

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА CIVIL SAFETY

УДК 662.74

Vasyl A. Kravets, DSc., Professor

ORCID ID 0000-0003-2099-9467 *e-mail*: v.a.kravets@donnaba.edu.ua.

Victoria M. Mikheyenko, PhD, Associate Professor

ORCID ID 0000-0001-7685-2507 *e-mail*: v.m.mikheenko@donnaba.edu.ua

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Kramatorsk, Ukraine

DEVELOPMENT OF SOLID WASTE UTILIZATION TECHNOLOGY IN COKE FURNACES

Abstract. *In industrial centers with coke oven and by-product production, it is advisable to use existing coke ovens for the processing of the organic part of waste. At the same time, sanitary and environmental problems are solved, and the load of production capacities of the coke oven and by-chemical industry is ensured in a crisis. The target of the work is to develop the basics of technology for the use of plastic waste and coke dust in the coke oven process. In laboratory conditions, two variants of the technology of briquetting coke dust with plastic from household waste were developed. In the first version, briquettes were produced by singling a mixture of coke dust with crushed PET bottles, polystyrene and PCB products and polyethylene films at a temperature of about 220 °C. But the briquettes obtained by this method were mechanically not durable, which did not provide requirements for transportation on the conveyor. In the second version, briquettes were produced by cold pressing a mixture of coke dust with withering plastic solution in coke solvent. Such briquettes turned out to be mechanically durable, they were made about 5 kg, and industrial coking was carried out by the use of the be agree method by loading into the third hatch of the battery No. 2 of the Makeevka Coke and Chemical Plant. Coke obtained as a result of an industrial experiment of coke from the charge with the addition of briquettes was investigated according to standard methods. It was established that prior to giving 3–5% of briquettes in the coke hate, coke is possible to obtain an economical effect due to coal savings.*

Keywords: *solid household waste; coke production; coking charge; coke quality*

© В.А. Кравець, В.М. Міхєєнко, 2022

В.А. Кравець, В.М. Міхєєнко

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Краматорськ, Україна

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ У КОКСОВИХ ПЕЧАХ

***Анотація.** У промислових центрах, що мають коксохімічне виробництво, доцільно використовувати існуючі коксові печі для переробки органічної частини ТПВ. При цьому вирішуються санітарні та екологічні проблеми і забезпечується звантаження виробничих потужностей коксохімічної галузі в умовах кризи. Метою роботи є розробка основ технології з використання в коксовому процесі брикетів на основі відходів пластику і коксового пилу. В лабораторних умовах були опробовані два варіанти технології брикетування коксового пилу з пластиком з побутових відходів. У першому варіанті брикети вироблялися шляхом спікання суміші коксового пилу з подрібленими ПЕТ пляшками, виробами з полістиролу та ПХВ і поліетиленовими плівками при температурі близько 220 °С. Але брикети, отримані цим методом, виявилися механічно не міцні, що не забезпечувало вимоги до транспортування і пересипок на конвеєрі. У другому варіанті брикети вироблялися методом холодного пресування суміші коксового пилу з в'язким розчином пластику у коксовому сольвенті. Такі брикети виявилися механічно міцними, їх виготовили близько 5 кг, і було проведено промислове коксування ящичним методом шляхом звантаження у третій люк батареї №2 Макіївського коксохімічного заводу. Отриманий в результаті промислового експерименту кокс з шихти з додаванням брикетів був досліджений за стандартними методиками. Виконувався технічний аналіз коксу на зольність, вміст сірки і вихід летючих. Додатково визначалася реакційна здатність і гаряча міцність CRS. Дослідження коксу виконувалося в заводській лабораторії Макіївського коксохімічного заводу. Встановлено, що додавання 3–5% брикетів в шихту для коксування забезпечує отримання коксу прийнятної якості. Можливе отримання економічного ефекту за рахунок економії вугілля. Таким чином, цей технологічний напрям є перспективним і доцільні подальші дослідження для удосконалення технології брикетування полімерів з коксовим пилом, подачі полімерів у шихту і режимів коксування.*

***Ключові слова:** тверді побутові відходи; коксохімічне виробництво; шихта для коксування; якість коксу*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.44-55>

Вступ

Мета роботи – розробка технології утилізації полімерних відходів у коксових печах.

Проблема. Проблема твердих побутових відходів (ТПВ) в даний час є актуальною для великих промислових центрів. Найбільш перспективним напрямком її вирішення вважається сортування сміття з утилізацією корисних компонентів. Але на цьому шляху є серйозні перешкоди. Перш за все, необхідна мережа підприємств для переробки вторинної сировини з відсортованого сміття. Крім того, необхідно переконати населення в необхідності спорудження сортувальних станцій, що часто викликає протести мешканців районів, прилеглих до території, де проєктуються станції.

З іншого боку, в багатьох промислових регіонах розташовані коксохімічні підприємства, які могли б утилізувати органічну частину ТПВ.

Українську коксохімію вразила економічна криза, що має такі характерні риси.

1. Криза в металургії носить глобальний характер і, отже, буде тривалою. Українська металургія не витримує конкуренції на зовнішніх ринках з китайськими і російськими підприємствами. Після різкого падіння виробництво металу ніколи не повернеться до докризового рівня.

2. Знизився попит на кокс, який є основною продукцією коксохімічних заводів. Виникає проблема завантаження наявних потужностей і збереження кадрів.

3. Одним з можливих рішень є переорієнтація коксохімії на переробку ТПВ. Можливі наступні напрямки переорієнтації галузі.

1. Кокс перестає бути головним продуктом, все більшого значення набувають хімічні продукти коксування, які затребувані на внутрішньому ринку. Необхідно змінювати склад шихти і режим коксування таким чином, щоб забезпечити підвищений вихід коксового газу і бензолних вуглеводнів.

2. Додаток ТПВ в шихту вирішує санітарні проблеми міст, забезпечить використання існуючих коксових печей і отримання цінних хімічних продуктів коксування без істотних змін технології і капітальних витрат.

3. У структурі витрат на виробництво коксу близько 80% становить вартість вугільної шихти. У зв'язку з витратами на видобуток вугілля, що збільшуються, і дефіцитом коксового вугілля ця частка буде зростати. Додаток ТПВ розширює сировинну базу коксування за рахунок дешевих відходів.

Коксохімічна промисловість потенційно здатна вирішити проблему накопичення відходів в Україні. Їх можна утилізувати шляхом спільного безкисневого піролізу з вугільною шихтою, використовуючи їх в якості добавки до шихти. При цьому відбувається суттєва економія вугілля, що є доцільним з урахуванням фактів про видобуток, запаси, ціни на вугілля, стан шахтного фонду України. Однак реалізація подібної технології вимагає збереження якості виробленого коксу і мінімізації емісії повітряних забруднювачів у порівнянні зі звичайним спалюванням на сміттєспалювальних заводах (ССЗ).

Проблема утилізації ТПВ вирішується найбільш важко, оскільки вони є вкрай нестабільною і неконтрольованою сумішшю паперу, картону, харчових залишків, пластмаси, гуми, скла, будівельного сміття, металу, батарейок. На відміну від розвинених країн, в Україні практично відсутнє попереднє сортування ТПВ населенням і комунальними службами, про що повсюдно забувають прихильники будівництва ССЗ західноєвропейського зразка в Україні.

На думку авторів [1], проблема вуглецевих ТПВ може бути ефективно вирішена на базі дуже розвинутої в Україні коксохімічної промисловості. Майже половина населення України і більше 2/3 запасів і джерел ТПВ зосереджені на території Східної України, де знаходиться багато коксохімічних підприємств, які можуть стати базою для створення нової сміттєпереробної промисловості. До цих підприємств належать: Авдіївський, Маріупольський коксохімічний заводи, а також на окупованій території – Алчевський, Єнакіївський, Макіївський, Ясиновський, Горлівський заводи і ін.

В умовах погіршення сировинної бази коксування та дедалі більшої актуальності проблеми накопичення ТПВ утилізація відходів в коксових печах

може дати двосторонній позитивний еколого-економічний ефект в рамках концепції сталого розвитку, що полягає в максимально екологічній утилізації відходів поряд з економією коксівного вугілля. Можливості, створювані цією концепцією в умовах Донбасу, обумовлюють актуальність досліджень в даному напрямку.

При різноманітні запропонованих технологій переробки ТПВ і досліджень в області впливу на процес коксування різних добавок у вугільну шихту, в літературі, що досліджується, практично відсутні дані про результати спільного коксування вугільної шихти з ТПВ (сумішшю).

Шкідливою складовою ТПВ є відходи пластичних мас (ВПМ), масова частка яких в ТПВ складає всього 8–10%, але внаслідок малої щільності об'ємна частка досягає 30–35%. Отже, вилучення та утилізація тільки полімерів зменшить обсяг відходів на третину, збільшивши термін наповнення полігонів. Частина сміття, що залишилася, матиме вищу стисливість, ніж в суміші з ВПМ. Рихлість і низька стисливість саме пластикових відходів призводить до частих спалахів полігонів. При горінні відходів, що містять ПВХ, неминуче утворення діоксинів. Значить, витяг полімерної частини істотно підвищить екологічну безпеку звалищ [2]. В цілому, до 90% полімерних відходів представлено поліетиленом (ПЕ) і полістиролом (ПС) [3], також є значна частка полівінілхлориду (ПВХ), поліолефінів (ПО) і поліетилентерфталату (ПЕТ).

Можливість розведення вугільної шихти ВПМ розглянута в роботі [4]. Вже тут відзначається погіршення сировинної бази коксування і користь органічних добавок, що підвищують спікаємість шихти. Технологічна цінність добавки тим вище, чим ближче температура розкладання добавки до температури пластичності вугілля. Що стосується відходів ПМ, в коксуванні і спіканні бере участь лише та їх частина, яка безпосередньо контактує з поверхнею вугільних частинок. Тому потрібно не допускати надлишку пластмас, який термічно розкладеться, випарується і збільшить вихід летючих речовин.

Пізніше, в [3], було досліджено вплив 1% і 3% добавок ПЕ і ПС в шихту, складену з вугілля Донбасу. Вихід твердого залишку знижується на 3–4%, вихід газу на 1–27%, вихід смоли зростає в 1,55–2,7 рази, пірогенетичної води на 6–39%, аміаку на 18–41%, сірководню на 12–22%, бензолних вуглеводнів на 14–26%. Відзначено можливість різних полімерних добавок змінювати хімічну активність коксу в широких межах. Подальший розвиток дана тема отримала в [5]. У еталонну шихту додавали 1, 2, 5, 10% ОПМ. Встановлено, що до 5% добавки не погіршує технологічні і споживчі властивості продуктів коксування. Показники К50 і П25 поліпшуються. Реакційна здатність і калорійність коксового газу збільшуються відповідно до величини добавки при сталості пористості коксу. Особливо відзначається зниження вмісту бенз [а] пірену і бенз [е] пірену в смолі. Пізніше [6] в Росії були проведені дослідні коксування вуглів Кузнецького басейну з ВПМ.

Отримані результати свідчать про поліпшення якості коксу і збільшення виходу хімічних продуктів при невеликій добавці відходів (найкращі результати отримані при 3% добавки). Однак встановлено, що пластмасу можна змішувати з низькометаморфізованим вугіллям, що має малу товщину пластичного шару.

В Японії утилізація ВПМ в коксових печах успішно застосовується з 2000 р. Проводилися дослідження з ПЕ, ПП, ПВХ, ПС, ПЕТФ, ТФК (терефталева кислота). Вводилося 1–5% пластику розміром < 150 мкм. ПЕ, ПП, ПВХ в кількості до 5% слабо впливали на максимальну плинність вугілля і його загальну дилатацію, в той час як вплив ПС, ПЕТФ і ТФК значний (ПС впливає менше, ніж ПЕТФ і ТФК). Виявилось деяке збільшення барабанної міцності при додаванні ПЕ, але суттєве її зниження при введенні ПС і ПЕТФ. Тому при промислових коксуваннях кількість добавки знизили до 1% (механічна і гаряча міцність коксу не знижується). Це означає утилізацію пластику в обсязі 500 тис. т/рік і дає економію енергії в країні в 0,75% [7, 8].

Автори [2] наполягли на попередній переробці ВПМ і, розвиваючи тему, запропонували технологію термопрепарування ВПМ «Карботермія», яка наближає відходи до кам'яного вугілля за фізико-хімічними властивостями і полегшує їх використання в промислових умовах. Вона дозволяє виключити стадію подрібнення пластмас до необхідних для коксування і провести їх глибоке дехлорування. Технологія полягає в двоступінчастому термолізі у вугільних або нафтових бітумах (ВПМ : бітум = 4:1). Отриманий твердий продукт Карботермія – сипучий, термомеханічно стабільний продукт, склад якого можна широко варіювати, змінюючи кількість і якість сировинних компонентів. У процесі досліджень не відзначено технологічних труднощів і небажаних побічних явищ. 5% Карботермії як добавки не знижує якості коксу та інших продуктів коксування.

У Китаї були проведені роботи з розвитку застосовуваної в Японії технології спільного коксування ВПМ і шихти [9]. Відходи піддали плавленню і брикетуванню, внаслідок чого досягнуто відразу дві мети – збільшення частки добавки до 2%, при необхідності до 4%, поліпшення міцності коксу CSR і реакційної здатності CRI. Однак результати оцінили як попередні.

В Іспанії, в Національному інституті Карбону [10], також не залишили без уваги дану розробку. Склад коксівних відходів обмежував тільки зміст ПВХ не більше 2% для недопущення корозії апаратури. Максимальна плинність суміші вугілля і ВПМ визначалася пластиками поліолефінової природи – ПП і ПЕ. При збільшенні частки пластиків поліароматичної природи – ПС і ПЕТФ – її значення систематично зменшувалось. Встановлено, що введення 2% ПЕ високої щільності підвищує тиск коксування з 11,8 до 50 кПа. При збільшенні частки ПС + ПЕТФ відбувається лінійне зниження тиску коксування. Передбачається, що присутність біомаси (овочі) і целюлози в спільному коксуванні ВПМ та вугільної шихти знижує тиск коксування. Якість коксу із сумішей по «холодній» міцності підвищувалася на 1–4 пункти, але чітка залежність не виявлена. ПЕ високого тиску практично не вплинув на CRI, але спричинив зростання CSR. ПС і ПЕТФ підвищують індекс CRI. Таким чином, автори підкреслюють важливість співвідношення поліолефінових і поліароматичних пластиків, яке визначає тиск коксування і основні показники якості коксу. Пізніше [11] було знайдено оптимальне співвідношення цих двох груп пластиків – частка поліолефінів в пластичних відходах не повинна перевищувати 65%, а ароматичних полімерів має бути не менше 35%.

У Бразилії були проведені дослідження, в яких оцінені ефекти додавання пластмас і відходів рослинного масла на якість коксу в процесі коксування в експериментальному масштабі [12].

Таким чином, на підставі аналізу наукової і технічної літератури можна зробити наступні висновки:

1. Проблема твердих побутових відходів остаточно не вирішена ні в світі, ні в Україні. Захоронення відходів є витратним методом і створює багато санітарних та екологічних проблем, особливо через 15–20 років після захоронення. Спалювання відходів призводить до утворення високотоксичних викидів в атмосферу і з екологічної точки зору є неприйнятним. Найбільш перспективним є сортування сміття, але тоді потрібно створити мережу підприємств по переробці відсортованих відходів.

2. Коксохімічне виробництво в даний час стикається з низкою проблем. Це дефіцит спікливого вугілля (при тому, що загальна кількість вугілля в світі велика), подорожчання вугілля внаслідок погіршення умов видобутку, зниження попиту на кокс у зв'язку зі світовою кризою і падінням виробництва сталі.

3. Деякі автори проводили дослідження з додавання в шихту для коксування органічної частини твердих побутових і промислових відходів. Використання відходів у виробництві коксу дозволило б частково вирішити санітарні проблеми міст і пом'якшити проблеми коксохімічної галузі за рахунок заміни в шихті частини дефіцитного вугілля і забезпеченні завантаження виробничих потужностей за рахунок переробки сміття.

4. Однак на цьому шляху є серйозні перешкоди. В даний час не розроблена технологія підготовки відходів для коксування і недостатньо досліджено питання про вплив добавок відходів на якість коксу.

Експериментальна частина

Методика виконання роботи в цілому включала в себе наступні етапи:

- лабораторні дослідження можливості брикетування коксового пилу з полімерними компонентами ТПВ;
- підбір складу брикетів, що забезпечують їх механічну міцність при транспортуванні по конвеєру, пересипанні і завантаженні в піч разом з шихтою;
- виготовлення достатньої кількості брикетів заданого складу (близько 5 кг);
- коксування брикетів спільно з шихтою в промислових умовах;
- дослідження властивостей отриманого коксу.

Методика лабораторних досліджень. Для дослідження в лабораторних умовах можливості брикетування полімерних відходів з коксовим пилом використовувалися побутові відходи, з яких вибиралися пляшки з ПЕТ (лавсан), пакети та плівка з ПЕ, вироби з ПС і ПХВ. Раніше в роботі [13] досліджено хімічний склад продуктів піролізу найпоширеніших побутових полімерних відходів з метою визначення їх можливого промислового використання. Коксовий пил був набраний з підлоги і конструкцій коксортування Макіївського коксохімічного заводу.

Брикети виготовлялися двома способами: спіканням суміші коксового пилу і полімерів при температурі до 220 °С і холодним пресуванням суміші коксового пилу і густого в'язкого розчину різних полімерів в коксовому сольвенті.

Для отримання брикетів методом спікання була виготовлена лабораторна дослідна установка, схема якої показана на рис. 1.

У розігріту до температури 200–230 °С порожнину змішувача завантажувалася порція розрізаних ПЕТ (поліетилентерефталат) пляшок. Коли досягався розплавлений стан, через завантажувальну воронку засипали

коковий пил. Суміш перемішувалася обертанням ротора за допомогою електродвигуна. Температура в порожнині змішувача вимірювалася хромель-алюмелевою термопарою і підтримувалася на заданому рівні за допомогою терморегулятора РТ-16 / 2D1 (інтервал регулювання від -70 до +500 °С, точність вимірювання ± 1 °С). Після перемішування в'язка суміш продавлюється через випускний отвір, що відкривається. При цьому відбувалося формування брикетів діаметром 20 мм і товщиною 10–15 мм.

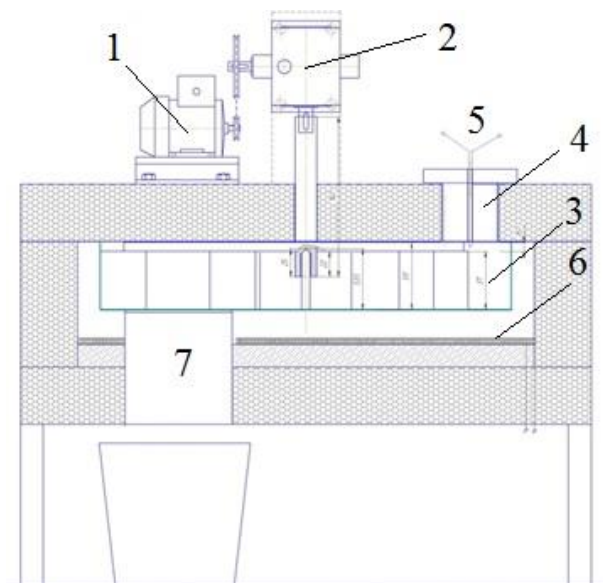


Рис. 1. Схема змішувача для спікання брикетів:

1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – скребок; 4 – завантажувальний отвір;
5 – термопара; 6 – нагрівальна спіраль; 7 – отвір для вивантаження

Для отримання брикетів холодним методом в коксовому сольвенті розчинявся пінопласт (спінений полістирол) і отримувався в'язкий розчин. Цей розчин змішувався з коксовим пилом в заданих співвідношеннях на установці для спікання брикетів при відключеному підігріві. Установа (рис. 1) в цьому випадку використовувалася як холодний змішувач. Суміш потім наносилася на гумові ґрати товщиною 15 мм з отворами діаметром 30 мм. Густиий розчин продавлювався через ґрати. При цьому формувалися брикети діаметром 30 мм і товщиною 15 мм, які після висихання піддавалися подальшим дослідженням. Пристрій для отримання брикетів холодним методом показано на рис. 2.

Зважування компонентів проводилося на електронних вагах DS professional (точність зважування $\pm 0,01$ г).

Методика промислових досліджень. Промислові дослідження проводилися в коксовому цеху Макіївського коксохімічного заводу ПАТ «Макіївкокс» на коксовій батареї №2.

Виготовлені в лабораторних умовах брикети вкладалися в спеціально виготовлені сталеві ящики розміром 100 × 100 × 300 мм і перемішувалися з шихтою стандартного для даного заводу складу в заданому співвідношенні (3–5% по масі). У стінках ящиків були зроблені отвори діаметром 5 мм для виходу газу. Для запобігання передчасному висипанню шихти з ящиків вони зсередини попередньо вистилаються папером.

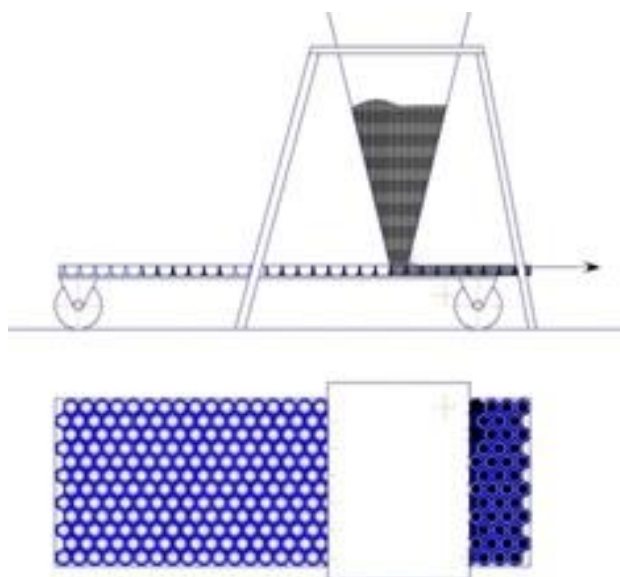


Рис. 2. Пристрій для холодного пресування брикетів

Ящики з сумішшю брикетів і шихти вкидали вручну в коксову піч відразу після завантаження через третій завантажувальний люк.

Після закінчення періоду коксування, видачі печі, мокрого гасіння коксу і вивантаження на рампу, ящики за допомогою гаків витягувалися з рампи. Після цього ящики розкривалися, а кокс з них піддавався дослідженню за стандартними методиками. Виконувався технічний аналіз коксу на зольність, вміст сірки і вихід летючих. Додатково визначалася реакційна здатність і гаряча міцність CRS. Дослідження властивостей коксу виконувалося в заводській лабораторії Макіївського коксохімічного заводу.

Результати та їх обговорення

На прохання працівників Макіївського коксохімічного заводу була досліджена можливість отримання брикетів з коксового пилу, що утворюється у відділенні коксортування коксового цеху.

На установці гарячого брикетування проводилася серія дослідів з одержання брикетів з коксового пилу з використанням розплавленого пластику.

Розрізані на шматки ПЕТ пляшки засипалися в установку і нагрівалися до 230 °С при безперервному перемішуванні. Потім, коли дно установки покривалося в'язким шаром напіврозплавленого полімеру, в установку засипали коксовий пил. Співвідношення пластику до пилу становило 3:7 за вагою. Після перемішування протягом 30 хвилин утворювалася суміш, яка вивантажувалася через вихідний отвір з подальшим формуванням брикетів діаметром 20 мм.

У процесі дослідження були встановлені фактори, що негативно впливають на процес. Зокрема, ПЕТ після досягнення температури більш 200 °С починав переходити у в'язкий стан, але потім під впливом гарячого повітря знову твердів і ставав тендітним. При механічному перемішуванні він блокував рух ротора, а з коксовим пилом міцних брикетів не утворював.

В іншій серії дослідів, в якості сполучного використовувалася розплавлена поліетиленова плівка. Вона переходила в рідкий стан при температурі близько 110 °С і добре перемішувалася з коксовим пилом, утворюючи брикети. Однак, отримані брикети були недостатньо міцними, а при впливом води розсипалися. Тому результати цих серій були визнані незадовільними.

У зв'язку з цим були виконані дослідження з холодного брикетування коксового пилу. В якості сполучного використовувався в'язкий розчин пінопласту в коксовому сольвенті.

Пінопласт розчинявся в сольвенті при кімнатній температурі до повного насичення і утворення густої маси. В установку, показану на рис. 1, засипали коксовий пил. Потім при відключеній системі підігріву і при включеному перемішуванні в приймальну воронку заливався розчин. Співвідношення між пилом і розчином становило 7:3 за вагою. Після перемішування густа в'язка суміш вивантажувалася у воронку установки холодного брикетування, показану на рис. 2. На установці формувалися холодним способом брикети. Форма брикетів була близька до циліндричної з діаметром 20–30 мм і товщиною 15–20 мм.

Отримані брикети після висихання протягом доби були механічно міцні (зберігали форму і цілісність при скиданні з висоти 1 м на металеву поверхню). Вони виявилися стійкими до дії вологи (зберігали форму при замочуванні у воді і не проявляли схильності до злипання). Таким чином, брикети були придатні до транспортування по конвеєру, пересипання і зберігання в бункерах в промислових умовах.

На фотографії показані брикети, отримані методом холодного брикетування (рис. 3).



Рис. 3. Брикети з коксового пилу з добавкою пластику, отримані методом холодного брикетування (фото)

Таким способом було виготовлено близько 5 кг брикетів, які були піддані коксуванню в промислових умовах.

На батареї №2 коксового цеху ЗАТ «Макіївкокс» було проведено дослідне коксування експериментальної шихти з добавкою брикетів.

Коксування проводилося в сталевих ящиках розміром 100 * 100 * 300 мм з отворами для виходу газів. Склад брикетів: коксовий пил – 70%; в'язкий розчин відходів пластику в коксовому сольвенті – 30%.

Було випробувано два варіанти дослідної шихти: з добавкою 3% брикетів і добавкою 5% брикетів. Бралася шихта, що використовувалася на той час на Макіївському коксохімічному заводі, наступного складу: Ж – 7%; К – 87%; КС – 6%. Період коксування становив 17 годин.

В результаті промислового експерименту було отримано кокс, показники якого наведені в таблицях 1 і 2.

Таблиця 1 – Технічний аналіз коксу

Частка брикетів у шихті, %	A ^p	S ^r	V ^r
0	10,3	0,6	0,5
3	11,6	0,62	0,6
5	11,7	0,64	0,2

Таблиця 2 – Показники якості коксу

Частка брикетів у шихті, %	Реакційна здатність, %	Гаряча міцність CSR, %
0	25	58
3	34,3	45,4
5	32,2	46,8

Аналіз коксу виконувався в заводській лабораторії ЗАТ «Макіївкокс».

З таблиць 1 і 2 видно, що добавка до шихти брикетів на основі коксового пилу і пластику призводила до погіршення якості коксу за показниками реакційної здатності, гарячої міцності і зольності. При цьому жоден з показників не вийшов за межі допустимих відхилень.

Це погіршення може бути в подальшому компенсовано за рахунок зміни складу брикетів і вдосконалення технології їх приготування.

Таким чином, в результаті проведених лабораторних і промислових досліджень розроблено основні технологічні рішення з утилізації компонентів ТПВ (відходів пластику) в коксових печах з одночасною утилізацією коксового пилу (відходу коксортування) і отриманням коксу прийнятної якості.

Висновки

В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. У великих промислових центрах, що мають коксохімічне виробництво, доцільно використовувати існуючі коксові печі для переробки органічної частини ТПВ. При цьому вирішуються санітарні та екологічні проблеми і забезпечується завантаження виробничих потужностей коксохімічної галузі в умовах кризи.

2. В роботі розроблені основи технології з використання в коксовому процесі брикетів на основі відходів пластику і коксового пилу. Показано, що додавання 3–5% брикетів в шихту для коксування забезпечує отримання коксу прийнятної якості. Можливе отримання економічного ефекту за рахунок економії вугілля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Парфенюк А.С., Антонюк С.И., Топоров А.А. Альтернативное решение проблемы твердых отходов в Украине // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – №4. – С. 36–41.
2. Соболевски А., Васелевски Р. Об утилизации отходов пластических масс в процессе коксования // Кокс и химия. – 2004. – №12. – С. 34–40.
3. Егоров В.М. Использование отходов пластических масс в угольных шихтах для коксования // Кокс и химия. – 1997. – №3. – С. 19–20.
4. Егоров В.М., Кутовой П.М., Гончаров В.Ф., Косточкин А.Р. и др. О применении твердых полимеров в коксовании // Кокс и химия. – 1984. – №10. – С. 15–19.
5. Барский В.Д., Снежко Л.А., Иващенко В.А., Федулов О.В., Мадатов А.В. Коксование отходов пластмасс совместно с угольной шихтой. Результаты опытных коксований // Кокс и химия. – 2000. – №2. – С. 32–37.
6. Базегский А.Е., Салтанов А.В., Зоткина Н.А., Пьяных Е.В. Коксование шихт из кузнечских углей с добавками отходов пластических масс // Кокс и химия. – 2002. – №10. – С. 15–19.
7. Цикарев Д.А. Процесс рециркуляции отходов пластиков в коксовых печах // Кокс и химия. – 2002. – №12. – С. 41–42.
8. Ухмылова Г.С. Развитие технологии утилизации пластиковых отходов в коксовых печах // Кокс и химия. – 2006. – №6. – С. 34–35.
9. Ухмылова Г.С. Новая технология совместного коксования пластиковых отходов и угольной шихты // Кокс и химия. – 2006. – №7. – С. 34.
10. Гагарин С.Г. Использование отходов пластических материалов в производстве кокса // Кокс и химия. – 2009. – №10. – С. 46–48.
11. Melendi S., Diez M.A., Alvarez R., Barriocanal C. Relevance of the composition of municipal plastic wastes for metallurgical coke production // Fuel. – 2011. – №4. – Vol. 90. – P. 1431–1438.
12. Lange L.C., Ferreira A.F.M. The effect of recycled plastics and cooking oil on coke quality // Waste Management. – 2016. – V. 61. – P. 269–275. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.039>.
13. Лысенко Е.В., Кравец В.А., Калужный В.В., Сердюк А.И. Изучение состава продуктов пиролиза бытовых полимерных отходов // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. – №3. – С. 48–51.

Стаття надійшла до редакції 11.11.2021 і прийнята до друку після рецензування 17.02.2022

REFERENCES

1. Parfenjuk, A.S., Antonjuk, S.I., & Toporov, A.A. (2002). Alternativnoe reshenie problemy tverdyh othodov v Ukraine. *Jekotehnologii i resursosberezhenie*, 4, 36-41 [in Russian].
2. Sobolevski, A., & Vaselevski, R. (2004). Ob utilizacii othodov plasticheskikh mass v processe koksovaniya. *Koks i himija*, 12, 34-40 [in Russian].
3. Egorov, V.M. (1997). Ispolzovanie othodov plasticheskikh mass v ugolnyh shihtah dlja koksovaniya. *Koks i himija*, 3, 19-20 [in Russian].
4. Egorov, V.M., Kutovoj, P.M., Goncharov, V.F., & Kostochkin, A.R. (1984). O primenenii tverdyh polimerov v koksovanii. *Koks i himija*, 10, 15-19 [in Russian].
5. Barskij, V.D., Snezhko, L.A., Ivashhenko, V.A., Fedulov, O.V., & Madatov, A.V. (2000). Koksovanie othodov plastmass sovместno s ugolnoj shihtoj. Rezultaty opytnyh koksovaniy. *Koks i himija*, 2, 32-37 [in Russian].

6. Bazegskij, A.E., Saltanov, A.V., Zotkina, N.A., & Pjanyh, E.V. (2002). Koksovanie shiht iz kuzneckih uglej s dobavkami othodov plasticheskih mass. *Koks i himija*, 10, 15-19 [in Russian].
7. Cikarev, D.A. (2002). Process recirkuljacii othodov plastikov v koksovyh pechah. *Koks i himija*, 12, 41-42 [in Russian].
8. Uhmylova, G.S. (2006). Razvitie tehnologii utilizacii plastikovyh othodov v koksovyh pechah. *Koks i himija*, 6, 34-35 [in Russian].
9. Uhmylova, G.S. (2006). Novaja tehnologija sovmestnogo koksovanija plastikovyh othodov i ugol'noj shihty. *Koks i himija*, 7, 34 [in Russian].
10. Gagarin, S.G. (2009). Ispolzovanie othodov plasticheskih materialov v proizvodstve koks. *Koks i himija*, 10, 46-48 [in Russian].
11. Melendi, S., Diez, M.A., Alvarez, R., & Barriocanal, C. (2011). Relevance of the composition of municipal plastic wastes for metallurgical coke production. *Fuel*, 4(90), 1431-1438.
12. Lange, L.C., & Ferreira, A.F.M. (2016). The effect of recycled plastics and cooking oil on coke quality. *Waste Management*, 61, 269-275. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.039>
13. Lysenko, E.V., Kravec, V.A., Kaljuzhnyj, V.V., & Serdjuk, A.I. (2011). Izuchenie sostava produktov piroliza bytovyh polimernyh othodov. *Jenergotehnologii i resursoberezenie*, 3, 48-51 [in Russian].

The article was received 11.11.2021 and was accepted after revision 17.02.2022

Кравець Василь Анатолійович

доктор технічних наук, професор кафедри прикладної екології, хімії і охорони праці
Донбаської національної академії будівництва і архітектури

Адреса робоча: 84333 Україна, м. Краматорськ, вул. Героїв Небесної Сотні, 14

ORCID ID: 0000-0003-2099-9467 **e-mail:** v.a.kravets@donnaba.edu.ua.

Міхєєнко Вікторія Михайлівна

кандидат хімічних наук, доцент кафедри прикладної екології, хімії і охорони праці
Донбаської національної академії будівництва і архітектури

Адреса робоча: 84333 Україна, м. Краматорськ, вул. Героїв Небесної Сотні, 14

ORCID ID: 0000-0001-7685-2507 **e-mail:** v.m.mikheenko@donnaba.edu.ua.