і шихт використовували ДСТУ 7611:2014 «Вугілля кам'яне. Метод визначення окиснення і ступеня окиснення». Якість отриманого коксу оцінювали методами ситового, технічного аналізу ( $W^r_t, W^a, A^d, S^d_t, V^{daf}$ ), елементного ( $C^{daf}, H^{daf}, N^{daf}, S^d_t, O^{daf}$ ) та калориметричного ( $Q^{daf}_s, Q^r_i$ ) аналізів, визначали його дійсну та уявну густину, поруватість, абразивну твердість за Гінзбуром та структурну міцність за Грязновим, мікроструктуру (співвідношення анізотропної і ізотропної текстури), реакційну здатність, а також механічну і післяреакційну міцність. Статистичний аналіз отриманих результатів і розробка математичних рівнянь виконувалася за допомогою ліцензійної комп'ютерної програми Microsoft Excel.

У вступі обґрунтована актуальність задач дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульована мета та основні задачі, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, відзначена апробація результатів роботи.

В першому розділі здійснений аналітичний огляд джерел інформації. Розглянута актуальність теми на рівні не тільки країни, а й закордонних шкіл.

Встановлено, що виробництво чавуну має найбільший потенціал енергозбереження в чорній металургії, а процеси в доменних печах і в коксовому виробництві. Показано відсутність навіть факультативних вимог до величини теплоти згоряння виробленого українськими та іноземними підприємствами доменного коксу.

Наявні рівняння для розрахунку теплоти згоряння рідкого і твердого палива не дозволяють з достатньою точністю прогнозувати теплоту згоряння доменного коксу.

Через нестачу наукових результатів в області впливу сировинних і технологічних факторів виробництва коксу на величину його теплоти згоряння, в даний час відсутні технічно обґрунтовані технологічні прийоми її підвищення, що обумовлює необхідність проведення подальших досліджень в цьому напрямку.

У другому розділі охарактеризовано необхідний і достатній набір інструментальних, переважно, стандартизованих методів дослідження складу і властивостей вугілля та коксу. Крім того, ретельно розглянуті основні методи оцінки властивостей вугілля та коксу, використані в дисертаційній роботі, зокрема найвищої теплоти згоряння на сухий беззольний стан згідно ДСТУ ISO 1928:2006 «Палива тверді мінеральні. Визначення найвищої теплоти згоряння методом спалювання в калориметричній бомбі та обчислення найнижчої теплоти згоряння», а також лабораторний метод визначення виходу та якості коксу в 5-кг печі конструкції ДП «УХІН».

У третьому розділі досліджували вплив показників якості вугільної шихти на теплоту згоряння коксу.

Встановлено, що максимальна величина найвищої теплоти згоряння доменного коксу досягається при коксуванні вугільних шихт (незалежно від величини їх насипної густини), що характеризуються наступним набором показників якості:  $R_0=0,91-0,94$  %;  $V^{daf}=30,5-31,0$  %;  $C^{daf}=83,80-83,83$  %;  $H^{daf}=5,01-5,02$  %;  $O_d^{daf}=8,42-8,45$  %.

Підвищення вмісту газового вугілля з 30 до 50 % призведе до підвищення теплоти згоряння доменного коксу з 32,56 до 32,88 МДж/кг при коксуванні навалної шихти та з 32,61 до 32,93 МДж/кг при коксуванні трамбованої шихти. Подальше зростання вмісту газового вугілля у шихті призведе до зниження теплоти згоряння коксу до 32,79 та 32,87 МДж/кг відповідно.

У четвертому розділі досліджували вплив способу підготовки вугілля до коксування на теплоту згоряння коксу.

Доведено, що при збільшенні термінів зберігання використовуваних для отримання доменного коксу вугільних концентратів відбувається зниження величин його дійсної та уявної густини, а також зростання поруватості. Крім того, відбувається підвищення вмісту менш впорядкованої ізотропної структури і, відповідно, зниження більш упорядкованої анізотропної структури коксу. Графічно та математично показано вплив цих показників на теплоту згорання доменного коксу.

Збільшення вмісту класу 0–3 мм у вугільній шихті з 77 до 83 % призводить до зниження вищої теплоти згорання коксу з 32,24 до 32,20 МДж/кг, тобто збільшення вмісту класу 0–3 мм на 1 % призводить до зниження величини вищої теплоти згорання коксу в середньому на 0,0067 МДж/кг.

Збільшення насипної густини вугільних шихт, що характеризуються однаковим набором показників якості, з 800 до 1150 кг/м<sup>3</sup>, призводить до зростання найвищої теплоти згорання доменного коксу на 0,05–0,12 МДж/кг.

У п'ятому розділі досліджували вплив умов коксування та способу гасіння на теплоту згорання коксу.

Встановлено, що збільшення кінцевої температури коксування на 10 °С призводить до зниження величини теплоти згорання коксу в середньому на 0,037 МДж/кг, а підвищення швидкості коксування на 1 мм/год підвищує величину теплоти згорання коксу в середньому на 0,0493 МДж/кг.

Максимальним рівнем найвищої теплоти згорання незалежно від способу його гасіння, характеризується кокс крупністю більше 25 мм, а мінімальним – кокс крупністю менше 10 мм.

Рівень «готовності» коксу, виражений величинами виходу летких речовин і дійсної густини, значно впливає на величину найвищої теплоти згорання. Менш «готовий» доменний кокс характеризується більшими значеннями найвищої теплоти згорання його класів крупності.

Використання сухого гасіння призводить до збільшення найвищої теплоти згоряння коксу, зокрема, збільшення частки коксу сухого гасіння на 1 % призводить до збільшення теплоти згоряння різних класів крупності коксу на 0,0056–0,0087 МДж/кг.

Найбільшим рівнем значення найвищої теплоти згоряння характеризується коксовий пил УСГК – високіпіролізований матеріал з максимальним вмістом вуглецю, мінімальними зольністю, вмістом летких речовин і вмістом кисню.

Значення найвищої теплоти згоряння доменного коксу може служити критерієм оцінки ступеня «готовності» доменного коксу (на додаток до вже наявних).

У шостому розділі були розроблені рекомендації щодо підвищення теплоти згоряння коксу, а також виконана техніко-економічна оцінка роботи.

Найвища теплота згоряння є, значною мірою, керованим технологічним показником якості коксу. Способи її підвищення повинні базуватися на оптимізації наступних значущих чинників: показники елементного та петрографічного складу, а також вихід летких речовин з шихти з урахуванням процесів окиснення, гранулометричний склад і насипна густина завантаження в камері коксування, рівень температур в опалювальній системі, швидкість, період і кінцева температура коксування, спосіб гасіння і розміри часток коксу.

Розраховано, що підвищення теплоти згоряння коксу на 0,33 МДж/кг, внаслідок впровадження розроблених у дисертації рекомендацій, призведе до економії 1800 т коксу на 1 млн. т заліза, або 6,48 грн/т заліза.

**Ключові слова:** вугілля, кокс, теплота згоряння, підготовка та коксування вугільної шихти, після пічна обробка коксу.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

– у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку/або Європейського Союзу, з наукового напрямку, за яким підготовлено дисертацію здобувача:

1. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaeva Y.S., Pereima V.V. Calorific value of Coke. 1. Prediction. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62 (4). P. 143–149.

2. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaeva Y.S. Calorific value of Coke. 2. Influence of the Packing Density of the Coal Batch. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62 (6). P. 234–239.

3. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaeva Y.S., Calorific value of Coke. 3. Influence of Coal Storage. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62 (12). P. 556–564.

4. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaeva Y.S., Tsygankov A.V. Calorific value of Coke. 4. Size Distribution. *Coke and Chemistry*. 2020. Vol. 63 (3). P. 120–125.

5. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaeva Y.S. Calorific value of Coke. 5. Quenching Method. *Coke and Chemistry*. 2020. Vol. 63 (4). P. 178–183.

6. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V. Calorific value of Coke. 6. Increasing the calorific value. *Coke and Chemistry*. 2020. Vol. 63 (8). P. 20–30.

7. Shulga I.V., Ryschenko I.M., Miroshnichenko D.V. Moisture Content of Wet-Quenched Coke. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62 (9). P. 402–407.

– статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

8. Ніколайчук Ю.В., Мірошніченко Д.В., Кафтан Ю.С., Мірошніченко І.В. Експресні методи визначення якості вугілля. *Вуглехімічний журнал*. 2018. №1. С. 26–35.

9. Мірошніченко І.В., Мірошніченко Д.В., Шульга І.В., Балаєва Я.С. Прогноз теплоти згорання коксу. *Вуглехімічний журнал*. 2020. №2. С. 11–21.

10. Мірошніченко І.В., Мірошніченко Д.В., Шульга І.В., Ніколайчук Ю.В. Вплив насипної густини вугільної шихти на теплоту згорання коксу. *Вуглехімічний журнал*. 2020. №6. С. 4–12.

– тези доповідей:

11. Miroshnichenko Denis, Miroshnichenko Igor. The influence of the bulk density of the coal blend on the gross calorific value of blast furnace coke. 2<sup>nd</sup> International Scientific Conference «Chemical Technology and Engineering». Proceedings. Ukraine, Lviv, June 24–28<sup>th</sup>, 2019. P. 96–97.

12. Мірошніченко І.В., Мірошніченко Д.В., Шульга І.В., Балаєва Я.С. Пути підвищення теплоти сгорання доменного кокса. Збірка наукових праць XV Міжнародна науково-практична конференція «Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку». 1–2 жовтня 2019 р. С. 12–14.

13. Мірошніченко Д.В., Шульга І.В., Балаєва Я.С., Терещенко О.О. Прогноз теплоти згорання доменного коксу. Технологія-2019: Матеріали XXII міжнародної науково-технічної конференції 26–27 квітня 2019 року м. Сєвєродонецьк. Частина I. С. 32.

14. Мірошніченко Д.В., Мірошніченко І.В., Шульга І.В., Балаєва Я.С., Терещенко О.О. Теплота згорання доменного коксу. Фактори впливу. Сучасні технології переробки паливних копалин: тези доповідей II Міжнародної науково-технічної конференції, 18–19 квітня 2019 р. / укл. Мірошніченко Д.В.–Харків, НТУ «ХП». С. 37–38.

15. Мірошніченко Д.В., Мірошніченко І.В., Шульга І.В., Балаєва Я.С., Терещенко О.О. Дослідження впливу сировинних та технологічних чинників на



теплоту згоряння доменного коксу. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15–17 травня 2019 р.: у 4 ч. Ч.ІІ/за ред. проф. Сокола Є.І.–Харків: НТУ «ХПІ».–400 с. С.299.

16. Мирошниченко І.В., Мирошниченко Д.В., Шульга І.В., Балаєва Я.С. Теплота згоряння коксу. Сучасні технології переробки паливних копалин: тези доповідей III Міжнародної науково-технічної конференції, 16–17 квітня 2020 р. / укл. Мирошниченко Д.В.–Харків, ТОВ «Планета-Прінт». – 84 с. С. 29–30.

17. Мирошниченко Ігор, Мирошниченко Денис, Шульга Ігор. Підвищення теплоти згоряння доменного коксу. X Міжнародна науково-технічна конференція «Поступ в нафто-газопереробній та нафтохімічній промисловості»: матеріали конференції. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020.–384 с. С.240.

18. Мирошниченко І.В., Мирошниченко Д.В., Шульга І.В. Розподіл теплоти згоряння за класами крупності коксу. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020, 28–30 жовтня 2020 р.: у 5 ч. Ч.ІІ/за ред. проф. Сокола Є.І.–Харків: НТУ «ХПІ». – 376 с. С. 238.

– *патенти*:

19. Мирошниченко Д.В., Мирошниченко І.В., Шульга І.В., Балаєва Я.С., Богоявленська О.В. Патент України на корисну модель № 144109. Спосіб отримання коксу. Опубліковано 10.09.2020. – бюл.№17.

20. Мирошниченко Д.В., Мирошниченко І.В., Шульга І.В., Балаєва Я.С., Богоявленська О.В. Патент України на корисну модель № 144110. Спосіб отримання коксу. Опубліковано 10.09.2020. – бюл.№17.

## SUMMARY

**Myroshnychenko I.V. Influence of raw materials and technological factors on the calorific value of coke. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.**

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 161 – chemical technologies and engineering (16 – chemical and bioengineering). National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation work is directed on development of scientific bases and representations concerning influence of a complex of factors of production of coke on size of its heat of combustion.

The object of research – the process of forming the heat of combustion of blast furnace coke under the influence of raw materials and technological factors of its production.

The subject of research – coal concentrates, coal charge, blast furnace coke, the scheme of preparation and conditions of coking of coal charge, post-furnace processing of blast furnace coke.

In the dissertation work on the basis of development of scientific ideas on influence of raw materials and technological factors of coke production on size of its highest heat of combustion the important scientific and technical problem which is characterized by scientific novelty and has practical value is solved, namely – scientifically proved recommendations on management of the highest heat of coke combustion.

The research was carried out using theoretical and empirical research methods. Among the theoretical methods used system analysis and synthesis, generalization, formalization, classification, analogy. In the experimental part of the work used modern standardized methods for determining the properties of coal – sieve, proximate ( $W_t^r$ ,  $W^a$ ,

$A^d$ ,  $S_t^d$ ,  $V^{daf}$ ), plastometric ( $x$ ,  $y$ ), petrographic ( $R_0$ ,  $V_t$ ,  $S_v$ ,  $I$ ,  $L$ , reflectogram vitrinite) and ultimate ( $C^{daf}$ ,  $H^{daf}$ ,  $N^{daf}$ ,  $S_t^d$ ,  $O^{daf}$ ) analyzes. In addition, the expansion pressure and bulk density of coal and charge were determined.

To determine the oxidation of coal and charges used DSTU 7611:2014 “Coal. The method of determining the oxidation and the degree of oxidation”.

The quality of the obtained coke was evaluated by sieve, proximate ( $W_t^r$ ,  $W^a$ ,  $A^d$ ,  $S_t^d$ ,  $V^{daf}$ ), ultimate ( $C^{daf}$ ,  $H^{daf}$ ,  $N^{daf}$ ,  $S_t^d$ ,  $O^{daf}$ ) and calorimetric ( $Q_s^{daf}$ ,  $Q_i^r$ ) analyzes, determined its real and apparent density, porosity, Ginsbourg abrasive hardness and Gryaznov structural strength, microstructure (ratio of anisotropic and isotropic texture), reactivity, as well as mechanical and post-reaction strength. Statistical analysis of the results and development of mathematical equations was performed using a licensed computer program Microsoft Excel.

The introduction substantiates the relevance of the research tasks, shows the connection of work with scientific programs, plans, topics, formulates the purpose and main task, presents the scientific novelty and practical significance of the results, determines the personal contribution of the applicant, noted approbation of work results.

The first section provides an analytical review of information sources. The urgency of the topic at the level not only of the country but also of foreign schools is considered.

It is established that the production of pig iron has the greatest energy saving potential in ferrous metallurgy, and the processes in blast furnaces and coke production. The absence of even optional requirements for the heat of combustion of blast furnace coke produced by Ukrainian and foreign enterprises is shown.

The available equations for calculating the heat of combustion of liquid and solid fuels do not allow to predict with sufficient accuracy the heat of combustion of blast furnace coke.

Due to the lack of scientific results in the field of influence of raw materials and technological factors of coke production on the value of its heat of combustion, there are

currently no technically sound technological methods to increase it, which necessitates further research in this direction.

The second section describes the necessary and sufficient set of instrumental, mostly standardized methods for studying the composition and properties of coal and coke. In addition, the main methods of evaluating the properties of coal and coke used in the dissertation, in particular the highest heat of combustion for dry ashless according to DSTU ISO 1928:2006 "Solid mineral fuels. Determination of the maximum heat of combustion by the method of combustion in a calorimetric bomb and calculation of the lowest heat of combustion", as well as a laboratory method for determining the yield and quality of coke in a 5-kg furnace design SE "UKHIN".

In the third section, the influence of coal charge quality indicators on the heat of combustion of coke was investigated.

It is established that the maximum value of the highest heat of combustion of blast furnace coke is achieved when coking coal charges (regardless of the value of their bulk density), which are characterized by the following set of quality indicators:  $R_0=0.91-0.94\%$ ;  $V^{\text{daf}}=30.5-31.0\%$ ;  $C^{\text{daf}}=83.80-83.83\%$ ;  $H^{\text{daf}}=5.01-5.02\%$ ;  $O_d^{\text{daf}}=8.42-8.45\%$ .

Increasing the gas coal content from 30 to 50% leads to an increase in the heat of combustion of blast furnace coke from 32.56 to 32.88 MJ/kg when coking the bulk charge and from 32.61 to 32.93 MJ/kg when coking the compacted charge. Further increase in the content of gas coal in the charge leads to a decrease in the heat of combustion of coke to 32.79 and 32.87 MJ/kg, respectively.

The fourth section investigated the effect of the method of preparation of coal for coking on the heat of combustion of coke.

It is proved that when the shelf life of coal concentrates used to obtain blast furnace coke increases, the values of its real and imaginary density decrease, as well as the increase in porosity. In addition, there is an increase in the content of less ordered isotropic structure and, accordingly, a decrease in more ordered anisotropic structure of

coke. The influence of these indicators on the heat of combustion of blast furnace coke is shown graphically and mathematically.

Increasing the content of class 0–3 mm in the coal charge from 77 to 83% leads to a decrease in the higher heat of combustion of coke from 32.24 to 32.20 MJ/kg, i.e. increasing the content of class 0–3 mm by 1% leads to a decrease in the value of higher heat of combustion of coke on average by 0.0067 MJ/kg.

Increasing the bulk density of coal charge, characterized by the same set of quality indicators, from 800 to 1150 kg/m<sup>3</sup>, leads to an increase in the highest heat of combustion of blast furnace coke by 0.05–0.12 MJ/kg.

The fifth section examines the effect of coking conditions and quenching methods on the heat of combustion of coke.

It was found that increasing the final coking temperature by 10 °C reduces the heat of combustion of coke by an average of 0.037 MJ/kg, and increasing the rate of coking by 1 mm/h increases the heat of combustion of coke by an average of 0.0493 MJ/kg.

The maximum level of the highest heat of combustion, regardless of the method of its extinguishing, is characterized by coke with a size of more than 25 mm, and the minimum – coke with a size of less than 10 mm.

The level of "readiness" of coke, expressed by the values of volatile matter yield and actual density, significantly affects the value of the highest heat of combustion. Less "finished" blast furnace coke is characterized by higher values of the highest heat of combustion of its size classes.

The use of dry quenching leads to an increase in the highest heat of combustion of coke, in particular, an increase in the share of dry quenching coke by 1% leads to an increase in the heat of combustion of different coke size classes by 0.0056–0.0087 MJ/kg

The highest level of the highest heat of combustion is characterized by coke dust USGK – highly pyrolyzed material with maximum carbon content, minimum ash content, volatile matter content and oxygen content.

The value of the highest heat of combustion of blast furnace coke can serve as a criterion for assessing the degree of "readiness" of blast furnace coke (in addition to existing ones).

In the sixth section, recommendations for increasing the heat of combustion of coke were developed, as well as a technical and economic evaluation of the work.

The highest heat of combustion is, to a large extent, a controlled technological indicator of coke quality. Methods of its increase should be based on optimization of the following important factors: indicators of elemental and petrographic composition, as well as the yield of volatile substances from the charge taking into account oxidation processes, particle size distribution and bulk loading density in the coking chamber, temperature in the heating system, speed, period and final coking temperature, method of quenching and particle size of coke.

It is estimated that increasing the heat of combustion of coke by 0.33 MJ/kg, due to the implementation of the recommendations developed in the dissertation, will save 1800 tons of coke per 1 million tons of iron, or 6.48 UAH/ton of iron.

**Key words:** coal, coke, heat of combustion, preparation and coking of coal charge, after furnace processing of coke.

#### LIST OF THE APPLICANT'S PUBLICATIONS

– *in periodicals of other states that are members of the Organization for Economic Cooperation and Development and / or the European Union, in the scientific field for which the applicant's dissertation was prepared:*

1. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaeva Y.S., Pereima V.V. Calorific value of Coke. 1. Prediction. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62 (4). P. 143–149.

2. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaeva Y.S. Calorific value of Coke. 2. Influence of the Packing Density of the Coal Batch. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62 (6). P. 234–239.

3. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaeva Y.S., Calorific value of Coke. 3. Influence of Coal Storage. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62 (12). P. 556–564.

4. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaeva Y.S., Tsygankov A.V. Calorific value of Coke. 4. Size Distribution. *Coke and Chemistry*. 2020. Vol. 63 (3). P. 120–125.

5. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaeva Y.S. Calorific value of Coke. 5. Quenching Method. *Coke and Chemistry*. 2020. Vol. 63 (4). P. 178–183.

6. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V. Calorific value of Coke. 6. Increasing the calorific value. *Coke and Chemistry*. 2020. Vol. 63 (8). P. 20–30.

7. Shulga I.V., Ryschenko I.M., Miroshnichenko D.V. Moisture Content of Wet-Quenched Coke. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62 (9). P. 402–407.

– *articles in scientific publications included in the list of scientific professional publications of Ukraine:*

8. Nikolaichuk Yu.V., Miroshnichenko D.V., Kaftan Yu.S., Miroshnichenko I.V. Ekspresni metody vyznachennia yakosti vuhillia. *Vuhlekhimichnyi zhurnal*. 2018. №1. S. 26–35.

9. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaieva Ya.S. Prohnoz teploty zghoriannia koksu. *Vuhlekhimichnyi zhurnal*. 2020. №2. S. 11–21.

10. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Nikolaichuk Yu.V. Vplyv nasypnoi hustyny vuhilnoi shykhty na teplotu zghoriannia koksu. *Vuhlekhimichnyi zhurnal*. 2020. №6. C. 4–12.

– *abstracts:*

11. Miroshnichenko Denis, Miroshnichenko Igor. The influence of the bulk density of the coal blend on the gross calorific value of blast furnace coke. 2<sup>nd</sup>

International Scientific Conference «Chemical Technology and Engineering». Proceedings. Ukraine, Lviv, June 24–28<sup>th</sup>, 2019. P. 96–97.

12. Miroshnichenko Y.V., Myroshnichenko D.V., Shulga Y.V., Balaeva Ya.S. Puty povishenyia teploti shoranyia domennoho koksa. Zbirka naukovykh prats XV Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Vuhilna teploenerhetyka: shliakhy rekonstruktsii ta rozvytku». 1–2 zhovtnia 2019 r. S. 12–14.

13. Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaieva Ya.S., Tereshchenko O.O. Prohnoz teploty zghoriannia domennoho koksu. Tekhnolohiia-2019: Materialy XXII mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii 26–27 kvitnia 2019 roku m. Sievierodonetsk. Chastyna I. S. 32.

14. Miroshnichenko D.V., Miroshnichenko I.V., Shulga I.V., Balaieva Ya.S., Tereshchenko O.O. Teplota zghoriannia domennoho koksu. Faktory vplyvu. Suchasni tekhnolohii pererobky palnykh kopalyn: tezy dopovidei II Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 18–19 kvitnia 2019 r. / ukl. Miroshnichenko D.V.–Kharkiv, NTU «KhPI». S. 37–38.

15. Miroshnichenko D.V., Miroshnichenko I.V., Shulga I.V., Balaieva Ya.S., Tereshchenko O.O. Doslidzhennia vplyvu syrovynnykh ta tekhnolohichnykh chynnykiv na teplotu zghoriannia domennoho koksu. Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: tezy dopovidei XXVII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MicroCAD-2019, 15–17 travnia 2019 r.: u 4 ch. Ch.II/za red. prof. Sokola Ye.I.–Kharkiv: NTU «KhPI».–400 s. S.299.

16. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V., Balaieva Ya.S. Teplota zghoriannia koksu. Suchasni tekhnolohii pererobky palnykh kopalyn: tezy dopovidei III Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 16–17 kvitnia 2020 r. / ukl. Miroshnichenko D.V.–Kharkiv, TOV «Planeta-Print». – 84 s. S. 29–30.

17. Miroshnichenko Ihor, Miroshnichenko Denis, Shulga Ihor. Pidvyshchennia teploty zghoriannia domennoho koksu. X Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia «Postup v nafto-hazopererobnii ta naftokhimichnii promyslovosti»:



materialy konferentsii. – Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 2020.–384 s. S.240.

18. Miroshnichenko I.V., Miroshnichenko D.V., Shulga I.V. Rozpodil teploty zghoriannia za klasamy krupnosti koksu. Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: tezy dopovidei XXVIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MicroCAD-2020, 28–30 zhovtnia 2020 r.: u 5 ch. Ch.II/za red. prof. Sokola Ye.I.–Kharkiv: NTU «KhPI». – 376 s. S. 238.

– *patents:*

19. Miroshnichenko D.V., Miroshnichenko I.V., Shulga I.V., Balaieva Ya.S., Bohoiavlenska O.V. Patent Ukrainy na korysnu model № 144109. Sposib otrymannia koksu. Opublikovano 10.09.2020. – biul.№17.

20. Miroshnichenko D.V., Miroshnichenko I.V., Shulga I.V., Balaieva Ya.S., Bohoiavlenska O.V. Patent Ukrainy na korysnu model № 144110. Sposib otrymannia koksu. Opublikovano 10.09.2020. – biul.№17.

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	4
РОЗДІЛ 1 ПРОГНОЗ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ КОКСУ	11
1.1 Прогноз найвищої теплоти згоряння за даними технічного аналізу	12
1.2 Прогноз найвищої теплоти згоряння за даними елементного складу	17
1.3 Прогноз найнижчої теплоти згоряння	23
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1	25
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1 Використані методи вивчення складу та властивостей вугілля та коксу	26
2.2 Лабораторний метод визначення виходу та якості коксу в 5-кг печі конструкції ДП «УХІН»	26
2.3 Метод визначення найвищої теплоти згоряння на сухий беззольний стан	31
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2	35
РОЗДІЛ 3 ВПЛИВ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ НА ТЕПЛОТУ ЗГОРЯННЯ КОКСУ	36
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3	57
РОЗДІЛ 4 ВПЛИВ СПОСОБУ ПІДГОТОВКИ ВУГІЛЛЯ ДО КОКСУВАННЯ НА ТЕПЛОТУ ЗГОРЯННЯ КОКСУ	58
4.1 Вплив термінів зберігання вугілля на теплоту згоряння коксу	58
4.2 Вплив гранулометричного складу вугільної шихти на теплоту згоряння коксу	85
4.3 Вплив насипної густини вугільної шихти на теплоту	88

згоряння коксу	
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4	90
РОЗДІЛ 5 ВПЛИВ УМОВ КОКСУВАННЯ ТА СПОСОБУ ГАСІННЯ НА ТЕПЛОТУ ЗГОРЯННЯ КОКСУ	92
5.1 Вплив кінцевої температури коксування вугільних шихт на теплоту згоряння коксу	92
5.2 Розподіл теплоти згоряння за класами крупності коксу	95
5.2.1 Коксохімвиробництво №1	96
5.2.2 Коксохімвиробництво №2	109
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5	125
РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ КОКСУ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОБОТИ	126
6.1 Розробка технологічних рекомендацій щодо підвищення теплоти згоряння коксу	126
6.2 Техніко-економічна ефективність роботи	128
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 6	132
ВИСНОВКИ	133
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	135
ДОДАТКИ	148