

УДК 001.89:378

І. В. ШУЛЬГА, завідувач коксовим відділом, к.т.н., доцент, Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут УХІН

ОТРИМАННЯ ВІДНОВНИКІВ ДЛЯ ВИПЛАВКИ ЗАЛІЗА З РУДИ (ДО СЕРЕДИНИ ХІХ СТ.)

Проанализировано развитие техники и технологии получения восстановителей (древесного угля и каменногоугольного кокса) для выплавки железа из руды до середины XIX в. Некоторые решения, которые использовались в это время, являются актуальными для реализации на современной технической основе, в частности, коксование в печах без улавливания химических продуктов и пиролиз древесины в ретортах с целью получения активированного угля.

Проаналізований розвиток техніки та технології отримання відновників (деревного вугілля і кам'яновугільного коксу) для виплавки заліза з руди до середини ХІХ ст.. Деякі рішення, які використовувались в той час, є актуальними для реалізації на сучасній технічній основі, зокрема, коксування в печах без уловлювання хімічних продуктів та піроліз деревини в ретортах з метою отримання активованого вугілля.

Is fulfilled the assay of the development of techniques and technology of production of reductors (wood charcoal and coal coke) for smelting iron from ore, which have been used till the medium of the XIX century. Some decisions, which used in practice that time, is relevant to the implementation on the modern technical basis, particularly in coking ovens without trapping chemical products and pyrolysis of wood in order to obtain the activated charcoal.

Постановка проблеми. Розвиток техніки та технології отримання відновників для виплавки заліза з руди має певне значення для сучасного технічного прогресу в цій галузі. Історія техніки знає чимало прикладів, коли ті чи інші рішення з часом відходили на другий план, але потім до них знов повертались з різних причин (зміни ресурсного забезпечення, вимог до якості отримуваних продуктів, екологічні проблеми), але вже на новому технічному рівні у відповідності з відомим діалектичним законом заперечення заперечень [1]. Найсвіжіший приклад – розвиток у світі в останні десятиріччя технології отримування коксу без уловлювання хімічних продуктів [2].

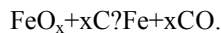
Аналіз останніх досліджень та публікацій свідчить, що головна увага в них приділяється сучасному розвитку техніки та технології коксування. Історичні довідки дуже коротко подані, як правило, лише у науково-популярних [3, 4] або навчальних виданнях [5], а у фаховій літературі – з приводу ювілеїв підприємств та організацій, причому, в останньому випадку, як правило, ретроспектива обмежується кількома десятиріччями (див., наприклад, [6, 7]). Безпосередньо історії розвитку даного виду техніки та технології присвячена лише одна сучасна робота російських фахівців [8], але і в ній, на жаль, практично відсутній аналіз тих елементів технологій

минулого, які можуть бути корисні сьогодні. Тому дослідження розвитку техніки та технології отримання вуглецевих відновників до початку XX ст.. можна **виділити як не вирішену раніше частину загальної проблеми**. Згідно з цим **метою** статті є простежити цей розвиток і виділити в ньому аспекти, актуальні для сучасного етапу науково-технічного прогресу.

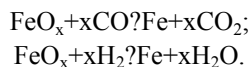
Виробництво відновників для витоплення заліза з руди, як і всі інші види людської діяльності, розвивалось у відповідності із суспільними потребами, тобто об'єктивними за своїм характером та походженням, інтересами, які виникали у різних людських спільнот (націй, соціальних груп, окремих осіб тощо), зумовлених економічними відносинами у суспільстві та місцем різних спільнот у цих відносинах [9, 10]. Це відображає загальну закономірність, згідно з якою суспільні потреби є рушійною силою розвитку всіх сфер людської діяльності – науки, техніки, промисловості тощо [11, 12].

Рушійною силою розвитку виробництва відновників були потреби суспільства у різноманітних знаряддях праці, зброї, предметах вжитку, для яких потрібна достатня міцність. Для їх виготовлення широко використовуються чавун, сталь та інші сплави на основі заліза.

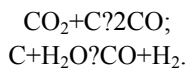
Цей елемент став відомим людині у глибокій давнині. Вже в третьому тисячолітті до нашої ери в стародавньому Єгипті, а в другому тисячоріччі в Хеттській державі (територія нинішньої Туреччини) вміли виплавляти з руди кричне залізо в сиродутному процесі, який здійснювали в горнах – невеликих кам'яних печах [3, 4]. Паливо в таких печах використовували переважно рослинного походження. При згорянні частини палива інша частина зазнавала термохімічної деструкції (розкладу) з виділенням летких речовин та утворенням твердого залишку, який у порівнянні з вихідним паливом характеризувався більшим вмістом вуглецю. Внаслідок згоряння температура в горні підвищувалась, і відбувалось відновлення заліза з руди (суміші окисів дво- та трьохвалентного заліза FeO і Fe_2O_3 , яку умовно позначають як речовину змінного складу FeO_x), переважно пряме, тобто вуглецем твердої фази:



З подальшим підвищенням температури метал та шлак (сторонні домішки до руди) плавилась, розділялись за різницею в щільності (шлак легший), та видалялись з печі. Гетерогенна реакція відновлення йшла лише за поверхнею розділу двох фаз, тобто на дільницях безпосереднього контакту руди та палива, що зумовлювало її повільність. Більш швидкими є реакції непрямого відновлення леткими продуктами термічної деструкції (оксидом вуглецю та воднем):



Однак леткі речовини майже миттєво видалялись із горна, і практично не взаємодіяли з рудою. Прагнення збільшити продуктивність процесу поступово призводило до збільшення розмірів горну, перетворення його в агрегат квазібезперервної дії з роздільною подачею руди та палива згори (періодично) і повітря знизу (безперервно), та роздільним відводом отримуваних продуктів: періодично знизу (нижче рівня подачі повітря) спочатку залізо, а потім шлак, а згори безперервно продукти спалювання. Так у середині XIV ст. в Західній Європі виникли перші доменні печі [13], які мали суттєво більшу продуктивність, оскільки в зоні подачі повітря згоряло вже термодімічно перетворене паливо з утворенням діоксиду вуглецю та виділенням тепла, більша частина якого витрачалась на нагрів і плавлення заліза та шлаку. Гарячі продукти спалювання, рухаючись догори, підсушували паливо, насичувались водяною парою, та частково газифікували паливо за реакціями:



Ще вище розвивались реакції непрямого відновлення заліза з руди оксидом вуглецю та воднем, отриманими при термічній деструкції і частковій газифікації палива, що суттєво збільшувало продуктивність. Протягом досить тривалого часу (близько двох сторіч) обидві технології виплавлення заліза (в сиродутному та доменному процесах) співіснували. У фундаментальній праці Георга Бауера (Агріколи) «Про гірничу справу та металургію» [14] описані обидва способи, але кінець кінцем доменний спосіб поступово витіснив сиродутний, в першу чергу, через більшу продуктивність, а, отже, і кращі економічні показники.

З другої половини XV ст. в Західній Європі почалось бурхливе зростання промислового виробництва, в тому числі чавуна та сталі. Це призвело до необхідності використання для відновлення заліза великої кількості деревного вугілля і знищення лісів. Вже починаючи з середини XVI ст. у Німеччині та Англії з'являються закони, що забороняють вирубку лісів для виробництва деревного вугілля. Виникла необхідність використання іншого палива та відновника, ресурси якого були б доступнішими. Таким паливом стали продукти переробки твердих паливних копалин, в першу чергу кам'яного вугілля.

Кам'яне вугілля було відомо ще в стародавньому світі. Перше згадування про нього пов'язують з Аристотелем (IV ст. до р. х.) [15]. Кількома десятиріччями пізніше його учень Теофраст Ересський в «Трактаті про каміння» писав: «...звуться ці викопні речовини антрацитом (або вугіллям)... вони спала-

хують та горять подібно до деревного вугілля...» [4]. Стародавні римляни видобували кам'яне вугілля для опалення на території нинішньої Великої Британії. У I ст. до р. х. в китайській провінції Юннань вугілля нагрівали без доступу повітря та отримували кокс [3].

У 1589 р. в Англії Проктер та Петерсон отримали перший патент на переробку кам'яного вугілля в кокс (coking) для виплавлення на ньому чавуну. Патент цей, на жаль, до нашого часу не дійшов. На початку XVII ст. практично одночасно були отримані патенти на ведення доменної плавки на спеціально підготовленому кам'яному вугіллі (Д. Додлей, Англія, 1619 р.) та отримання коксу з торфу (Е. та М. Шейнлебени, Німеччина, 1621 р.).

Згідно з ДСТУ 2401–94 «Кокс кам'яновугільний та пековий. Терміни і визначення» [16] кокс – твердий поруватий міцний високо вуглецевий продукт сірого кольору, отриманий при коксуванні (нагріві без доступу повітря до 1000–1100°C) суміші кам'яного вугілля. Головними перевагами кам'яновугільного коксу, в порівнянні з іншими видами доменного палива, є більша міцність та менша реакційна здатність по відношенню до окислювачів (кисню, діоксиду вуглецю, водяної пари). Останнє дозволяє зменшити участь коксу в реакціях прямого відновлення на середніх горизонтах доменної печі, завдяки чому більша його частина доходить нижче, до рівня фурм для подачі повітря, де відбувається спалювання частки коксу і газифікація решти його з отриманням відновних газів, які, піднімаючись догори, відновлюють залізо з руди в реакціях непрямого відновлення, які відбуваються з більшою швидкістю, ніж пряме відновлення. Завдяки цьому збільшується продуктивність печі та покращуються економічні показники її роботи. Слід також зазначити, що на нижніх горизонтах печі кокс в умовах високих температур залишається єдиним твердим матеріалом, який сприймає всі навантаження від вище розташованих шарів засипу, тому він повинен мати достатню термомеханічну міцність.

Однак коксу в порівнянні з деревним вугіллям притаманні і певні недоліки. Головний з них – в кілька разів більша сірчаність, яка, в залежності від аналогічного показника для вихідного вугілля, може досягати 0,4–2,0 %. Крім того, кокс містить значно більшу кількість мінеральних домішок. Тому для виплавлення чавуну на коксі необхідно було використовувати для коксування низькосірчаністе вугілля, збільшувати глибину його збагачення з метою зниження вмісту мінеральної частини, подавати в доменну піч додаткову кількість флюсів (вапняку CaCO_3 або доломіту $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) для зниження температури топлення та густини шлаку. Все це викликало додаткові витрати та стримувало широке використання коксу як доменного палива.

Все ж таки, коксування вугілля, через свої незаперечні переваги, продовжувало залишатися в полі зору металургів. У 1735 р. А. Дербі успішно здійснив доменну плавку на коксі на заводі Колобрукдейль (Англія).

Як вже відзначалось, кам'яновугільний кокс замінив як доменне паливо деревне вугілля. Тому і отримували його протягом тривалого часу за тією ж технологією – в купах, викладених з крупного вугілля (див. рис. 1). Висота та діаметр такої купи складали по 3–10 м. В нижній її частині з каміння або великих кусків вугілля викладали кілька радіальних каналів для надходження повітря, які в центрі з'єднувалися з вертикальним каналом для відведення продуктів спалювання. При максимальних розмірах купи маса вугілля в ній досягала 50 т [17]. Вугілля біля входів до радіальних каналів підпалювали. Продукти спалювання рухались до центру засипу, а потім догори внаслідок тяги, створюваної вертикальним каналом. При цьому відбувався перенос маси (в тому числі кисню повітря) та теплоти в горизонтальному (від периферії засипу до центру) та вертикальному (знизу догори) напрямках. Як наслідок, горіння розповсюджувалось на весь нижній шар вугілля. Звідси продукти спалювання просочувались крізь шар вугілля, нагріваючи його. Через 3–5 діб поступово починали зменшувати кількість повітря, що надходило до купи, шляхом часткового перекидання вхідних отворів до горизонтальних каналів. В середині засипу розвивались процеси термічної деструкції вугілля. При цьому виділялись парогазові продукти, які частково згоряли. Суміш парогазових продуктів та речовин, утворених внаслідок їх згорання, видалялась крізь вертикальний канал. Із зростанням температур в засипу процеси термічної деструкції уповільнювались, змінюючись процесами синтезу (полімеризації та поліконденсації), що призводило до спікання та коксування. Через 8–10 діб після початку коксування вхідні отвори до горизонтальних каналів перекидали повністю, і повітря у відносно невеликих кількостях надходило до засипу лише крізь проміжки між кусками. Близькість до завершення процесів термохімічних перетворень визначали по зникненню синього забарвлення полум'я при спалюванні парогазових продуктів, тобто по припиненню виділення оксиду вуглецю. Протягом 4–6 діб після цього газовиділення практично припинялось, і засип охолоджувався. Потім купу розбирали, а отриманий кокс сортували шляхом ручної розбори або за допомогою бармаків з певним проміжком між зубцями. Крупний кокс використовували для виплавлення чавуну, а дрібний використовували як побутове паливо або для підсіпки в наступну купу в зонах горіння (біля входів до горизонтальних отворів). Загалом при коксуванні в купах спалювалось до 20 % вугілля. Вихід коксу не перевищував 55 %, але був в кілька разів вищий, ніж для деревного вугілля,

внаслідок більшого виходу летких речовин з деревини. Кількість теплоти, яка виділялась при спалюванні частини засипу та парогазових продуктів, в кілька разів перевищувала потреби процесу коксування, більша частина його непродуктивно втрачалась крізь вертикальний канал, призводячи до теплового та хімічного забруднення доквілля. Крім того, купи займали велику територію, а земля в Європі вже в той час була одним з найдефіцитніших ресурсів.

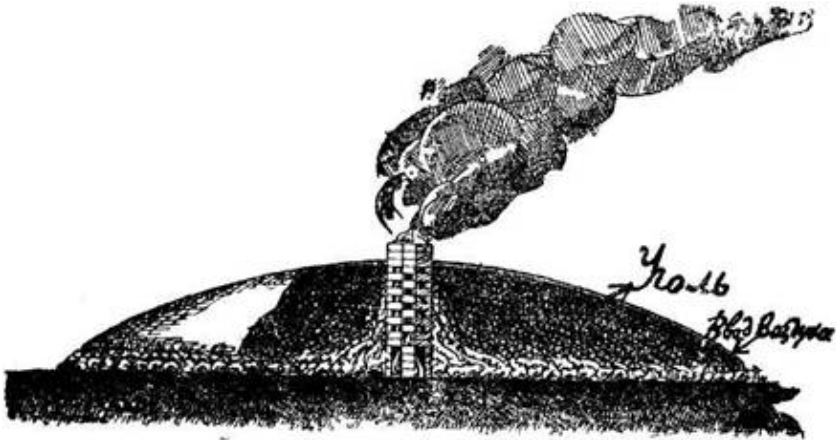


Рис. 1. Коксування вугілля в купі [17].

Необхідність зменшення виробничих площ, намагання поліпшити економічні показники виробництва шляхом використання для коксування дрібного вугілля та збільшення виходу коксу призвели до створення у XVIII ст. перших закритих коксових печей. Спочатку (близько 1770 р.) вони були побудовані в Шаумбурзі в Моравії (на території нинішньої Чехії). Зовні вони дещо нагадували кінські стійла, тому і отримали назву стійлових (рис. 2) [18].

Стінки печі мали довжину 8–20 м, висоту 1,0–1,6 м, і були розміщені на відстані 1,5–2,3 м одна від одної. В них пролягали горизонтальні та вертикальні канали для відводу з печей парогазових продуктів коксування та продуктів спалювання. В простір між стінками засипали вугілля, в яке поблизу отворів горизонтальних каналів закладали дерев'яні (найчастіше соснові) гілки. Вугільний засип покривали шаром глини та підпалювали крізь горизонтальні канали в стінах. При цьому гілки в засипу згоряли досить швидко і утворювали канали для проходу газів (повітря, парогазових продуктів та продуктів спалювання). Хоча разове завантаження таких печей

(15 т) було в кілька разів менше, ніж маса вугілля в купі, але тривалість процесу скоротилась до 5–8 діб, тому продуктивність печей була більшою, ніж при коксуванні в купах. Також зменшився угар засипу, завдяки чому вихід коксу зріс на 5–10 %. Зменшилась кількість отриманого дрібного коксу, непридатного для використання в домнах через збільшення гідравлічного опору проходженню газів крізь піч. Подальше удосконалення стійлових печей йшло шляхом збільшення разового завантаження не лише за рахунок зростання розмірів камери, але й внаслідок ущільнення засипу: вугілля завантажували в піч пошарово, кожен шар ущільнювали та затрамбовували. Все це сприяло покращенню економічних показників. Як результат – наприкінці XVIII ст. в Європі кам'яновугільний кокс практично повністю витіснив деревне вугілля при використанні в доменних печах.

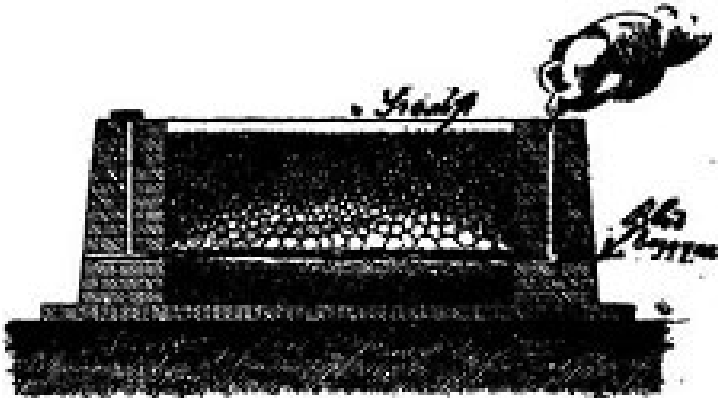


Рис. 2. Стійлова (шаумбурзька) піч [18].

Дрібний кокс також знайшов свого споживача як енергетичне паливо після створення спеціальних топків та як сировина для газифікації після відкриття А. Л. Лавуазьє у 80-ті роки XVIII ст. (Франція) способу отримання водяного газу та створення Сименсом першого газогенератора [19].

У Російській імперії виробництво чавуну в промислових масштабах почалось при правлінні першого царя з династії Романових – Михайла Федоровича. У 1628 р. на Уралі почався видобуток залізної руди, а в 1631 р. у Нідінську Ірбітського округу був заснований перший доменний завод. 1632 р. голландцю А. Вініусу та англійцю А. Вількінсону була видана царська грамота на будівництво Городищенського доменного заводу у 13 км від Тули. Перший чавун був отриманий там у 1637 р. [20]. Тривалий час весь чавун

виплавляли на деревному вугіллі, що нанесло великої шкоди лісам. У 1754 р. був виданий наказ імператриці Єлизавети Петрівни про заборону будівництва металургійних заводів на відстані менше 200 верст від Москви [21]. Однак виплавлення чавуну та масові вирубки лісів тривали, лише змістившись у більш віддалені місця. У 1763 р. вийшла з друку перша російська наукова праця з металургії – «Перші основи металургії або рудних справ» М. В. Ломоносова [22]. Десять років по тому був заснований Петербурзький гірничий інститут [23]. Починаючи з 1770 р. Росія вийшла на перше місце у світі за топленням чавуну та утримувала цю першість до 1805 р.

У цей час перші домни з'явилися на території України. 1795 р. було розпочато будівництво ливарно-пушечного заводу при злитті рік Лугані та Вільхової. Перші пушки були відлиті у 1801 р. Вони поступили на озброєння російської армії та використовувались нею в боях з Наполеонівським військом. Заводське селище було назване Луганськом. Нове підприємство використовувало руду Криворізького басейну. Завод розташовувався у бідній лісом місцевості, тому постала проблема забезпечення виробництва відновниками. Гірничим інженером І. Бриганцевим була вперше встановлена добра коксівність вугілля Донбасу та можливість його застосування для виробництва коксу при топленні чавуну.

На рубежі XVIII–XIX ст. в Європі постала проблема раціонального використання вугілля та отримуваних з нього продуктів. В купах і стійлових печах парогазові продукти коксування з верхніх шарів засипу не встигали згоряти та скидались в атмосферу, забруднюючи довкілля. У 1768 р. німець Штиль отримав патент на очищення коксового газу та його використання. 1784 р. англієць Дандональд створив герметичну реторту для нагріву вугілля без доступу повітря із застосуванням зовнішнього опалення. З такої реторти газ відводився, не змішуючись із продуктами спалювання. У 1792 р. Англійський інженер У. Мердок (конструктор першого англійського паротягу) газом з реторти освітив свій будинок, а в 1799 р. – машинобудівний завод біля Бірмінгему, що дало йому можливість організувати багатозмінну роботу практично всіх цехів. Світільний газ в найкоротший термін знайшов собі широкий вжиток – для освітлення великих міст та заводів. При охолодженні світільного газу з нього конденсувалась смола, з якої у 1819 р. Гарден вилучив нафталін $C_{10}H_8$. Для зменшення кіптяви при спалюванні газу його додатково промивали конденсованою смолою, при цьому з газу абсорбувались ароматичні вуглеводні, і в 1825 р. великий англійський вчений М. Фарадей виділив з такої смоли бензол C_6H_6 , потім був отриманий антрацен $C_{14}H_{10}$ (Дюма та Лоран, Франція, 1832 р.) та інші речовини [24]. 1835 р. був пушечний газовий завод у Санкт-Петербурзі – перше вуглекімічне підприємство на

території Російської імперії. Вугілля для роботи заводу привозили морем з Англії. Отримуваний газ використовували для освітлення найбільших будівель та вулиць міста. Цей газ містив велику кількість водню, тому напрочуд легко займався у порівнянні з використовуваним раніше твердим паливом. Однак це було певною мірою небезпечно, саме тому в блискучій повісті «Невкий проспект» геніального М. Гоголя «...будошник, *накрывшись рогожею* (курсив мій – І. Ш.), вскарабкається на лестницю зажечь фонарь» [25].

Таким чином, у середині XIX ст. отримання з вугілля коксу та світільного газу розвивались як дві незалежні технології – при коксуванні не використовувались парогазові продукти, а твердий залишок від виробництва світільного газу (головним чином з геологічно молодого малометаморфованого вугілля з високим виходом летких речовин) знаходив застосування, головним чином, як пічне паливо.

1850 р. на території України з'явилося друге доменне виробництво – в Керчі на заводі купця Гурьєва. Однак новий завод працював погано – розміри доменної печі, зокрема її висота, були завеликі для потужності наявної повітродувної машини. Наступного року на завод був відряджений капітан корпусу гірничих інженерів А. Ф. Мевіус, який до того часу працював на одному з уральських заводів в Златоусті. Виходячи з неможливості збільшення потужності існуючої повітродувної машини, Аполлон Федорович здійснив реконструкцію домни шляхом зменшення її розмірів та корисного обсягу. Це дало можливість стабілізувати роботу печі та, незважаючи на зменшення корисного обсягу, покращити його використання і забезпечити таким чином прибуткову роботу. Крім того, А. Ф. Мевіусом на цьому ж підприємстві була збудована невелика дослідницька домна висотою лише 6 м, на якій вперше були розроблені технологічні параметри виплавлення чавуну з пухкої керченської руди. Промисловій реалізації отриманих результатів завадила наступного року Кримська війна, під час якої підприємство було зруйновано. Згодом А. Ф. Мевіус став першим професором металургії Харківського технологічного інституту [26, 27].

Прагнення знизити угар вугілля та коксу призвело до створення закритих печей, які мали склепіння, що ізолювало засип від контакту з атмосферним повітрям. Перші такі печі були створені за аналогією з найпоширенішими печами того часу – хлібопекарськими (рис. 3) [28]. Завдяки цьому в багато мов світу (німецьку, англійську, російську, українську) потрапив термін «коксвий піриг».

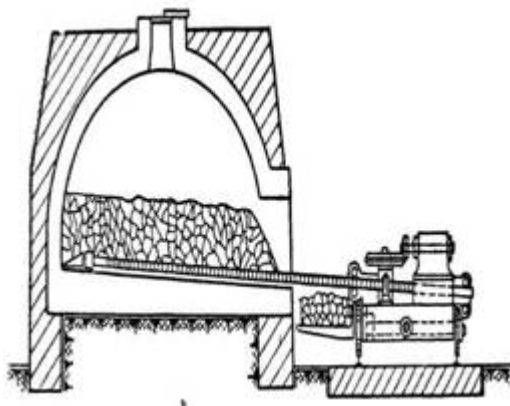
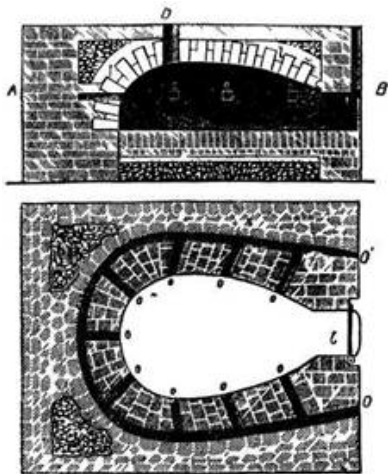


Рис. 3. «Хлібопекарська» коксова піч (зліва) [28].

Рис. 4. Вуликова піч з механізованою видачею коксу (згори) [28].

У 30-х роках XIX ст. з'явилися перші вуликові печі (рис. 4) [29]. Як і стійлові, вони мали значні довжину та широту камери, але відносно невелику висота засипу – 0,6–1,6 м. Однак сама камера була значено вищою – до 3–4 м. Стіни були вищими від засипу на 1–2 м, а ще вище ці стіни з'єднувались арковим склепінням. Таким чином над засипом формувався підсклепіневий простір, куди крізь двері надходило повітря для спалювання утворених парогазових продуктів та частини засипу. Горіння всередині камери призводило до менших тепловтрат, дозволяло поліпшити прогрів засипу, знизити його угар та зменшити забруднення доквілля. Піч вміщувала 5–7 т шихти, тривалість процесу зменшилась до 3 діб. Отримуваний кокс був міцний, крупний та однорідний за розміром, що покращувало показники доменного виробництва (зокрема, поліпшувалась газопроникність та зменшувався гідравлічний опір засипу в доменній печі). В перших вуликових печах, як і раніше, завантаження вугілля та вивантаження коксу (після охолодження його до прийнятної температури) здійснювались вручну. Згодом для збільшення продуктивності та полегшення обслуговування печей ці агрегати періодичної дії почали об'єднувати в безперервно працюючі батареї з 30–40 камер, що стало передумовою для механізації завантаження та видачі. В печі на рис. 4 показаний один з перших механізмів видачі – витягування коксу з камери за допомогою лебідки «на себе» через єдиний наявний в печі отвір.

У 1851 р. в Бельгії були побудовані перші печі фірми Коппе. Їх особливістю була наявність каналів в опалювальних простінках між камерами. Ці канали з'єднувались з лежаком та димарем. Під дією створюваної димарем тяги до камери зовні засмокувалось повітря та створювався рух парогазових речовин і продуктів спалювання їх та частини засипу в підсклепіновому просторі, каналах опалювальних простінок, лежаку та димарі. Утворені парогазові продукти коксування не встигали повністю згоріти в опалювальній системі і допалювались вже на виході з димаря, тому печі й отримали назву полум'яних.

Слід зазначити, що терміни «вуликова» та «полум'яна» піч нетотожні. У вуликових печах, на відміну від полум'яних, практично відсутнє горіння за межами камери (власне, немає полум'я), тепло для коксування надходить головним чином від спалювання частки засипу. Навпаки, в полум'яних печах горіння відбувається не лише в підсклепіновому просторі камери, а головним чином, в розділених на канали опалювальних простінках.

Перші печі Коппе з'явились у Донбасі в 1860 р., коли почав виробляти чавун Петровський завод на березі р. Садки Бахмутського повіту Катеринославської губернії, створений за проектом вже згаданого А. Ф. Мевіуса [27, 30]. В 1862 р. на підприємстві працювали вже три доменні печі. Для забезпечення їх коксом була збудована батарея з 50 полум'яних печей на Верівському руднику, поблизу станції Государев Байрак Бахмутського повіту.

Полум'яні печі, у порівнянні з попередніми конструкціями, мали суттєві переваги. Коксові печі цієї системи працювали під розрідженням (тиск в них був меншим за атмосферний), що створювало сприятливі умови для зниження викидів шкідливих речовин у довкілля. При спалюванні парогазових продуктів та частини засипу теплота, що виділялась, нагрівала кладку опалювальних простінок. Тому коксування здійснювалось не лише внаслідок безпосереднього горіння, а й за рахунок акумульованої кладкою теплоти (так званої «теплової інерції»), яка при наступному завантаженні шихти передавалась вугільному засипу. Це дало можливість зменшити витрату теплоти на коксування та угар коксу, тому що більша частина тепла надходить від спалювання парогазових продуктів, а не частини засипу. Акумуляція теплоти кладкою суттєво ускладнювала вивантаження коксу, унеможливаючи використання ручної праці. Це стимулювало розвиток механізації обслуговування коксових печей (видачі, а згодом і завантаження). Зокрема, на зміну витягуванню коксу крізь єдиний отвір в хлібопекарних печах прийшло його виштовхування – полум'яні печі мали два отвори: з

одного боку (машинного) розташовувалась спеціальна машина (коксовиштовхувач), яка виштовхувала кокс на протилежний бік (коксовий).

Наприкінці ХІХ ст. полум'яні печі були в більшості промислово розвинених країн через розвиток хімічної промисловості витіснені печами з уловлюванням хімічних продуктів, але більш ніж через сторіччя інтерес до них відродився через конкуренцію з боку нафтопереробної промисловості, підвищення вимог до охорони довкілля, привабливість виробництва разом з коксом як супутньої продукції «універсального товару» – електричної та теплової енергії. При цьому всі сучасні переваги цих печей реалізовані на новій технічній основі, і є результатом прогресу в суміжних галузях, перш за все енергетиці та електромашинобудуванні [2]. Тому не можна погодитися з думкою деяких фахівців, що це є регресом, і наступним кроком буде удосконалення ще більш давньої технології коксування в купах. До речі, і її розвиток на новому технічному рівні (в ретортах з дозованим надходженням повітря та знешкодженням парогазових викидів) є актуальним з точки зору отримання деревинного вугілля та його активації для потреб медицини, охорони довкілля та інших галузей. Не втратили своєї актуальності до цього часу і багато технічних рішень, вперше застосованих саме в полум'яних печах, зокрема, об'єднання печей періодичної дії в батареї безперервної дії, розділення опалювального простінку на досить велику кількість вертикальних опалювальних каналів, використання коксових машин для завантаження вугілля та видачі коксу. Ефективним є попереднє ущільнення (зокрема, трамбування) шихти перед коксуванням [31]. В деяких випадках економічно виправданим є розвиток технологій отримання як цільових продуктів не коксу, а газів для енергетичного та хімічного використання, як це було раніше при виробництві світильного газу, а зараз зумовлює розвиток технологій газифікації [32].

Список літератури: 1. Отрицания отрицания закон // Философская энциклопедия. / [Исаев И., Семенов В., Шамотин С., Минасян А.]. – Т. 4. – М. : Советская энциклопедия, 1967. – С. 188–189. 2. Новая технология коксования “Heat-Recovery” / М. Ю. Посохов, М. И. Стуков, У. Коханский [и др.] // Кокс и химия. – 2006. – № 3. – С. 23–26. 3. Харлампович Г. Д. Черный хлеб металлургии. / Г. Д. Харлампович, А. А. Кауфман – М. : Металлургия, 1983. – 160 с. 4. Наумов Л. С. На орбите кокса. / Л. С. Наумов, Л. Д. Соболев. – М. : Металлургия, 1984. – 96 с. 5. Глушенко И. М. Химическая технология горючих ископаемых. / И. М. Глушенко. – К. : Вища школа, 1985. – 447 с. 6. Кокс и химия. – 1979. – № 7; – 1980. – № 7; – 1989. – № 7; – 1990. – № 6; – 1999. – № 7; – 2004. – № 7; – 2005. – № 9; – 2009. – № 3, 7. 7. УглеХимический журнал. – 2000. – № 1–2; – 2005. – № 1–2; – 2006. – № 1–2; – 2007. – № 6; – 2008. – № 5–6; – 2009. – № 3–4. 8. Кауфман А. А. Очерки истории коксохимической промышленности. / А. А. Кауфман, В. В. Запарий. – Екатеринбург : УПИ, 2007. – 210 с. 9. Юровицкий О. Потребность / О. Юровицкий // Философская энциклопедия. – Т. 4. – М. : Советская энциклопедия, 1967. – С. 327–328. 10. Айзикович А. Общественные интересы / А. Айзикович // Философская

энциклопедия. – Т. 4. – М. : Советская энциклопедия, 1967. – С. 116–117. **11.** Кедров Б. Наука / Б. Кедров, А. Спиркин // Философская энциклопедия. – Т. 3. – М. : Советская энциклопедия, 1964. – С. 562–584. **12.** Концепции современного естествознания. / [Тютюнников Ю. Б., Шульга И. В., Филоненко Ю. Я., Чешко В. Ф.]. – Харьков : Издательский дом ИНЖЭК, 2005. – 480 с. **13.** Доменное производство. Справочное издание. В 2-х т. Т.1. Подготовка руд и доменный процесс. – М. : Металлургия, 1989. – С. 8–17. **14.** Агрикола Г. О горном деле и металлургии. / Г. Агрикола. – М. : Недра, 1986. – 294 с. **15.** Аристотель. Метеорологика // Соч. Т. 3. – М.: Мысль, 1981. – С. 441–558. **16.** Кокс кам'яновугільний і пековий. Терміни та визначення: ДСТУ 2401-94. – К.: Держстандарт України, 1994. – 22 с. **17.** Дешалит Г. И. Производство кокса. / Г. И. Дешалит. – Харьков: Український робітник, 1931. – 144 с. **18.** Халабузарь Г. С. Эволюция коксовых печей за 200 лет / Г. С. Халабузарь, Е. Б. Левин // Кокс и химия. –1936. – № 1. С. 44–53. **19.** Гинзбург Д. Б. Газификация топлива и газогенераторные установки. / Д. Б. Гинзбург. М. – Л. : Легпромиздат, 1938. – 604 с. **20.** Соловьев С. М. История России с древнейших времен. / С. М. Соловьев. – М.: Соцэкгиз, 1961. – Кн. V (Т. 9–10). – 756 с. **21.** Соловьев С. М. История России с древнейших времен. / С. М. Соловьев. – М. : Соцэкгиз, 1964. – Кн. XII (Т. 23–24). – 715 с. **22.** Ченакал В. Л. М. В. Ломоносов в портретах, иллюстрациях, документах. / В. Л. Ченакал. – М. – Л. : Просвещение, 1965. – 316 с. **23.** В память 150-летнего юбилея Горного института в Петрограде // Горный журнал. – М., 1923. С. 748–763. **24.** Быков Г. В. История органической химии. – М. : Наука, 1978. – 379 с. **25.** Гоголь Н. В. Невский проспект / Н. В. Гоголь // Избранные произведения. – М. – Л. : ОГИЗ, 1947. – С. 211–227. **26.** Мезенин Л. А. Лауреаты демидовских премий. / Л. А. Мазанин. – Л.: Наука, 1987. – 198 с. **27.** Журило А. Г. А. Ф. Мевіус – перший професор металургії чавуну і сталі в Україні // Вісник НТУ ХП. Сер. Історія науки і техніки. – 2008. – Вип. 8. – С. 72–80. **28.** Лекок Е. Коксовые печи. / Е. Лекок, Л. Лекок. – Харьков : ГОНТИ, 1933. – 324 с. **29.** Габинский Я. О. Курс коксового производства. / Я. О. Габинский. – Харьков – К. : ГОНТИ – НКТП – ДНТВУ, 1936. – Т. 1. – 364 с. **30.** Доброхотов Н. Н. А. Ф. Мевіус – первый профессор металлургии чугуна и стали на Украине / Н. Н. Доброхотов, Н. П. Гнып // Вопросы производства стали. – 1956. – Вып. 3. С. 191–197. **31.** Теория и практика производства доменного кокса высокого качества из трамбованных шихт пониженной спекаемости / Ковалев Е. Т., Васильев Ю. С., Кузниченко В. М. и др. // Углекислотный журнал. – 2009. – № 3–4. – С. 24–30. **32.** Ковалев Е. Т. Анализ перспективных для Украины технологий производства из угля аналогов продуктов переработки нефти и природного газа / Е. Т. Ковалев, И. В. Шульга // Углекислотный журнал. – 2007. – № 1–2. С. 37–43.

Надійшла до редколегії 15.04.10