

УДК 338.3:662.749.2

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/30>**Кравченко С.О.**

ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Мірошниченко Д.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Чеботарьов А.М.

ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Туркіна О.В.

ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Чаплянко С.В.

ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Приплюцький С.І.

ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Лебедєв В.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Грушецький В.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ВИЗНАЧЕННЯ КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ НА РЕКОНСТРУКЦІЮ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА З ПОРІВНЯННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ГАСІННЯ КОКСУ

У рамках розробки науково-технічної документації з реконструкції коксохімічного виробництва одного з найбільших підприємств гірничо-металургійного комплексу України виконано аналіз доцільності впровадження технологій сухого і мокрого гасіння коксу. Основними питаннями, що підлягали вирішенню за рахунок реконструкції, були: збільшення об'єму та ефективності виробництва коксу, покращення якості коксу, розширення сировинної бази зі збільшенням частки слабкоспівного вугілля українського походження у вугільній шихті, стабілізація і збільшення надійності роботи коксохімічного виробництва за рахунок відновлення основних фондів, зменшення шкідливих викидів у навколишнє природне середовище. За даним комплексним проектом до основних об'єктів нового будівництва у коксовому цеху відносилися: вугільна вежа, об'єкти коксової батареї (із впровадженням технології транспортування вугільної шихти), об'єкти установки безпилової видачі коксу, об'єкти комплексу гасіння коксу, об'єкти розсієву коксу, вентустановка подачі повітря в тунелі коксових батарей, насосна гідроінжекція. Показано економічну доцільність впровадження технології сухого гасіння коксу, незважаючи на більшу (на 20,6 %) суму капітальних вкладень (за рахунок будівництва додаткових об'єктів, впровадження додаткових супровідних процесів і використання додаткового обладнання/устаткування) завдяки значній майбутній економії (збільшення доходу від утилізації тепла виробництва коксу, отримання пари енергетичних параметрів і реалізації товарного коксу, зниження витрат коксу та тепла у доменному виробництві, витрат на ремонт устаткування і металоконструкцій, транспортних витрат на перевезення коксу, тощо) і врахуванням фактору рівня впливу на навколишнє природне середовище.

Ключові слова: капітальні вкладення, коксохімічне виробництво, нове будівництво, реконструкція, коксова батарея, гасіння коксу, УСГК.

Постановка проблеми. Розвиток і ефективність діяльності промислових підприємств у значній мірі залежать від їх загальної інвестиційної активності. Капітальні вкладення у збільшення виробничих потужностей, впровадження інноваційних технологій, покращення енергозбереження та зниження рівня шкідливого впливу на навколишнє середовище сприяють забезпеченню розвитку та конкурентоспроможності окремих підприємств, що, у свою чергу, забезпечує стабільність економічного розвитку держави у цілому [1–4]. Слід зазначити, що першочерговою задачею замовника будівництва було збільшення об'єму виробництва металургійного коксу в середньостроковій перспективі на ~30 %.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз роботи коксохімічних підприємств показав, що при застосуванні технології сухого гасіння коксу ефективність використання енергоресурсів становить 90 %. Разом з тим, відповідно до стратегічного плану розвитку підприємств коксо-хімічної галузі України досліджуються питання збільшення ефективності виробництва коксу, покращення якості коксу, розширення сировинної бази зі збільшенням частки слабкоспікливого вугілля українського походження, що використовується в коксуванні, стабілізації і збільшення надійності роботи коксохімічного виробництва за рахунок відновлення основних фондів, зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище відповідно до вимог екологічних норм [5, 6]. Досвід ДП «ГИПРОКОКС» із сумісного використання технологій трамбування вугільної шихти й сухого гасіння коксу свідчить про покращення якості коксу (у середньому: механічна міцність M25 більша на 1,7 %, M10 нижча на 0,6 %, реакційна здатність CRI нижча на 4,5 %, післяреакційна міцність CSR більша на 5,5 %). Покращення якості коксу відображається на його вартості: відпускна ціна 1 т металургійного коксу визначається з урахуванням надбавок до ціни за якість (при збільшенні міцності коксу за показником M25 на 1 % – надбавка до ціни 0,6 %; при зниженні показника M10 на 1 % - надбавка до ціни 2,6 %). Гранулометричний склад коксу сухого гасіння також відрізняється вищою рівномірністю. Вміст крайніх класів крупності коксу зменшується: на 2,5–3,5 % для фракції >80 мм, на 0,1–0,2 % для фракції <25 мм. Вологість коксу сухого гасіння коливається у значно менших межах, що також важливо для стабільної роботи доменних печей. При використанні коксу сухого

гасіння через менший вміст вологи знижуються витрати на ремонт коксовозних вагонів і транспортні витрати на перевезення коксу, не потрібні витрати тепла на випаровування вологи в доменних печах.

Метою даної статті є визначення і порівняння доцільності впровадження технологій сухого і мокрого гасіння коксу при реконструкції коксохімічного виробництва, у тому числі – при новому будівництві промислових об'єктів, в умовах одного з найбільших підприємств гірничо-металургійного комплексу України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Задля отримання намічених результатів у коксовому цеху передбачено нове будівництво двох коксових батарей із технологією трамбування вугільної шихти, установки безпилової видачі коксу (надалі УБВК), установки гасіння коксу, об'єктів розсіву коксу, вентустановки подачі повітря в тунелі коксових батарей, насосної гідроінжекції, тощо.

До складу основних об'єктів для кожної коксової батареї входять:

- коксова батарея з боровами та примиканням спільного борову до димової труби;
- кінцевий майданчик;
- обслуговуючі майданчики вздовж батареї з коксової та машинної сторін;
- димова труба;
- фундаменти та шляхи ТЗВМ;
- фундаменти та шляхи коксогасильного (коксозного) вагона;
- естакада установки УБВК.

Спільними об'єктами для двох коксових батарей є:

- вугільна вежа;
- проміжний майданчик;
- об'єкти мокрого гасіння коксу або УСГК;
- вентустановка безпилової видачі коксу.

УБВК включає: стаціонарний колектор із газоперепускним візком, що прокладається вздовж фронту батарей і призначений для прийому пилоповітряної суміші, яка утворюється при видачі коксу з печі; парасольку спеціальної конструкції, яка встановлюється на коксонапрямній дверізйомній машині; пилоочисну установку з димососами й обладнанням сухого очищення від пилу (циклонами та рукавними фільтрами); з'єднувальний трубопровід від колектора до вентустановки.

До складу об'єктів мокрого гасіння коксу входять:

- гасильна вежа (висотою 40 м) із системою пилепарозаглушення та зрошувальним пристроєм;
- насосна;
- відстійне господарство з естакадою та грейферним візком.

УСГК складається з трьох блоків «камера-котел» (продуктивність кожної 70 т/год) із індивідуальними підйомниками та має підземну частину галереї транспортування погашеного коксу з двома конвеєрними лініями. Передбачено для УСГК і заходи щодо зниження викидів коксового пилу: система аспірації із окремою пилоочисною установкою УСГК (двоступінчасте очищення), очищення від пилу надлишкових циркулюючих газів УСГК (сухі високоефективні пиловловлювачі).

До об'єктів розсіву коксу за технологією мокрого гасіння входять:

- коксова рампа (довжиною 90 м) з бункером зворотного коксу та натяжними станціями;
- перевантажувальні вузли (3 од.);
- коксортувальня з вбудованими бункерами;
- конвеєрні тракти.

До об'єктів розсіву коксу за технологією сухого гасіння входять:

- УСГК (низ);
- установка знепилення коксу;
- перевантажувальні вузли (2 од.);
- коксортувальня з вбудованими бункерами;
- пилоосаджувальна станція з вакуумним пневмотранспортом коксового пилу;
- конвеєрні тракти.

Розрахункова проектна продуктивність хімічних цехів по коксовому газу складе 186540 $\text{нм}^3/\text{год.}$, максимальна продуктивність обладнання по коксовому газу цехів уловлювання та сіркоочищення – до 200000 $\text{нм}^3/\text{год.}$

Слід окремо зазначити, що у цеху уловлювання передбачено, у тому числі, нове будівництво сульфатної установки (із використанням на стадії кристалізації солі вдосконаленої технології безсатураторного способу очищення коксового газу), а у цеху очистки коксового газу від сірководню – реконструкцію об'єктів уловлювання сірководню (доведення продуктивності скрубєрів обох черг (газових потоків) до 80000÷90000 $\text{нм}^3/\text{год.}$ по коксовому газу та встановлення нових для другого ступеня очищення по одному на кожен чергу продуктивністю до 100000 $\text{нм}^3/\text{год.}$). Для технології сухого гасіння коксу в енергетичному господарстві передбачено нове будівництво котельні УСГК з котлом утилізації надлишків циркулюю-

чих газів, деаераційно-живильною установкою та допоміжним корпусом, а також машинного залу УСГК із конденсаційною турбіною. Котли-утилізатори вироблятимуть пару високого тиску, що створить можливість вироблення електроенергії на задоволення власних потреб у кількості 69,04·106 кВт·год на рік (без урахування витрат на УСГК і машинний зал УСГК).

Як зазначалося вище, при розробці науково-технічної документації з реконструкції коксохімічного виробництва визначали доцільність впровадження технологій сухого і мокрого гасіння коксу.

Технологія сухого гасіння коксу, порівняно з мокрим, має наступні переваги [7]:

- утилізація від 40 до 50 % тепла, що витрачається на виробництво коксу;
- отримання пари енергетичних параметрів у кількості 0,45–0,50 т на одну тону погашеного коксу (використовується для технологічних потреб у системі паротеплопостачання підприємства або для виробництва електроенергії);
- скорочення шкідливих викидів в атмосферу;
- зниження витрати коксу в доменному процесі та підвищення продуктивності доменних печей за рахунок поліпшення показників якості металургійного коксу по механічній міцності, реакційній здатності, гранулометричному складу, зменшенню вмісту вологи;
- виключення корозії устаткування і металоконструкцій, яка виникає в зоні впливу краплин-ного виносу при мокрому гасінні;
- збільшення виходу коксу з камери коксування.

Таким чином, при визначенні та порівнянні доцільності технологій сухого і мокрого гасіння коксу слід також враховувати переваги сухого гасіння з майбутньої економії за рахунок: збільшення доходу від реалізації товарного коксу, зниження витрат коксу у доменному виробництві, реалізації додаткової кількості товарного коксового газу (в еквіваленті умовного палива від пари енергетичних параметрів), тощо. Для виконання розрахунків використали відомості, зазначені у звітних даних замовника. Закладено для обох розглянутих технологій гасіння коксу використання вугільної шихти однакового складу.

Вихідні дані для розрахунку наведено у табл. 1, річний об'єм виробництва продукції на коксових батареях – у табл. 2, відомості щодо очищення коксового газу – у табл. 3.

Таблиця 1
Вихідні дані для коксових батарей 1-БІС та 2-БІС

Найменування показника	Значення показника
Кількість коксових батарей, шт.	2
Кількість коксових печей, шт.: у батареї усього	57 114
Об'єм камери коксування, м ³	35,8
Об'єм вугільного пирога, м ³	32,2
Щільність вугільного пирога за сухою шихтою, т/м ³	1,017
Кількість газозбірників на одну батарею, од.	2
Час обороту печей, год.	25,05
Вихід сухого валового коксу з 1 т сухої шихти, %	72,0
Вихід коксу по фракціям, %: кокс доменний (>25 мм), коксівий горішок (10 – 25 мм), коксівий дрібняк (0 – 10 мм)	92,5 2,0 5,5
Вихід коксового газу, приведеного до калорійності 4000 ккал/м ³ , із 1 т сухої шихти, м ³	440
Витрати коксового газу на опалення коксівих батарей, млн.м ³ /рік.	206,9

Таблиця 2
Річний об'єм виробництва продукції коксових
батарей 1-БІС та 2-БІС

Найменування показника	Значення показника
Потреба у сухій шихті для коксування, тис. т	1305,5
Виробництво валового коксу 6 % вологості, тис. т	1000,0
Виробництво сухого валового коксу, тис. т	940,0
Виробництво коксового газу, приведеного до калорійності 4000 ккал/м ³ , тис.м ³ /год.	65,6
Валові ресурси коксового газу, приведеного до калорійності 4000 ккал/м ³ , млн.м ³ /рік	574,4
Виробництво хімічних продуктів*:	
– смола кам'яновугільна безводна, т	48422
– бензол сирий, т	12249
– сульфат амонію, т	22500

* – обсяг виробництва продукції в хімічних цехах розраховано виходячи з кількості використаної для виробництва коксу сухої шихти і прийнятих виходів хімічних продуктів з однієї тонни сухої шихти.

Результати розрахунку капітальних вкладень наведено у табл. 4, з якої видно, що сума капітальних вкладень у реконструкцію коксохімічного виробництва (із врахуванням нового будівництва і демонтажу промислових об'єктів) при використанні технології

сухого гасіння коксу більша на 63,8 млн. доларів США (на 20,6 %) без врахування ПДВ.

Таблиця 3
Відомості щодо очищення коксового газу

Найменування показника	Значення показника
Вміст сірководню у коксовому газі, г/м ³ :	
– до очищення	5÷12
– після очищення	0,5
Вміст аміаку у коксовому газі, г/м ³ :	
– до очищення	12
– після очищення	0,03

Таблиця 4
Результати розрахунку капітальних вкладень

Найменування показника	Різниця у значенні показника** за технологією сухого гасіння коксу
Сума капітальних вкладень без врахування ПДВ, млн. доларів США*,	63,8
у тому числі:	
– вартість будівельних робіт	35,5
– вартість обладнання	24,2
– вартість будівництва УСГК	49,1
Сума капітальних вкладень із врахуванням ПДВ, млн. доларів США*.	76,5

* – наведено за валютним курсом НБУ на дату виконання розрахунків

** – наведено різницю при порівнянні впровадження технологій сухого й мокрого гасіння коксу

Більша сума капітальних вкладень переважно пояснюється вартістю будівництва УСГК і необхідністю: будівництва додаткових об'єктів, впровадження супровідних процесів і використання додаткового обладнання/устаткування за даною технологією. Незважаючи на це, використання технології сухого гасіння коксу дозволить з пари, що виробляється на УСГК, отримувати на рік $69,04 \cdot 10^6$ кВт·год більш дешевої і дефіцитної, станом на сьогодні, електроенергії власного виробництва для задоволення потреб підприємства (замість купівлі дорогої зовнішніх джерел). Тому, незважаючи на більшу вартість, впровадження технології сухого гасіння коксу є виправданим, враховуючи усі вищенаведені переваги даної технології.

Висновки. Таким чином, при реконструкції коксохімічного виробництва одного з найбільших підприємств гірничо-металургійного комплексу України, наведеними результатами розрахунку суми капітальних вкладень, враховуючи значну майбутню економію від інших переваг (збільшення доходу від утилізації тепла виробництва коксу, отримання

пари енергетичних параметрів і реалізації товарного коксу, зниження витрат коксу та тепла у доменному виробництві, витрат на ремонт устаткування і металоконструкцій, транспортних витрат на перевезення коксу, тощо) і фактор рівня впливу на навколишнє природне середовище показано доцільність впровадження технології сухого гасіння коксу.

Список літератури:

1. Партин Г.О., Дідух О.В. Капітальні інвестиції: сутність, сучасні тенденції та вплив на зростання обсягів ВВП. *Ефективна економіка*. 2021. № 3. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/3_2021/88.pdf
2. Голян В.А., Лучечко Ю.М. Капітальні вкладення в економіку України: стимулювання залучення інвестиційних потоків у сферу переробки сільськогосподарської сировини. *Економіка та держава*. 2019. № 1. С. 15-22.
3. Майорова Т.В., Крук В.В., Шевчук Я.В. Капітальні інвестиції: сутність та проблеми реалізації в кризових умовах. *Інвестиції: практика та досвід*. 2015. № 21. С. 12–16.
4. Гринчуцький В.І., Гринчуцький В.І., Карапетян Е.Т., Погрішук Б.В. Економіка підприємства: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2010. 304 с.
5. Наказ Мінприроди України від 30.05.2014 № 184 «Про внесення змін до Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин від коксових печей».
6. Розпорядження КМУ від 30.07.2021 № 868-р «Про схвалення Оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди».
7. Rejdak M., Wasielewski R. Mechanical compaction of coking coals for carbonization in stamp-charging coke oven batteries. *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2015. Vol. 51 (1). P. 151–161.

Kravchenko S.O., Miroshnichenko D.V., Chebotaryov A.M., Turkina O.V., Chaplianko S.V., Priplotskiy S.I., Lebedev V.V., Hrushetsky V.O. DETERMINATION OF CAPITAL INVESTMENTS FOR RECONSTRUCTION OF COKE CHEMICAL PRODUCTION WITH COMPARISON OF COKE EXTINGUISHING TECHNOLOGIES

The study considered the direction of non-fuel use of lignite for the production of hybrid materials using its derivatives in the form of humic acids and substances. The purpose of the article is to study the peculiarities of the hybrid functionality of humic acids and lignite substances. It was established that carboxyl and phenolic groups prevail in the humic acids of lignite, and carbonyl and hydroxyl groups are also present in significant quantities. Carboxyl groups have the potential to bind to the corresponding ionic points of a variety of biodegradable materials, which also happens with hydroxyl phenolic groups. The carboxyl groups of lignite humic acids are of great interest because they are the groups that confer the main chemical properties of lignite humic acids and because they can form electrostatic bonds, although it is difficult to determine the points at which bonds form between the carboxyl groups of humic acids. Lignite acids and various biodegradable materials. In addition, these groups mostly coordinatively bind to non-ionized points of various biodegradable materials, as in the case of -CONH- bonds of peptide groups. The result of these connections is, on the one hand, a multitude of binding points, which ensures the stability of various biodegradable materials obtained as a result of interaction with lignite humic acids. As a result of the research, it was found that the presence of various reactive functional groups is an indicator of the reactivity of lignite humic acids in the direction of their hybrid functional modification with respect to various biodegradable materials: biopolymers, cellulose derivatives, bioplastics and composites based on them. Groups that are able to react with amine and carbonyl groups of various biodegradable materials are the most important. It was also established that dry humic substances of lignite of all studied types are characterized by a polydisperse particle size ranging from 52 to 380 nm. As part of the development of scientific and technical documentation on the reconstruction of coke chemical production of one of the largest enterprises of the mining and metallurgical complex of Ukraine, an analysis of the feasibility of introducing dry and wet coke quenching technologies was performed. The main issues that had to be solved at the expense of the reconstruction were: increasing the volume and efficiency of coke production, improving the quality of coke, expanding the raw material base with an increase in the share of low-firing coal of Ukrainian origin in the coal charge, stabilizing and increasing the reliability of coke chemical production due to the restoration of the main funds, reduction of harmful emissions into the

natural environment. According to this complex project, the main objects of new construction in the coke shop included: coal tower, coke battery objects (with the introduction of coal charge tamping technology), objects of the dust-free coke delivery installation, objects of the coke extinguishing complex, object coke spreading devices, vent installation of air supply in the tunnel of coke batteries, pump hydroinjection. The economic feasibility of the introduction of dry coke quenching technology is shown, despite a larger (by 20.6%) amount of capital investments (due to the construction of additional facilities, the implementation of additional accompanying processes and the use of additional equipment/equipment) due to significant future savings (increase in income from utilization of coke production heat, obtaining a pair of energy parameters and sale of commercial coke, reducing coke and heat costs in blast furnace production, equipment and metal structure repair costs, transport costs for coke transportation, etc.) and taking into account the factor of the level of impact on the surrounding natural environment.

Key words: *capital investments, coke chemical production, new construction, reconstruction, coke battery, extinguishing coke, USGK.*