

4.4 Directions of modernization of the coal processing industry of Ukraine on the basis of advanced coal enrichment technologies

Формування якості вугільної продукції на всіх етапах її виробництва є одним з головних економічних чинників, оскільки споживча цінність вугілля для будь-якого напрямку використання визначається, насамперед, теплотворною здатністю, яка залежить від вмісту в ньому органічної маси.

Основним виробничим процесом підвищення якісних властивостей вугільної продукції та приведення їх у відповідність з вимогами споживачів є вуглезбагачення. Зокрема, коксохімічне виробництво потребує зниження зольності вугільного концентрату і вмісту сірки, підтримки оптимального марочного складу коксової шихти з підвищенням частки пісного спікливого вугілля, запаси якого в Україні обмежені. Виробництво електричної та теплової енергії потребує зниження вологи до певних рівнів (оскільки вугілля з підвищеним вмістом вологи зменшує ефективність віддачі тепла при спалюванні в котлоагрегатах) та зольності (відхилення зольності від проектних значень ускладнює процес горіння вугілля і потребує більших витрат топкового мазуту або природного газу для «підсвічування»). Крім того, зниження зольності вугілля лише на 1% за середньої довжини маршруту 50 км дозволяє економити до 40 млн ткм (тонно-кілометрів) залізничних перевезень на рік [139] і, відповідно, заощадити на транспортних витратах.

Аналіз даних щодо розвитку сухих методів збагачення в Україні та за кордоном свідчить, що на даний час не виникло принципово нових способів та обладнання для розділення матеріалів. Головною причиною, яка стримує втілення сухих методів збагачення, є відсутність надійного методу розподілу вугільних і породних фракцій та методики розрахунків параметрів сухої сепарації. Запропонована авторами [140] технологія сухого збагачення вугілля найбільш успішно може застосовуватись за умов, коли міцність вугілля як мінімум на 1,5–2 од (за М.М. Протодьяконовим) нижча за міцність породи.

Технологія розрахована на широкий діапазон продуктивності, виключає затрати на подрібнення. Збагаченню цим методом підлягає вугілля крупністю понад 40 мм. Технологічне обладнання пересувної збагачувальної фабрики [141], розроблене ТОВ «Компанія «УгольТрейд», розраховано на переробку як рядового вугілля, так і для отримання продукції з териконів діючих шахт. Аналогічні міні-комплекси (або набір технологічного обладнання для фабрики) використовуються за кордоном: в США – сепаратори «Ейр Фло», в Європі – «Ведаг» і «Гумбольдт». Орієнтована ціна устаткування – 5 млн дол. США. Вітчизняне устаткування коштує близько 500 тис. дол. США, енергозатрати при експлуатації – 400–500 кВт, при цьому зольність гірничої маси знижується на 15–20%. Очікуваний обсяг переробки по рядовому вугіллю – 45 тис. т на місяць.

У зв'язку з досить активним запитом на сухе збагачення таких матеріалів, як буре і кам'яне вугілля, горючі сланці тощо, компанією НВК «Гравікон» було розроблено повітряну відсаджувальну машину з рухомим решетом – ВОМП-машину. Використання фізичних процесів, характерних для гідравлічного відсаджування, але застосованих у повітряному середовищі, дало змогу отримати відсадкове ліжко, ідентичну ліжку класичних водних повітряно-пульсаційних відсадкових машин. Поділ матеріалу за густиною відбувається не в псевдощільному середовищі, а в класичному відсаджувальному ліжку з поділом матеріалу на важку та легку фракції.

Матеріали, які збагачуються у ВОМП-машинах: буре вугілля, кам'яне вугілля, горючі сланці, водорозчинні ферошлаки тощо.

Перевага збагачувального комплексу на базі повітряної відсаджувальної машини з рухомим решетом перед пневмосепараторами полягає в наступному: висока якість концентрату, близької до мокрих способів збагачення; низьке енергоспоживання – у 3-4 рази нижче, ніж у пневмосепараторів; низька запиленість через використання технології малих тисків [141].

При збагаченні вугілля досягаються параметри концентрату, близькі до показників мокрих методів збагачення. Так на вугіллі зольністю 55% мокрим

методом отримано концентрат зольністю 5,2%. Сухе збагачення в ВОМП-машині дало змогу отримати концентрат із зольністю 6,5%.

Переваги перед прямим конкурентом – повітряними відсаджувальними машинами німецького виробництва Air Jig:

- у обладнанні не використовуються радіоізотопні датчики без яких німецькі машини не можуть функціонувати. Зважаючи на цю специфіку, використання німецьких машин вимагає спеціальних дозволів на ввезення радіоактивних матеріалів;

- висока якість концентрату. На коксівному вугіллі вдається досягти зольності 9-11 %;

- вища продуктивність у 2-3 рази за вихідним з 1м² робочої площі досягається завдяки значній висоті відсадного ліжка в ВОМП-машинах;

- завдяки використанню технології низьких тисків і великої амплітуди енергоспоживання нижче у 2-3 рази. В німецьких машинах амплітуда коливань 3-6 мм, у ВОМП-машинах 30-60 мм.

Слід враховувати, що обмеження для ВОМП-машин такі ж самі, як для будь яких пневмозбагачувальних машин і механізмів, вологість вихідного вугілля не має бути вищою за 7% і не має бути глинистим.

Після потрібного прогону в пневмосепараторі породи терикону отримували концентрат із золою 32%. Переробка цього ж матеріалу на модульній збагачувальній установці дала змогу отримати концентрат із золою 9%.

Процеси сухого збагачення з метою підвищення його ефективності та можливістю зниження зольності у рядовому вугіллі на 15–20% також вивчаються Інститутом «Дніпродіпрошахт» [142].

За останній час значної актуальності набула проблема водно-шламового господарства фабрик у зв'язку із зростанням кількості шламів. Збагачувальні фабрики в більшості випадків мають водно-шламові схеми, що не реконструювались внаслідок зміни гранулометричного складу рядового вугілля. У зв'язку з цим водно-шламові схеми перевантажені циркулюючим шламом

(частка якого з зольністю 35–45% може становити 33%), підготовка його до флотації неефективна. Застосування гвинтових сепараторів має перевагу над процесом відсадки для діапазону крупності вугілля 0,2–3,0 мм [143]. Технологічна схема із застосуванням мокрої гвинтової сепарації дозволяє виключити з користування важкосередовищні сепаратори, скоротити або зовсім виключити операцію флотації шламів і отримати в перспективі потрібну якість енергетичних концентратів (зольністю до 20%). Одним з перспективних та найбільш поширеним при збагаченні дрібних класів вугілля є важкосередовищна відцентрова сепарація [144]. Важкосередовищні гідроциклони при збагаченні вугілля крупністю 0,5–25 мм забезпечують продуктивність понад 80 т/год. Встановлено, що ефективна межа збагачення у важкосередовищних гідроциклонах складає 0,15–0,2 мм. Ефективність використання гідроциклонів підтверджується практикою збагачення тонких зерен піриту крупністю менше 0,5 мм. Перспективною є технологічна схема збагачення вугілля, яка синтезує більшість відомих на даний час нових напрямків та враховує можливість їх використання (в поєднанні або окремо) у вітчизняній практиці. Ця схема враховує: попереднє видалення крупної породи з вихідного вугілля перед акумулюванням; обмеження верхньої межі крупності акумульованого вугілля; двостадійне збагачення крупного класу у важких середовищах; виділення двох концентратів різної якості при збагаченні дрібного машинного класу; класифікацію на гідроциклонах чистих шламів – після збагачувальних апаратів, і засмічених – видалених перед збагаченням; перезбагачення у важкосередовищних гідроциклонах промпродуктів відсадки. Схема розглядається як маловідходна, бо передбачає мінімальні втрати горючої маси у відходах збагачення. Впровадження технології збагачення енергетичного вугілля, що передбачає відсів класу 0–3 мм, і збагачення вугілля крупністю 3–13 мм з наступним змішуванням отриманого концентрату та відсіву дозволить спростити водно-шламову схему фабрики, виключити флотацію і сушку. Експлуатаційні витрати на збагачення скорочуються більш ніж утричі [145].

При застосуванні технологічних схем при збагаченні рядового вугілля п'ятьма машинними класами, замість трьох, знижуються втрати горючої маси з відходами виробництва за рахунок зменшення похибки збагачення машинних класів. Похибка розподілу некондиційних класів в 1,5–2 рази вища, ніж кондиційних [146].

За наявною інформацією з початку повномасштабної агресії РФ у 2022 р. фонд потужностей збагачення вугілля значно скоротився і становить орієнтовно 13 об'єктів (ЦЗФ Октябрська, ЦЗФ Добропільська, ЦЗФ Курахівська, ЦЗФ Мирноградська, ЦЗФ Росія, ЦЗФ Піонер, ЦЗФ Краснолиманська, ЦЗФ Селідівська, ЦЗФ Дзержинська, ЦЗФ Україна, ЦЗФ Червоноградська, ЦЗФ Павлоградська, ЗФ Свято-Варваринська).

Можливості модернізації існуючих збагачувальних фабрик наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Заходи з удосконалення технологій, впроваджені на збагачувальних фабриках

Фабрика	Вживані заходи	Результати впровадження
ЗФ Піонер	Розроблення і впровадження (паралельно з існуючою технологічною схемою випуску продукції для потреб енергетики) нової схеми для коксування	Розширення асортименту продукції. Підвищення виходу продуктів на 3–5%
ЦЗФ Добропільська ЦЗФ Україна	Впровадження технології збагачення рядового вугілля п'ятьма машинними класами. Збезводнювання концентрата на гвинтових шлюзах ШВЛ 2-1000	Зростання виходу концентрату на 0,5% (з 50,8% до 51,3%)
ЦЗФ Октябрська	Рекомендована схема збагачення п'ятьма машинними класами	Покращання якості концентрату вугілля
ЦЗФ Червоноградська	Можливість модернізації схеми фабрики із застосуванням двох послідовних двопродуктових сепараторів та одержанням концентратів для енергетичного і хімічного використання. Застосування фільтр-пресу фірми «Парнабі» для обробки частини топких відходів	Підвищення виходу продуктів збагачення на 1–3%

Продовження табл. 1

ЗФ Свято-Варваринська	Змонтовано й налагоджено осаджувально-фільтрувальну центрифуга AS11-3 виробництва німецької компанії ANDRITZ. Флотаційне відділення переведено на некласифіковане живлення крупністю 0,0-0,2 мм, при виключенні зі схеми гідроциклонів другої стадії класифікації моделі 6B (60 шт.) та двох насосів Mill MAX 10×8-24 (сумарна встановлена потужність електродвигунів – 500 кВт). Завершення третього етапу реконструкції та запуск в роботу двох флотаційних колон.	Збільшення навантаження на фабрику. Переробка до 8,5 млн тонн рядового вугілля за рік без зменшення ефективності виробництва. Покращення зольності концентрату на 2-3%. Зниження витрат електроенергії на роботу гіпербаричних фільтрів
-----------------------	--	---

За технологічними операціями збагачення можна впроваджувати наступні види технологічного обладнання:

– відсадка – застосування відсаджувальних машин нового рівня з рухомим решетом для збагачення вугілля крупністю до 100 мм – типу ВХП-5х3-Р (ОМІР-5); підвищення виходу концентрату на 2%;

– флотація – застосування прямоточних флотаційних машин механічного типу МФУ з послідовним розташуванням камер, зокрема монокамерної флотомашини МФМ36 порівняно з аналогом МФУ6; очікуване збільшення виходу концентрату 1,2–2,0%;

– грохочення – застосування двоконусних гідрогрохотів типу ГНК для підготовки машинних класів мокрим способом на противагу гідрогрохотам типів ГГН та ГНД; орієнтовний обсяг збільшення виходу концентрату – 1%;

– впровадження пневматичних флотаційних машин на противагу машинам механічного типу;

– застосування нової схеми розділення в комбінованій установці мокрого грохочення УМГ2,5 на фабриках з переробки антрациту;

– сепарація на стадії флотації – застосування та адаптація збагачувальних апаратів з гвинтовою поверхнею типу СВ2-1000, гвинтових шлюзів ШВ2- 1000, очікуване підвищення виходу концентрату – 1–1,5%;

- застосування технологічних схем з використанням пневмовібраційного способу (з використанням сепараторів типу СП та СПП);
- застосування безфлотаційних схем обробки шламів класу 0–1 мм з використанням наявних гідроциклонів, центрифуг та вакуум-фільтрів.

В табл. 2 наведено варіанти комплектації технологічним обладнанням збагачувальних фабрик.

Таблиця 2

Варіанти ефективних технологій для збагачувальних фабрик України

Варіант технології	Сепарація	Мокра класифікація і грохочення	Обезводнення попереднє	Відсадка	Флотація
1	СКВ	ГВіМх	ЦоШнВ	ВБП	МФМ
2	СКВ	ГВіМх	ЦоШнВ	ВхП-Р	МФМ
3	СКВ	ГВіМх	ЦоШнВ	ВхП	МФМ
4	СКВ	ГВіМх	ЦоШнГ	ВБП	МФУ
5	СКВ	ГВіМх	ЦфШнГ	ВхП	МФУ
6	СКВ	ГІс-М	ЦоШнГ	ВБП	МФУ
7	СКВ	ГІс-М	ЦоШнГ	ВхП-Р	МФМ
8	СКВ	ГІс-М	ЦфШнГ	ВБП	МФМ
9	СКВ	КЦГДМП	ЦоШнВ	ВхП-Р	МФМ
10	СКВ	КЦГДМП	ЦоШнГ	ВхП-Р	МФУ
11	СКВ	КЦГДМП	ЦфШнГ	ВхП-Р	МФУ
12		ГВіМх	ЦоШнВ	ВБП	МФУ
13		ГВіМх	ЦоШнГ	ВБП	МФМ
14		ГВіМх	ЦоШнГ	ВБП-Р	МФМ
15		ГВіМх	ЦоШнГ	ВхП-Р	МФУ
16		ГІс-М	ЦоШнВ	ВБП	МФУ
17		ГІс-М	ЦоШнВ	ВхП-Р	МФМ
18		КЦГДМП	ЦоШнВ	ВхП	МФМ
19		КЦГДМП	ЦоШнВ	ВхП-Р	МФУ
20		КЦГДМП	ЦоШнГ	ВБП	МФУ
21		КЦГДМП	ЦоШнГ	ВхП	МФУ
22	СКВ	ГВіМх	ЦоШнВ	ВБП	
23	СКВ	ГВіМх	ЦоШнГ	ВхП-Р	
24	СКВ	ГІс-М	ЦоШнВ	ВБП	
25	СКВ	ГІс-М	ЦоШнГ	ВБП	
26	СКВ	ГІс-М	ЦоШнГ	ВхП-Р	
27	СКВ	КЦГДМП	ЦоШнВ	ВхП-Р	
28	СКВ	КЦГДМП	ЦоШнГ	ВБП	
29		ГВіМх	ЦоШнВ	ВБП	МФМ
30		ГВіМх	ЦоШнВ	ВхП-Р	
31		ГВіМх	ЦоШнГ	ВБП	
32		КЦГДМП	ЦоШнВ	ВхП-Р	
33		КЦГДМП	ЦоШнГ	ВБП	
34		КЦГДМП	ЦоШнГ	ВхП-Р	

При розрахунках обсягів випуску концентрату і його зольності приймалися до уваги можливості зменшення зольності видобутого вугілля при модернізації шахтного фонду технікою нового технічного рівня [147], та дотримання балансу продуктів збагачення [148] за формулою:

$$100 \alpha = \gamma_k \beta_k + \gamma_p \beta_p ,$$

де α – зольність вугілля, що надходить на переробку, %;

γ_k та γ_p – виходи відповідно концентрату та породи, %;

β_k та β_p – зольності відповідно концентрату та породи, %.

Очікуване збільшення обсягів випуску концентрату з урахуванням модернізації фонду збагачувальних фабрик та доведення їх фактичної продуктивності до рівня встановлених показників представлено в табл. 3 і 4.

Таблиця 3

Очікувані обсяги виробництва вугільного концентрату для енергетики

Підприємство	Варіант технології	Марка вугілля	Виробнича потужність, тис. т	До / після модернізації		
				Вихід концентрату, %	Обсяг концентрату, тис. т	Зольність концентрату, %
Важкі середовища - відсадка - флотація						
ГЗФ Мирноградська	13	Г	4500	58,8 / 64,8	2646 / 2916	7,1 / 6,3
Відсадка						
ЗФ Піонер	24	ДГ	770	61,9 / 65,9	477 / 507	15,4 / 11,9
Важкі середовища - відсадка						
ГЗФ Україна	25	Г, ДГ	2250	35,0 / 41,0	787 / 922	10,0 / 8,5
ЦЗФ Павлоградська	32	Г, ДГ	5250	56,7 / 61,7	2977 / 3239	11,2 / 8,7
Важкі середовища						
ЦЗФ Курахівська	33	Д, ДГ	2300	81,8 / 83,0	1881 / 1909	26,8 / 20,6
ГЗФ Росія	20	Г, ДГ	1800	68,6 / 72,3	1114 / 1301	20,5 / 17,3
Всього			16870	60,5 / 64,7	9882 / 10794	15,1 / 12,2

Таблиця 4

Очікувані обсяги виробництва вугільного концентрату для коксування

Підприємство	Варіант технології	Марка вугілля	Виробнича потужність, тис. т	До / після модернізації		
				Вихід концентрату, %	Обсяг концентрату, тис. т	Зольність концентрату, %
Важкі середовища - відсадка - флотація						
ЦЗФ Червоноградська	9	Г	9600	61,7 / 67,7	5923 / 6499	25,7 / 21,2
ЦЗФ Краснолиманська	8	Г, Ж	2900	52,0 / 58,0	1508 / 1682	11,7 / 10,2
ЦЗФ Октябрська	4	Г, ДГ	2400	55,6 / 61,6	1334 / 1478	16,1 / 13,5
ГЗФ Селидівська	2	ДГ, Г, Ж	2000	64,1 / 70,1	1282 / 1402	12,4 / 10,1
Відсадка некласифікованого вугілля – флотація – контрольна відсадка						
ЦЗФ Дзержинська	24	Ж, ПС, К	2700	53,5 / 59,5	1445 / 1605	8,7 / 7,7
Відсадка – флотація – контрольна відсадка						
ЦЗФ Добропільська	39	Г, ДГ	2550	53,3 / 59,3	1359 / 1512	7,7 / 6,3
Колонна флотація – гідроциклони [148]						
ЗФ Свято-Варваринська	13	К	8500	50,0 / 53,0	4250 / 4376	11,0 / 8,0
Всього			30650	55,7 / 61,3	17101 / 18554	13,3 / 11,0

За визначеними оптимальними варіантами ефективних технологій переробки вугілля виконано аналіз показників технологічного рівня збагачувальних фабрик України (табл. 5).

Таблиця 5

Середні показники технологічного рівня збагачувальних фабрик України

Показник	Вихід концентрату, %		Зольність концентрату, %	
	до модернізації	після модернізації	до модернізації	після модернізації
Енергетичне вугілля	60,5	64,7	15,1	12,2
Коксівне вугілля	55,7	61,3	13,3	11,0

Впровадження ефективних технологій у переробку енергетичного вугілля дозволяє підвищити вихід концентрату на 4,2%, при цьому зольність концентрату знижується на 2,9%. Вдосконалення технологій у переробці коксівного вугілля підвищує вихід концентрату на 5,6%, та знижує зольність на 2,3%.