

## Аналіз способів модифікації вугілля та вугільної шихти як сировини для отримання доменного коксу

E. I. Maliy /Dr. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro,  
Ukraine

### Analysis of methods of modification of coal and coal charge as raw material for receipt of blast-furnace coke

**Мета.** Для розробки технології отримання доменного коксу високої якості необхідно визначити основні технологічні показники його модифікації.

**Методика.** Аналіз існуючих технологічних підходів щодо впливу різних факторів на властивості вугілля, вугільної шихти та доменного коксу.

**Результати.** Сформульовано основні способи модифікації коксу, спрямовані на розробку раціональної сировинної бази коксування, а також принципи формування основних вимог до вугільної шихти й охарактеризовано методи, що спрямовані на підвищення якості коксу.

**Наукова новизна.** З'ясовано, що технологія підприємств без уловлювання хімічних продуктів високотемпературного коксування може вирішити ряд питань, особливо тих, що пов'язані з розширенням паливно-енергетично-сировинної бази України.

**Практична значущість.** Результати статті можна використовувати при розробці технологічного завдання для коксохімічних підприємств України. (Бібліогр.: 31 назва).

**Ключові слова:** слабкоспікливе вугілля, термічна підготовка, вугільна шихта, якість коксу.

**Постановка проблеми.** У період, коли більшість діючих шахт України, на яких видобувається добреспікливе вугілля марок Ж і К, практично виснажені та перебувають у зоні антитерористичної операції, на вітчизняних коксохімічних підприємствах складається напружене становище стосовно сировинної бази коксування та витримки необхідної якості основної продукції, а саме доменного коксу, газу та хімічних продуктів коксування. Використання у доменному виробництві пиловугільного палива (ПВП) безпосередньо впливає на підвищення вимог до якості коксу, а нестабільність у постачанні імпортного вугілля істотно впливає на властивості вугільної шихти та сталість якості основних продуктів коксохімічного виробництва.

**Завдання дослідження.** На міжнародній конференції «ЄВРОКОКС» доменщики наголошували [1], що найважливішою є сталість показників коксу. Проте коливання якості сировини – вугільних концентратів, змушує коксохіміків постійно знаходити нові технологічні рішення щодо отримання коксу необхідної якості. Тому для задоволення високих вимог до якості доменного коксу, що обумовлює його конкурентоспроможність на світовому ринку, в умовах обмеження можливого

вибору сировини, зростає необхідність удосконалення технології виробництва коксу.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Відомо, що існує достатньо жорстка залежність класичної технології шарового коксування від сировинної бази, яка використовується у цьому процесі. Вплив властивостей вугільної сировини на реакційну здатність коксу ретельно вивчено. Вугілля, яке займає крайні положення у ряді метаморфізму (ДГ, Г та ПС), дає при коксуванні вуглецевий твердий залишок з ізотропною структурою [2–4]. Тому для отримання доменного коксу з високими споживацькими властивостями слід віддавати перевагу добреспікливому вугіллю середньої стадії метаморфізму.

Іншим напрямом є керування процесом коксування за рахунок зміни режимних параметрів, перш за все кінцевої температури і швидкості нагріву. Зниження кінцевої температури від 1000 до 600 °С підвищує питомий електроопір продукту майже на три порядки, а зростання швидкості нагріву з 5 до 10 °С/хв той же показник збільшує в 1,5 разу [5; 6].

Виходячи з цього слід зазначити, що на якість доменного коксу впливають два основні комплексні чинників. Перший з них пов'язаний з власти-

востями вихідної сировини (вугілля і шихти), а другий – з режимом коксування та післяпичної обробки коксу (гасіння, сортування та ін.).

При цьому в праці [7] зазначають, що вплив першого комплексу чинників є переважним для формування властивостей коксу та може впливати на цілеспрямоване підвищення якості доменного коксу до 70–80 %. Більшість дослідників серед властивостей вугілля і шихт, які найбільшою мірою впливають на якість отриманого коксу, виділяють співвідношення у складі шихти вугілля різних стадій метаморфізму, спіклівість шихти, петрографічний склад її компонентів, зольність, сірчистість, а також технологічні режими вуглепідготовки та трембування [8; 9].

Дослідженнями ДП «УХІН» [10; 11] відзначено, що оптимальним марочним складом характеризується «еталонна шихта» (%): Г – 32, Ж – 35, К – 15, ПС – 18 з товщиною пластичного шару 16 мм і виходом летких речовин з горючої маси не більш 28 %. Її використання в традиційній технології дозволяє одержувати кокс з показниками механічної міцності  $M_{25} = 89,0\text{--}89,5$  і  $M_{10} = 6,0\text{--}6,5$  %.

Основним спікливим мікрокомпонентом шихти є вітриніт. Вугілля Донбасу є петрографічно однорідним, вміст вітриніту в ньому складає близько 90 %, і це сприяє отриманню високоякісного доменного коксу, що позитивно відображається на його фізико-механічних і хімічних показниках [12].

Проте на цей час в Україні відчувається помітний дефіцит коксівного вугілля. Велика кількість вугілля імпортується, при цьому технологічні властивості імпортного вугілля часто набагато гірші. Тобто виникає дуже складна ситуація щодо складання вугільних шихт і забезпечення необхідної сталої якості коксу. Імпортне вугілля є петрографічно неоднорідним, і це негативно позначається на якості вугільної шихти, яка подається на коксування.

Вітриніт петрографічно неоднорідного вугілля різних марок, як правило, відповідає по своїй відбивній здатності жирній стадії метаморфізму вугілля Донбасу, а спіклівість його визначається, в першу чергу, різним вмістом інертиніту. Також спеціалістами коксохімічних підприємств відзначено, що для коксівного вугілля у багатьох випадках характерне зрушення відбивної здатності вітриніту у бік вугілля середньої стадії метаморфізму такої марки, як Ж, і за рахунок цього вміст коксівних петрографічних складових на ряді підприємств не перевищує 10 %. У зв'язку з цим і середня відбивна здатність вітриніту вугільних шихт для великої кількості вітчизняних підприємств не може перевищувати 1,0 % [13].

У той же час відомо, що для отримання коксу з низькою реакційною здатністю вищенаведена величина має бути не менше 1,2 % [14].

Незважаючи на переваги закордонних аналітичних методів, спіклівість шихти, тобто здатність суміші вугільних зерен утворювати при термічному нагріванні без доступу повітря неметалічний вуглецевий залишок, у країнах СНД досі оцінюється за допомогою товщини пластичного шару вугілля та шихти в пластометричному апараті Л. М. Сапожникова. Для отримання високоміцного коксу цей показник для шихт має перебувати в межах 16–18 мм. При меншій товщині пластичного шару кількість утворених рідкорухливих продуктів буде недостатньою для отримання якісного доменного коксу. При більшому значенні товщини пластичного шару – жирна шихта – утворюється кокс, близький за своєю структурою і властивостями до коксу, що може утворювати жирне вугілля. Така коксоподібна речовина має спінену структуру великих кусків і внаслідок цього дуже малу міцність. Тому міцність отриманого з жирного вугілля вуглецевого залишку взагалі низька, якщо її порівнювати з коксом, який отримується при складанні шихти з різних марок коксівного вугілля.

Для характеристики технологічної цінності коксівного вугілля і шихти в сучасних умовах в ДП «УХІН» на базі петрографічних характеристик вугілля були розроблені два комплексні показники [13].

Перший з них Сш – спіклівість шихти. Він характеризує кількість складових частин органічної маси використаного вугілля, які воно може утворювати при термічній деструкції, а також кількість термостійких рідиноподібних продуктів, що здатні формувати з твердофазними матеріалами єдину надмолекулярну структуру майбутнього вуглецевого тіла коксу. Для отримання високоякісного доменного коксу показник Сш має бути не менше ніж 50 % від органічної маси використаного вугілля. Тому петрографічні складові коксівного вугілля та майбутньої шихти повинні мати спроможність до утворення достатньої кількості рідиноподібних продуктів, яких однозначно має бути не менше половини від органічної маси використаного вугілля.

Другий показник – це коксівність самої шихти (Кш), що може бути виражений у відсотках до органічної маси використаного вугілля. Цей показник визначається як сумарне співвідношення добреспікливих мацералів групи ліптиніту та складових вітриніту з показниками відбиття від 0,9 до 1,39 %. Така межа дає можливість приймати коксівному вугіллю пісні присадки, до яких треба віднести загальну кількість неспікливих складових вітриніту та піснуватоспікливих мацералів решти складників вугілля.

Для отримання високоякісного коксу показник Кш має бути на рівні 4,5; тобто спікливих скла-

дових в органічній вугільній масі має бути в 4–5 разів більше, ніж неспікливих і пісноспікливих складових [15].

На зольність і сірчистість коксу в першу чергу впливають технічні показники вугільної шихти, а також вихід коксу в процесі термохімічних перетворень сірковмісних і мінеральних речовин при коксуванні.

Технологічний режим вуглепідготовки, який спрямовано на отримання вихідної сировини для якісного коксу, повинен в першу чергу забезпечувати раціональний рівень подрібнення шихти в цілому і окремих її компонентів – концентратів. При недостатньому подрібненні питома поверхня вугільних зерен замала для забезпечення інтенсивного перебігу гетерогенних процесів спікання і коксоутворення. І навпаки, при передробленні шихти питома поверхня збільшується настільки, що утворених рідкоподібних продуктів термохімічної деструкції стає недостатньо для змочування всієї питомої поверхні вугільних зерен – такий процес у коксохімічному виробництві має назву «самоопіснення» шихти [15].

Рівень подрібнення різних компонентів шихти має враховувати їх технологічні властивості. Так, найтонше слід дробити тверді і петрографічно неоднорідні вугільні концентрати – до 88–90 % вмісту класу менше 3 мм, а м'які петрографічно однорідні вугільні концентрати середнього ступеня метаморфізму можна дробити крупніше – до 70–72 % вмісту класу <3 мм [16–18].

ВУХІН і ДП «ГИПРОКОКС» розробили технологію виборчого дроблення вугілля із застосуванням пневмосепарації в киплячому шарі, яка дозволяє поліпшити якість коксу за показниками  $M_{25}$  на 2,0÷4,0 % та  $M_{10}$  на 0,5÷1,0 % [15].

Основними чинниками технології коксування і післяпечної обробки, що можуть впливати на властивості коксу, є: період коксування, рівень температур в опалювальній системі, рівномірність прогрівання завантаження коксової камери за її об'ємом, перш за все по висоті, а також по довжині в зонах напроти головочних вертикалів, кінцева температура коксового пирога, режими гасіння і сортування коксу [19].

Серед цих чинників найважливішим є кінцева температура коксування, яка відповідно до п. 7.184 ПТЕ має складати 1000–1100 °С [20]. Менший рівень кінцевих температур призводить до недостатньої готовності коксового пирога (по всьому об'єму камери або в окремих її зонах) і до значного погіршення властивостей коксу як за міцністю, так і за реакційною здатністю. Перегрів коксу, крім нераціонального витрачання газу на обігрів і небезпеки руйнування вогнетривкої кладки, спричиняє розтріскування моноліту коксу вже в пічній камері, що сприяє розвитку туюго

ходу печей. При цьому утворюється дрібний кокс, що знижує вихід доменного коксу від валового і погіршує техніко-економічні показники виробництва.

При роботі на подовжених періодах коксування у разі перегріву коксу необхідна його готовність досягається вже за декілька годин до видачі. У час, що залишився, газовиділення з коксу практично припиняється, і тиск у камері коксування знижується. Навіть при відключенні печі від одного з газозбірників створюється небезпека підсосів у камеру атмосферного повітря, горіння коксу, що призводить до порушення суцільності коксового пирога і погіршення якості коксу. Тому рівень температур в опалювальній системі повинен забезпечувати досягнення готовності коксового пирога до моменту його видачі або, принаймні, не раніше ніж за одну годину до видачі. Зниження швидкості коксування за рахунок подовження періоду, зокрема при використуванні широких камер, приводить до поліпшення якості в результаті поглиблення реакцій поліконденсації, які сприяють отриманню коксу більш впорядкованої структури [19].

Коксохімічною станцією, ДП «УХІН» та коксохімічними підприємствами в значній кількості накопичені дані, що кількісно характеризують зміну режимних показників коксування (перш за все – рівня температур у контрольних вертикалах і витрат тепла) у зв'язку зі зміною періодів коксування і властивостей шихти [21]. Отримані результати є основою для рекомендацій щодо коригування температурного режиму коксування залежно від властивостей вугільної шихти для отримання коксу необхідної якості. Для цього ведеться систематичний контроль температур по осі пирога, що необхідно для коригування рівня температур у всьому опалювальному просторі коксової камери. Так, наприклад, при подовженні періоду коксування на 1 год необхідно знижувати температуру в контрольних вертикалах на 15–20 °С. Якщо відбувається зниження періоду коксування на 1 год, регулювання температури відбувається зворотним чином; при збільшенні вологості шихти на 1 % відбувається підвищення температури на 5–7 °С і навпаки; якщо збільшується вихід летких речовин з шихти на 1 %, необхідно підвищувати температуру на 5–7 °С і навпаки; коли відбувається збільшення насипної щільності шихти до 10 кг/м<sup>3</sup>, необхідно підвищити температуру в контрольних вертикалах на 2–4 °С і навпаки; у випадку, коли відбувається переробка петрографічно неоднорідного вугілля, рівень температур у контрольних вертикалах необхідно підвищувати на 1 °С на кожен відсоток вмісту інертиніту в шихті (при його вмісті більше 10 %) і навпаки [13].

Останній випадок характеризує термохімічні перетворення у петрографічно неоднорідному вугіллі, де процеси проходять з великим поглинанням тепла. Це дуже чітко кореспондується з практикою роботи коксохімічних підприємств, де при переробці петрографічно неоднорідного вугілля рівень температур у контрольних вертикалах, за інших рівних умов, на 30–40 °С вищий, ніж при переробці петрографічно однорідних шихт [15].

У праці [22] сформульовано основні способи модифікації коксу, спрямовані на розробку раціональної сировинної бази коксування, а також принципи формування основних вимог до вугільної шихти, перш за все за значеннями зольності, сірчистості, спіклівості, ступеня метаморфізму використаних вугільних концентратів, рекомендації щодо збільшення глибини збагачення вугілля і зниження зольності вугільних концентратів, а також охарактеризовано методи, що спрямовані на підвищення якості коксу за рахунок удосконалення його структурних характеристик (співвідношення анізотропних та ізотропних ділянок), які в перспективі можуть обумовлювати реакційну здатність і післяреакційну міцність вуглецевого тіла коксу.

Деякі положення частково реалізовані на коксохімічних підприємствах України, що дозволило успішно провести ряд дослідних доменних плавок на коксі поліпшеної якості [23–25]. У ході цих плавок було досягнуто збільшення продуктивності доменної печі на 1,7–17,1 % і зниження витрати коксу на 4,9–8,6 % при використанні пиловугільного палива (ПВП). Найкращі результати були досягнуті на доменній печі № 2 ВАТ «ДМЗ»: при практично незмінній витраті пиловугільного палива (167–172 кг/т чавуну) витрата коксу була знижена до 390 кг/т [24].

Одержані результати дозволили оцінити вплив на роботу доменної печі показників CRI та CSR коксу [25]. Для поліпшення останніх показників необхідно було знижувати сірчистість і зольність коксу, враховуючи це при складанні шихти, з якої буде одержано доменний кокс.

Вплив показника CRI обумовлений спіканням шихти, хімічним складом мінеральної частини використаних концентратів, умовами коксування і післяпічної обробки коксу. При зниженні або збільшенні CRI на 1,0 % продуктивність доменної печі зростає або зменшується на 0,4 %, а витрата коксу відповідно знижується або зростає на 0,55 %.

Післяпічна обробка коксу, яка відбувається на останніх технологічних стадіях, тобто після видачі його з камери коксування, також належить до важливих прийомів коригування якості коксу. З одного боку, така обробка може забезпечити рентабельність виробництва за рахунок

формування виходу і якості доменного коксу, з іншого – забезпечує ефективність використання коксу в доменному виробництві, і особливо при використанні печей з вдуванням ПВП.

При сухому гасінні коксу здійснюється не тільки утилізація тепла розпеченого коксу, але й відбувається значне поліпшення його фізико-механічних властивостей за рахунок відсутності термічного удару (який має місце при «мокрому» гасінні), реалізації тріщин при русі коксу в камері гасіння, часткового вирівнювання ступеня готовності і поліпшення структури вуглецевого тіла коксу. У результаті сухе гасіння порівняно з мокрым дозволяє поліпшити показники механічної міцності за  $M_{25}$  на 4–6 %, за  $M_{10}$  – на 0,3 %; вміст класу +80 мм в коксі знижується на 3–4 %, а клас крупності менш ніж 25 мм – на 0,1 % [26].

Попри наявні переваги сухого гасіння коксу (утилізація тепла розпеченого коксу і поліпшення його фізико-механічних і хімічних властивостей), цей метод має і багато недоліків: значні капітальні вкладення, складність і вартість експлуатації, часткова газифікація коксу, необхідність аспірації коксового пилу при транспортуванні і сортуванні, очищення теплоносія, що скидається, від шкідливих викидів, та ін., що обумовлює порівняно нешироке впровадження цієї технології. При цьому важливо відзначити той факт, що відміна знижок – приплат за показники якості коксу при розрахунку з доменщиками робить формально нерентабельним УСГК на окремому коксохімічному підприємстві, оскільки основний ефект від поліпшення якості коксу досягається в доменному цеху.

Компенсувати цей недолік можна, лише використовуючи для виробництва дешеvu вугільну сировину [5].

Тому розробка раціональної технології модифікації коксу для доменного виробництва є важливим етапом удосконалення його виробництва. Сукупність реальних умов отримання коксу в камерних печах призводить до того, що одержуваний в них кокс істотно розрізняється за властивостями як в окремих кусках, так і в середньому по різних камерах, тобто гранулометричний склад коксу, видаваного з окремих печей, а також за добу, неоднаковий.

Значний інтерес викликає технологія коксування «без уловлювання хімічних продуктів», або «двопродуктова», згідно з якою виробляють кокс, а коксовий газ і решту хімічних продуктів коксування спалюють просто у коксовій камері, причому надлишок тепла (крім необхідного для опалення коксових печей) використовується для вироблення електроенергії. В умовах сучасної України застосування подібних технологій сприятиме вирішенню проблеми залежності від імпорту

них вуглеводневих енергоносіїв. До двопродуктових заводів можна віднести коксові виробництва компаній: «Indiana Harbor Coke Company LTD»; «Illawara Coke Company PTY LTD»; «Sesa Kembla Coke Company LTD»; «PENNSYLVANIA COKE TECHNOLOGY, INC & Thyssen Krupp Encoke\ Koch Transporttechnik GmbH»; «Shanxi Sinochem Wonder Industries Company LTD» [27-31].

Існуючі технології передбачають різноманітні рішення щодо особливостей коксування, конструкцій коксових печей та їх завантаження, допоміжного обладнання і машин, які входять до єдиного комплексу виробництва коксу.

Виходячи зі світової практики і сучасної політики України, можна констатувати, що технологія підприємств без уловлювання хімічних продуктів високотемпературного коксування може вирішити ряд питань, особливо тих, що пов'язані з розширенням паливно-енергетично-сировинної бази нашої країни.

Таким чином, при розробці комплексних прийомів модифікації окремих марок вугілля або шихти в цілому необхідно брати до уваги всі можливі тенденції розвитку коксохімічного виробництва, як вітчизняного, так і зарубіжного, у тому числі (якщо не в першу чергу) і технологічне оформлення процесу.

### Висновки

1. Виконано теоретичне узагальнення літературних даних про вплив якості вугільних концентратів і шихти на властивості коксу, які обумовлюють його основні характеристики як доменного палива.

2. Показано, що виникла гостра необхідність створення технологій, які здатні за умов використання сировини нестабільної якості та підвищення вмісту слабкоспівливого і петрографічно неоднорідного вугілля у шихті забезпечити отримання доменного коксу з поліпшеними показниками CRI і CSR.

3. Аналіз методів покращання якості коксу як доменного палива дозволяє встановити, що в Україні не повною мірою реалізовані технологічні рішення щодо компенсації змін основних характеристик використовуваних концентратів при складанні шихти для коксування.

4. Розглянуто роль технологічних прийомів модифікації, які обумовлюють перспективу застосування технології підприємств без уловлювання хімічних продуктів високотемпературного коксування.

### Бібліографічний список / References

1. Прогноз мирового рынка чугуна, кокса и угля [Электронный ресурс]. По материалам 8-й Международной конференции «ЕВРОКОКС» (Ис-

пания, Барселона, апрель 2012 г.) / Е. Т. Ковалев, Ф. Ф. Чешко // Углекимический журнал. – 2012. – № 5-6. – С. 107-112. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukhj\\_2012\\_5-6\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukhj_2012_5-6_18).

Kovalev E. T., Cheshko F. F. *Prognoz mirovogo rynku chuguna, koksa i uglya. Po materialam 8y mezhdunarodnoy konferentsii "EVROKOKS"* (Ispaniya, Barselona, Aprel' 2012 g.). *Uglekhimicheskiy zhurnal*. 2012, no. 5-6, pp. 107-112. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukhj\\_2012\\_5-6\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukhj_2012_5-6_18)

2. Старовойт А. Г. Перспективы внедрения технологии выплавки чугуна с применением пылеугольного топлива / А. Г. Старовойт // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 2. – С. 41-42.

Starovoyt A. G. *Perspektivy vnedreniya tekhnologii vyplavki chuguna s primeneniem pyleugol'nogo topliva*. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2010, no. 2, pp. 41-42.

3. Ковалев Е. Т. Влияние качества угольной шихты на реакционную способность, после-реакционную прочность кокса и технико-экономические показатели доменного процесса / Е. Т. Ковалев, И. В. Шульга, А. И. Рыщенко [и др.] // *Углекимический журнал*. – 2008. – № 3-4. – С. 41-48.

Kovalev E. T., Shul'ga I. V., Ryshchenko A. I. *Vliyanie kachestva ugol'noy shikhty na reaktsionnyuyu sposobnost', poslereaktsionnyuyu prochnost' koksa i tekhniko-ekonomicheskie pokazateli domennogo protsesssa*. *Uglekhimicheskiy zhurnal*. 2008, no. 3-4, pp. 41-48.

4. Золотухин Ю. А. Сравнительный анализ основных факторов, формирующих высокие показатели качества кокса CRI и CRS / Ю. А. Золотухин, Н. С. Андрейчиков [и др.] // *Кокс и химия*. – 2006. – № 6. – С. 18-23.

Zolotukhin Yu. A., Andreychikov N. S. *Sravnitel'nyy analiz osnovnykh faktorov, formiruyushchikh vysokie pokazateli kachestva koksa CRI i CRS* *Koks i khimiya*. 2006, no. 6, pp. 18-23.

5. Дроздник И. Д. Научные основы составления угольных шихт / И. Д. Дроздник // *Справочник коксохимика*. Т. 1. – Харьков: ИНЖЭК, 2010. – С. 110-117.

Drozdник I. D. *Nauchnye osnovy sostavleniya ugol'nykh shikht*. *Spravochnik koksokhimiya*. Vol. 1. Khar'kov, INZhEK, 2010, pp. 110-117.

6. Мениович Б. И. Повышение эффективности процесса слоевого коксования / Б. И. Мениович, С. И. Пинчук, А. Г. Дюканов. – Киев: Техника, 1985. – 230 с.

Meniovich B. I., Pinchuk S. I., Dyukanov A. G. *Povyshenie effektivnosti protsesssa sloevogo koksovaniya*. Kiev, Tekhnika, 1985, 230 p.

7. Мучник Д. А. Формирование свойств доменного кокса / Д. А. Мучник. – М.: Metallurgiya, 1983. – 182 с.

Muchnik D. A. *Formirovanie svoystvo domennogo koksa*. Moscow, Metallurgiya, 1983, 182 p.

8. Бондарчук П. Н. Разработка режимных показателей для коксовой батареи / П. Н. Бондарчук, А. И. Рыщенко, Ю. В. Телешев, Э. И. Торяник, И. В. Шульга // Кокс и химия. – 2005. – № 9. – С. 21–28.

Bondarchuk P. N., Ryshchenko A. I., Teleshev Yu. V., Toryanik E. I., Shul'ga I. V. *Razrabotka rezhimnykh pokazateley dlya koksovoy batarei*. Koks i khimiya. 2005, no. 9, pp. 21–28.

9. Золотарев И. В. Особенности подготовки шихт для производства различных видов кокса в условиях ОАО «ЯКХЗ» / И. В. Золотарев, А. К. Саенко [и др.] // Кокс и химия. – 2003. – № 11. – С. 8–10.

Zolotarev I. V., Saenko A. K. *Osobennosti podgotovki shikht dlya proizvodstva razlichnykh vidov koksa v usloviyakh ОАО "YaKKhZ"*. Koks i khimiya. 2003, no. 11, pp. 8–10.

10. Давидзон А. Р. Разработка рационального состава шихт для коксования на основе угля шахты Красноармейская Западная № 1 / А. Р. Давидзон, И. Д. Дроздник, М. Л. Улановский [и др.] // Угলেখимический журнал. – 2005. – № 1–2. – С. 23–29.

Davidzon A. R., Drozdnic I. D., Ulanovskiy M. L. *Razrabotka ratsional'nogo sostava shikht dlya koksovaniya na osnove uglya shakhty Krasnoarmeyskaya Zapadnaya no. 1*. Uglekhimicheskiy zhurnal. 2005, no. 1–2, pp. 23–29.

11. Кафтан Ю. С. Развитие научных основ составления угольных шихт из углей разных бассейнов / Ю. С. Кафтан, И. Д. Дроздник, М. В. Мирошниченко // Угলেখимический журнал. – 2010. – № 3–4. – С. 25–31.

Kaftan Yu. S., Drozdnic I. D., Miroshnichenko M. V. *Razvitie nauchnykh osnov sostavleniya ugol'nykh shikht iz ugley raznykh basseynov*. Uglekhimicheskiy zhurnal. 2010, no. 3–4, pp. 25–31.

12. Скляр М. Г. Физико-химические основы спекания углей / М. Г. Скляр. – М.: Metallurgiya, 1984. – 201 с.

Sklyar M. G. *Fiziko-khimicheskie osnovy spekaniya ugley*. Moscow, Metallurgiya, 1984, 201 p.

13. Справочник коксохимика. Т. 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию / [под ред. Л. Н. Борисова, Ю. Г. Шаповала]. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2010. – 536 с.

Borisova L. N., Shapovalova Yu. G. (Eds.). *Spravochnik koksokhimika. Vol. 1. Ugli dlya koksovaniya. Obogashchenie ugley. Podgotovka ugley k koksovaniyu*. Khar'kov, ID INZhEK, 2010, 536 p.

14. Ковалев Е. Т. Влияние качества угольной шихты на реакцию способность, послереакционную прочность кокса и технико-эко-

номические показатели доменного процесса / Е. И. Ковалев, И. В. Шульга, А. И. Рыщенко [и др.] // Угলেখимический журнал. – 2008. – № 3–4. – С. 41–48.

Kovalev E. T., Shul'ga I. V., Ryshchenko A. I. *Vliyanie kachestva ugol'noy shikhty na reaktivnyuyu sposobnost', poslereaktivnyuyu prochnost' koksa i tekhniko-ekonomicheskie pokazateli domennogo protsessar*. Uglekhimicheskiy zhurnal. 2008, no. 3–4, pp. 41–48.

15. Справочник коксохимика. Т. 2. Производство кокса / [под ред. А. Г. Старовойт, Ю. Е. Зингерман]. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2014. – 728 с.

Starovoyt A. G., Zingerman Yu. E. (Eds.). *Spravochnik koksokhimika. Vol. 2. Proizvodstvo koksa*. Khar'kov: ID INZhEK, 2014, 728 p.

16. Ковалев Е. Т. Влияние качества угольной шихты на реакцию способность, послереакционную прочность кокса и технико-экономические показатели доменного процесса / Е. Т. Ковалев, И. В. Шульга [и др.] // Угলেখимический журнал. – 2008. – № 3–4. – С. 41–48.

Kovalev E. T., Shul'ga I. V. *Vliyanie kachestva ugol'noy shikhty na reaktivnyuyu sposobnost', poslereaktivnyuyu prochnost' koksa i tekhniko-ekonomicheskie pokazateli domennogo protsessar*. Uglekhimicheskiy zhurnal. 2008, no. 3–4, pp. 41–48.

17. Lambris G. Treiben und Blahen ven steinkohlen in Aehangigkeit von der Eigenschaften der plastischen zone / G. Lambris, H. Le Marie // Brennstoff Chemie. – 1951. – 32, 14/2. – S. 50–56.

18. Симонов Н. Ф. О подготовке угольной шихты к коксованию на основе избирательного измельчения с пневматической сепарацией в кипящем слое / Н. Ф. Симонов, С. П. Федак // Кокс и химия. – 2004. – № 7. – С. 12–18.

Simonov N. F., Fedak S. P. *O podgotovke ugol'noy shikhty k koksovaniyu na osnove izberatel'nogo izmel'cheniya s pnevmaticheskoy separatsiey v kipiyashchem sloe*. Koks i khimiya. 2004, no. 7, pp. 12–18.

19. Рыщенко А. И. Факторы влияющие на формирование свойств доменного кокса (Обзор) / А. И. Рыщенко, И. В. Шульга // Угলেখимический журнал. – 2009. – № 3–4. – С. 56–64.

Ryshchenko A. I., Shul'ga I. V. *Faktory vliyayushchie na formirovanie svoystv domennogo koksa (Obzor)*. Uglekhimicheskiy zhurnal. 2009, no. 3–4, pp. 56–64.

20. Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий, Харьков: ГИПРОКОКС, 2011. – 309 с.

*Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii koksokhimicheskikh predpriyatii*. Khar'kov, GIPROKOKS. 2011, 309 p.

21. Инструкции «Государственной коксохимической станции»: Инструкции по регулировке обогрева коксовых печей. № 32–83 ИП. Инструкция. Технологические приемы графитообразования в камерах коксования с целью герметизи-

зации их в условиях работы коксовых батарей на удлинённых периодах коксования. № 04-94 к. Инструкция по выводу коксовых батарей на горячую консервацию и с последующим вводом их в эксплуатацию» № 06-91 к.

Instruktsii "Gosudarstvennoy koksokhimicheskoy stantsii": Instruktsii po regulirovke obogreva koksovykh pechey. No. 32-83 IR. Instruktsiya. Tekhnologicheskie priemy grafitoobrazovaniya v kamerakh koksovaniya s tsel'yu germetizatsii ikh v usloviyakh raboty koksovykh batarey na udlinennykh periodakh koksovaniya. No. 04-94 k. Instruktsiya po vyvodu koksovykh batarey na goryachuyu konservatsiyu i s posleduyushchim vvodom ikh v ekspluatatsiyu" no. 06-91 k.

22. Старовойт А. Г. Исследование процесса микроволнового воздействия на слабоспекающиеся газовые угли / А. Г. Старовойт, Е. И. Малый, М. С. Чемеринский // Кокс и химия. – 2010. – № 9. – С. 2-4.

Starovoyt A. G., Malyy E. I., Chemerinskiy M. S. *Issledovanie protsessa mikrovolnovogo vozdeystviya na slabospekayushchiesya gazovye ugli*. Koks i khimiya. 2010, no. 9, pp. 2-4.

23. Филатов Ю. В. Опыт производства доменного кокса улучшенного качества из украинских углей и использование его в доменной печи с применением ПУТ / Ю. В. Филатов, Б. П. Крикунов, А. И. Гордиенко // Углекхимический журнал. – 2007. – № 5-6. – С. 11-18.

Filatov Yu. V., Krikunov B. P., Gordienko A. I. *Opyt proizvodstva domennogo koksa uluchshennogo kachestva iz ukrainskikh ugley i ispol'zovanie ego v domennoy pechi s primeneniem PUT*. Uglekhimicheskiy zhurnal. 2007, no. 5-6, pp. 11-18.

24. Буга И. Д. Опытные доменные плавки на коксе с улучшенной реакционной способностью / И. Д. Буга, П. Н. Бондарчук [и др.] // Углекхимический журнал. – 2006. – № 3-4. – С. 22-29.

Buga I. D., Bondarchuk P. N. *Opytnye domennye plavki na kokse s uluchshennoy reaktivnoy sposobnost'yu*. Uglekhimicheskiy zhurnal. 2006, no. 3-4, pp. 22-29.

25. Фоменко А. П. Опытная доменная плавка на коксе улучшенного качества ОАО «Запорожжкокс» / А. П. Фоменко, В. И. Набока [и др.] // Кокс и химия. – 2009. – № 3. – С. 17-23.

Fomenko A. P., Naboka V. I. *Opytnaya domennaya plavka na kokse uluchshennogo kachestva* ОАО "Zaporozhkoks". Koks i khimiya. 2009, no. 3, pp. 17-23.

26. Старовойт А. Г. Теоретические основы и разработка высокоэффективной технологии сухого тушения кокса: дис. ... д-ра техн. наук: спец.

05.17.07 / А. Г. Старовойт. – Днепропетровск: НМетАУ, 1989. – 408 с.

Starovoyt A. G. *Teoreticheskie osnovy i razrabotka vysokoeffektivnoy tekhnologii sukhogo tusheniya koksa*: dis. ... d-ra. tekhn. nauk: spets. 05.17.07. Dnepropetrovsk, NMetAU, 1989, 408 p.

27. Westbrook R. W. "Heat recovery coke making at Sun Coke company", presented at 1998 Annual AISE convention, Pittsburgh PA.

28. Ellis A. R., Schuett K. J., Thorley T., Valia H. S. "Heat recovery cokemaking at Indiana Harbor Coke Company - an historic event for the steel industry" ISS Iron Making Conference Proc., Vol. 58, 1999, pp 173-185.

29. Walker D. N. "High CSR coke from non-recovery cokemaking process" 3 International Cokemaking Conference, Ghent Belgium, September 1996.

30. Ellis C. E., Pruitt C. W., Ball M. A. "Coal blend testing at Jewell's non-recovery coke ovens", presented at 2000 AISE annual convention, Chicago, Illinois, September 2000.

31. Arendt Dr. P., Kuhl Dr. H., Huhn Dr. F. "Cracking reactions in coke ovens and their importance for coke quality", presented at Kokereitechnik, Hauc der Technik, Essen Germany, may 2000.

**Purpose.** To develop a technology for obtaining high-quality blast-furnace coke, it is necessary to determine the main technological parameters of its modification.

**Methodology.** Analysis of existing technological approaches to the impact of various factors on the properties of coal, coal charge and blast furnace coke.

**Results.** The main methods of coke modification aimed at the development of a rational raw material base of coking are formulated, as well as the principles of forming the basic requirements for a coal charge and characterized methods aimed at improving the quality of coke.

**Findings.** It is suggested that the technology of enterprises without catching chemical products of high-temperature coking can solve a number of issues, especially those associated with the expansion of the fuel and raw materials base of Ukraine.

**Practical value.** The results of this article may be used in the development of a technological task for coke plants in Ukraine.

**Key words:** low-metamorphosed caking coal, thermal preparation, coal blend, quality of coke.

**Рекомендована к публикации  
д. т. н. А. Г. Старовойтом**

**Поступила 20.03.2018**