

© А.В. Павличенко¹, О.А. Гайдай¹, В.Е. Фірсова¹, В.В. Руських¹, І.В. Ткач¹
¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНІ НАПРЯМИ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ВУГЛЕЗБАГАЧЕННЯ

© A. Pavlychenko¹, O. Haidai¹, V. Firsova¹, V. Ruskykh¹, I. Tkach¹
¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

TECHNOLOGICAL DIRECTIONS OF COAL ENRICHMENT WASTE PROCESSING

Мета. Обґрунтування і вибір раціональних параметрів технології переробки відходів вуглезбагачення.

Методика дослідження базується на комплексному аналітичному підході до вирішення завдань з визначення фізико-механічних властивостей вміщуючої сировини техногенних відходів вугледобувних підприємств, а також якісного та кількісного складу при застосуванні хімічного, термічного, рентгеноструктурного і мінералогічного аналізів.

Результати дослідження. Проаналізовано способи переробки і приведення до кондиційних умов корисних копалин, що представлені відходами та дрібнодисперсними частинками вугілля. Обґрунтовано можливість отримання палива, що має високі теплоенергетичні і фізико-механічні властивості, достатню механічну міцність, водо- і термостійкість. Встановлено, що використання високозольних кам'яновугільних шламів забезпечує теплотворну спроможність не менше як 2500 ккал/кг; при електрокінетичному згрудкуванні композицій з низькозольним вугіллям може досягати 4500 ккал/кг, при згрудкуванні з антрацитовими шламами і штибами до 6000 ккал/кг. Обґрунтовано ефективний напрям і технологію переробки відходів вуглезбагачення.

Наукова новизна. Полягає у виявленні закономірностей впливу механоактивації, складу відходів та інших чинників при застосуванні електрокінетичного згрудкування для отримання композиційного палива. Встановлені закономірності дозволяють забезпечити роботи з проектування універсальної установки, що може застосовуватись для розробки майже усіх видів техногенних відходів.

Практичне значення. Обґрунтовано напрями переробки відходів вуглезбагачення залежно від їх якісного та кількісного складу, вмісту вугілля, фізико-механічних властивостей для отримання композиційного палива.

Ключові слова: вугільна галузь, відходи вугледобутку, шлами, композиційне паливо, згрудкування, відходи.

Вступ. Паливно-енергетичний комплекс України потребує пошуку нових нетривіальних напрямів зниження витрат при отриманні конкурентної енергетичної сировини. Одним з таких напрямів може бути залучення до сировинної бази твердого палива такого ресурсу, як забалансові відходи вуглезбагачення, накопичені у великій кількості за останні десятиліття в шламових відстійниках і мулонакопичувачах вуглезбагачувальних фабрик та коксохімічних заводів. Саме такі відходи, що утворенні в результаті роботи підприємств вугільної галузі, можна віднести до важливих техногенних ресурсів

[1-3]. При цьому, відходи видобутку та збагачення вугілля є значною екологічною проблемою, призводять до вилучення сотень гектарів земельних угідь, забруднення прилеглих територій, а також призводять до погіршення умов проживання населення [4-7].

На вуглезбагачувальних фабриках України знаходиться 196 шламових відстійників і мулонакопичувачів, в яких накопичено близько 250 млн т шламових продуктів, в тому числі понад 50 млн т позабалансових шламів зольністю 45-60%. Але їх приведення до кондиційного стану при розробці традиційними технологіями викликає певні складнощі, тому що це вимагає високих енерговитрат.

Також виникає потреба у переробці та використанні бурого вугілля, що обумовлено цілим рядом причин, а саме:

- після видобутку буре вугілля піддають деструкції з перетворенням у легко руйнівну масу, що не дозволяє транспортувати її на великі відстані;

- висока енергоємність виробництва буровугільних брикетів і різкі коливання цін на світовому ринку енергоресурсів обумовили підвищення їх реалізаційної вартості, що перевищує іноді вартість висококалорійного кам'яного вугілля;

- значне віддалення брикетних виробництв від споживачів, що призводить до зростання витрат на транспортування, в той час, як наприклад в Німеччині, теплові електростанції, які споживають буровугільні брикети, розташовані на відстані 5-10 км від місця їх виробництва.

Метою роботи є обґрунтування і вибір раціональних параметрів технології розробки техногенних відходів вуглезбагачення при виявленні закономірностей впливу механоактивації, складу відходів та інших чинників на застосування електродинамічного згрудкування для отримання композиційного палива.

Постановка задачі і методика дослідження. Одним з можливих напрямків комплексної переробки і використання ресурсів позабалансового кам'яновугільного палива є його згрудкування.

Згрудкування – це перетворення дрібнозернистої паливної сировини в кусковий продукт за рахунок механічних і (або) термічних впливів із застосуванням спеціальних добавок або без них. Одним з різновидів згрудкування є брикетування – фізико-хімічний процес переробки корисних копалин, що дозволяє отримати механічно і термічно міцний сортовий продукт – брикет, який має визначену геометричну форму, розміри і масу. Утилізація тонкозернистих корисних копалин, можливість отримання з них високоякісної продукції для побутового та промислового споживання – головне призначення брикетування [3].

Поряд з цим існують два інших способи згрудкування – агломерація і окочення з випалом, які від брикетування відрізняються високою вартістю та складністю процесу. Підтвердженням є порівняльні дані (у відсотках) трьох способів згрудкування (табл. 1).

Традиційні технології брикетування за допомогою валкових, кільцевих і штемпельних пресів є досить вартісними і енергоємними. Для здійснення

процесу традиційного брикетування необхідне створення тиску в 15-50 МПа при використанні в'язучих речовин і 80-120 МПа (150-200 МПа на кільцевих пресах) без в'язучих, а також нагрів до температури в межах 70-100°C [8].

Твердість вугілля істотно впливає на процес згрудкування. Добре піддаються йому порівняно м'яке молоде буре вугілля вологістю 50-58%, гірше – напівтверде і тверде з вологістю 40-45% і 30-35% відповідно.

До буровугільних і вугільних брикетів пред'являється ряд вимог: вони повинні бути волого- і термостійкими (що характеризує їх здатність не руйнуватися до повного згорання), мати певну форму, масу, розмір і гладку глянцеvu поверхню, що свідчить про оптимальну вологість висушеного продукту та умови його виготовлення, володіти підвищеною механічною міцністю, термо- і вологостійкістю (для коксування і напівкоксування).

Таблиця 1

Порівняльні дані способів згрудкування (у відсотках) [3]

Спосіб	Брикетування	Агломерація	Окочення з випалом
Порівняльні характеристики			
Собівартість	100	120-170	110-150
Витрати на 1 т переробки сировини	100	130-160	90-140
Питомі капітальні витрати	100	110-200	120-180

Основні результати. Паливо, виготовлене з вугільної сировини, не повинно злипатися протягом 3 год. при зберіганні його в термостаті (температура 65°C) під тиском, що відповідає тиску на нижні їх шари в залізничних вагонах. У товарних брикетах, що відправляють споживачам, вміст фракцій 0-25 мм не повинен перевищувати 10%.

Вхідне вугілля вологістю 55-56% після просіювання і дроблення до 6 мм подається в сушарку, де вологість знижується до 18-20%. Для бурого вугілля застосовують барабанні парові і газові труби-сушарки: в якості теплоносія в перших використовують перегрітий пар, у других – топкові газу. Дрібні фракції вугілля перед пресуванням охолоджують до 40-50°C і брикетують під тиском 80-120 МПа.

Для брикетування бурого вугілля в промисловості використовують штемпельні преси – машини періодичної дії з відкритим матричним каналом. Утворення кожного брикету відбувається за один повний зворотно-поступальний рух штемпелю. Основою для знов утвореного брикету є поверхня попереднього брикету. Цей процес складається з декількох послідовних етапів: завантаження формувального каналу сухим матеріалом, стиснення його в брикет, проштовхування брикетної стрічки і повернення штемпеля в початкове положення. Готове паливо, що виштовхується з матричного каналу, має температуру 70-80°C. Щоб уникнути самозаймання, брикети охолоджують на лотках і сітчастих конвеєрах, а потім відвантажують до споживачів або на склад.

Технологія брикетування вугілля із в'язучими речовинами застосовується для антрацитів і кам'яного вугілля, що відрізняються за своїми фізико-механічними властивостями (щільна структура, підвищена пружність і низька пластичність) від бурого вугілля, тому при їх згрудкуванні використовують в'язучі речовини – нафтові бітуми. Це – складні колоїдні системи, що складаються з різних вуглеводнів, а також деякої кількості кисневих, сірчистих і азотистих сполук, які стають текучими при температурі 27-77°C.

Технологія згрудкування антрацитового штибу (0-6 мм) із застосуванням в якості в'язучого нафтового бітуму марки БН-IV включає ряд операцій: висушування до вологості 3-4% та його підігрів в барабанних газових сушарках, перемішування в гвинтових і парових змішувачах. За рахунок тепла пару, що заходить, в'язуче стає ще більш текучим і покриває поверхні підігрітих вугільних часток. На виході із парового змішувача шихта має температуру 95-98°C. Для скорочення часу ствердіння в'язучого в брикеті і підвищення його початкової міцності шихту охолоджують. Вона стає в'язкою, пластичною та під тиском легко формується. Брикетування здійснюють в вальцьових пресах при питомому тиску 90 МПа. Охолоджені до 40°C брикети піддають просіюванню для відсіву неспресованої дрібної фракції, а також розбитих в процесі виробництва брикетів, та відвантажують споживачам [9].

Згрудкування при низьких температурах і тисках без попереднього збагачення з використанням низькозольного бурого вугілля в якості в'язучого і різних добавок дозволить інтенсифікувати процес отримання гранульованого палива.

Узагальнені наукові дослідження, які було проведено при обґрунтуванні технології розробки техногенних родовищ вугільної галузі [9-12], стали основою для можливості вперше її використання для отримання композиційного твердого палива з бурого вугілля, торфу, вугільних шлаків та інших матеріалів органічного походження, а також інших різноманітних відходів. Дана технологія розроблена фахівцями Національного технічного університету «Дніпровська політехніка». Сутність технології полягає в тому, що при перемішуванні і перетиранні вуглистих і глинистих частинок зростає електрзарядженість сировини. Це пояснюється підвищенням питомої поверхні частинок, що несуть електричні заряди.

Електрокінетичне згрудкування відходів гірничого виробництва є складним фізико-хімічним процесом взаємодії роз'єднаних твердих частинок. Структура шматків утворюється шляхом безпосередніх контактів частинок між собою або через прошарок компонентів і води за рахунок механоактивації. Дисперсні відходи, що представлені вугільними і породними частинками – речовини, що здатні поєднувати роз'єднані тверді тіла і зберігати їх міцний контакт в умовах значних зовнішніх впливів мають відповідати якостям адгезивів. Міцність будь-якої багатофазної системи, утвореної в результаті прилипання і склеювання адгезиву та субстрату, характеризується адгезією, аутогезією і когезією [3].

Адгезія характеризує молекулярні взаємодії, що виникають між поверхнями двох різнорідних рідких або твердих тіл, приведених в контакт.

Енергетичний баланс сил в міжфазній зоні описується рівнянням:

$$E_{зм} = E_{тв} + E_p + E_{тв-р},$$

де $E_{зм}$ – енергія змочування; $E_{тв}$ – енергія поверхні субстрату; E_p – енергія поверхні адгезиву; $E_{тв-р}$ – енергія поверхні розділу субстрат – адгезив.

Для практичного кількісного визначення змочування рідини твердого тіла прийнято користуватись значеннями поверхневого натягу і крайового кута змочування. Крайовий кут змочування визначає енергію на поверхні розділу, тобто енергію адгезії.

Академік П.А. Ребиндер показав, що адгезив перетинає поверхню субстрату за деякою лінією, яка має назву – периметр змочування.

Виходячи з цього і умов рівноваги, крайовий кут змочування визначається:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{тв} - \sigma_{тв-р}}{\sigma_p} + \frac{f}{\sigma_p},$$

де f – коефіцієнт, що враховує силу тертя об шорстку поверхню субстрату.

Зменшення вільної енергії системи, яке характерно при розтіканні адгезиву, виражається коефіцієнтом розтікання:

$$K = \sigma_{тв} - \sigma_p - \sigma_{тв-р}.$$

Коефіцієнт розтікання являє собою різницю енергії адгезії клею до субстрату і енергії когезії самого клею. Когезія характеризує інтенсивність молекулярних взаємодій в обсязі адгезиву і є критерієм оцінки міцності вміщуючих речовин. Окремим випадком адгезії є аутогезія, що представляє собою злипання поверхонь однієї і тієї ж речовини, що перешкоджає їх розподілу за місцем контакту. Необхідною умовою аутогезійних взаємодій є мимовільне злиття плівок адгезиву.

В процесі структуроутворення велику роль відіграє тиск. Під впливом тиску в процесі виробництва палива суміш перетворюється в міцний кусковий продукт. Деформування вугільно-породної суміші в період виготовлення палива є функцією пластичності [3].

Пластичну деформацію можна описати таким рівнянням:

$$\frac{F}{S} - N = \eta \frac{dv}{dh},$$

де F – деформуюча сила, Н; S – поверхня зсуву, на яку діє деформуюча сила, см²; N – максимальне напруження зсуву, Па; η – в'язкість, Па·с; dv – різниця швидкостей двох частинок матеріалу, що знаходиться на відстані dh по перпендикуляру до напрямку руху; dv/dh – градієнт швидкості.

Сполуки, що вміщують сировину, можуть бути органічного та неорганічного походження. Речовини повинні відповідати таким вимогам:

- мати високу поверхневу активність, максимально змочувати тверду поверхню матеріалу, забезпечуючи міцний зв'язок;
- бути стійкими до атмосферних опадів, температури, дії сонячних променів, окислення і т.п.;
- не руйнувати структуру субстрату в готовому твердому паливі;

- мати еластичні і пластичні властивості; володіти високою міцністю, але не бути жорсткіше, ніж зклеюваний матеріал;
- мати високу швидкість затвердіння;
- не містити летких з'єднань, токсично-діючих на організм людини;
- містити достатню частку спікливих компонентів, що забезпечують термічну стійкість готового палива при горінні;
- бути недефіцитними і дешевими;
- відрізнятися стійкістю при зберіганні, добре і безпечно транспортуватися.

Реологічні властивості речовин, що вміщують сировину, залежать від молекулярних взаємодій, будови та теплового руху макромолекул. Основні реологічні константи часток сировини – пластична в'язкість η_{nl} і максимальне напруження зсуву. Взаємозв'язок цих величин, що проявляється з доданням зовнішніх зусиль, виражається формулою:

$$F = \eta_{nl} \frac{dv}{dr} + f',$$

де F – сила, необхідна для взаємодії поверхні певної площі градієнта швидкості dv/dr відносно суміжної поверхні.

Активність поверхні обумовлена питомою поверхнею, а частки, що її складають мають певні заряди. Експериментально встановлено, що електрокінетичний потенціал на поверхні частинок збільшується в 2-2,5 рази в результаті механоактивації, що відбувається при застосуванні технології розробки техногенних відходів вугільної галузі. Встановлено, що зростання зарядженості веде до збільшення міцності і поліпшення структуроутворення отриманого палива. Електрокінетичне згрудкування, як механізм, складається з наступних процесів: перетирання і ущільнення шламів усередині установки, що викликає стиск матеріалу між частками; потім ущільнюються і деформуються самі частинки, при цьому між ними виникає молекулярне зчеплення. В результаті згрудкування відбувається перехід пружних деформацій частинок в пластичні, внаслідок чого структура одержуваного палива зміцнюється, і зберігається задана форма.

У лабораторних умовах були випробовані альтернативні способи впливу на дисперсні частинки матеріалу, що підвищують їх зарядженість і міцність готового продукту. В результаті нормованого впливу спеціально розробленими фізичними розчинами (НТУ «Дніпровська політехніка» к.т.н., доц. Гайдай О.А.) на вугільні шлами сировина була згрудкована з різним ступенем зарядженості, що дозволило отримати зразки більш високої міцності [9-12].

Встановлені закономірності взаємодії вугільних шламів з фізичними розчинами різного ступеня кислотності були покладені в основу нової технології електрокінетичного згрудкування при розробці техногенних відходів.

Створені промислові установки, що реалізують технологію розробки техногенних родовищ вугільної галузі, – ХОТ-3, ХОТ-31, ХОТ-31М [12]. Установки включають послідовно встановлені три ступені. На кожному ступені відбувається роздавлювання грудок злежалого кам'яновугільного шламу, бурого вугілля та інших компонентів шихти, необхідної для виробництва

композиційного палива, їх перемішування, в тому числі з різноманітними добавками. Оброблена таким чином шихта на кожному ступені продавлюється через фільтри з круглими отворами. Від ступеня до ступеня вона набуває все більшу пластичність і однорідність. Зараз ведуться роботи з проектування універсальної установки, що може застосовуватись для розробки майже усіх видів техногенних відходів. Це дасть змогу більш економічно і інтенсивно отримувати готове паливо, сировину для оздоблення, напівфабрикати для металургійної і будівельної галузі.

Готове паливо має вигляд циліндричних стрижнів різних діаметрів (5-30 мм) і довжиною 20...200 мм. Навіть в сирому вигляді паливо володіє достатньою міцністю і не клеюється одне з одним (рис. 1). Сушка здійснюється за рахунок примусової вентиляції протягом 1 год. або в умовах природної вентиляції протягом 2...3 діб.

Отримане паливо має високі теплоенергетичні і фізико-механічні властивості, зокрема достатню механічну міцність, водо- і термостійкість. Так, готове паливо, навіть при використанні високозольних кам'яновугільних шламів, має теплотворну спроможність не менше як 2500 ккал/кг; при електрокінетичному згрудкуванні композицій з низькозольним вугіллям може досягати 4500 ккал/кг, при згрудкуванні з антрацитовими шламами і штибами до 6000 ккал/кг.



Рис. 1. Готове паливо відповідно з вуглецевмісною сировиною – вугільні шлами з бурим вугіллям (а) торфом (б) і антрацитовим штибом (в)

Шар такого палива при спалюванні має хорошу газопроникність, що забезпечує повну ступінь згоряння навіть при відносно високій зольності. Готове паливо є висококалорійним і зручним у використанні.

Область застосування кінцевого продукту: спалювання на теплових електростанціях, у котельних місцевого та районного значення, в киплячому шарі, обігрів приміщень печами побутового призначення, використання в сушильних печах, опалення поїздів на залізниці, опалення оранжерей тощо.

Паливо при переробці відходів з використанням технології розробки техногенних родовищ має достатню міцність і теплотворну здатність в залежності від фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей вхідної сировини. Ці властивості використовуються споживачами при транспортуванні і спалюванні. Для твердого палива ці властивості безпосередньо залежать від вуглефікації і ступеня метаморфізму (табл. 2).

Всі види твердих горючих копалин об'єднують в собі дві складові: органічну речовину і мінеральну компоненту. Для оцінки можливостей і необхідних параметрів електрокінетичного згрудкування виконуються дослідження проб вхідної техногенної сировини, кількість результатів яких збільшується в зв'язку зі збільшенням кількості композицій вихідного готового палива. Для вибору режимів і параметрів процесу виробництва палива при розробці техногенних відходів вугільної галузі виконуються: термічний, рентгеноструктурний, технічний (визначення зольності, вологості, калорійності при спалюванні і виході летких речовин) та хімічний аналізи, на підставі яких прогнозується міцність палива, необхідна для транспортування і зберігання.

Таблиця 2

Результати досліджень міцнісних характеристик отриманого палива при розробці техногенних відходів, що представленні вугільними шламами Дніпропетровської та Львівської областей

№ проби	Марка (вугілля, що вміщує шлам)	Міцність готового палива, кг/см ²	Зольність, %
1	Г ₁ шлам	12,3	19,5
2	Г ₂ шлам	13,7	22,3
3	Г ₃ шлам	14,1	25,3
4	Д ₁ шлам	14,5	26,1
5	Д-Г шлам	13,2	23,8

Збільшення міцності пов'язано з особливостями протікання адсорбційних процесів при взаємодії твердої фази з дисперсним рідким середовищем шихти. Міцність при структуроутворенні обумовлюється процесами взаємного розташування і взаємозв'язку між компонентами шихти і досить повно може бути охарактеризована адгезією. Остання залежить від зміни конформації макромолекул структур, сполучних на кордоні розділу фаз (шорсткості, пористості і вологості палива).

Висновки. Проведено дослідження напрямів оптимізації раціональних параметрів готової енергоефективної продукції в результаті застосування технології розробки техногенних відходів вугільної галузі. Обґрунтовані і вибрані необхідні пропорції для виробництва композиційного палива, застосування якого дозволить поповнити енергетичний ресурс, що потрібен для народного господарства. Використання відходів вуглевидобутку в перспективі дозволить зменшити екологічне навантаження на промислові регіони нашої країни з можливістю вивільнення значних площ території для застосування в сільському господарстві, при будівництві інфраструктури, а також створити умови для безпечного і комфортного проживання населення.

Перелік посилань

1. Білецький, В.С., & Сергеев, П.В. (2013). Утилізація відходів збагачення вугілля шляхом їх брикетування. *Збагачення корисних копалин*, 53(94), 205-209. https://www.researchgate.net/publication/333852389_UTILIZACIA_VIDHODIV_ZBAGACE_NNA_VUGILLA_SLAHOM_IH_BRIKETUVANNA_Bileckij_VS_doktor_tehnicnih_nauk_Sergeev_PV_doktor_tehnicnih_nauk_Doneckij_nacionalnij_tehnicnij_universitet
2. Самойлік, В.Г., Білецький, В.С., & Гудінов, Д.В. (2013). Вплив мінеральної компоненти на технологічні характеристики водовугільного палива. *Збагачення корисних копалин*, 53(94), 91-95. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/43451>
3. Елишевич, А.Т. (1989). *Брикетирование полезных ископаемых*. Недра.
4. Кузік, І.М. (2012). Вплив породних відвалів шахт на компоненти довкілля та визначення можливостей щодо його зменшення. *Екологія і природокористування*, 15, 31-37. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/57451>
5. Кроїк, Г.А., & Мельник, О.В. (2012). Закономірності розподілу техногенних та токсичних елементів у відходах добування та переробки вугілля Західного Донбасу. *Вісник ДНУ, серія «Геологія. Географія»*, 14(20), 77-82.
6. Kovalenko, A., & Pavlychenko, A. (2013). Analysis of ecology-social consequences of mining waste dumping. *Mining of Mineral Deposits*, 7(4), 405–408. <https://doi.org/10.15407/mining07.04.405>
7. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24-38. <https://doi:10.33271/mining13.01.024>
8. Бедрань, Н.Г., & Скоробогатова, Л.М. (1984). *Переработка и качество полезных ископаемых*. Вища школа.
9. Гайдай, А. А., & Мальченко, В. И. (2006). Исследования прочностных свойств брикетов из угольных шламов и штыбов, полученных способом холодного окускования. *Сб. научн. тр. НГУ*, (26), 101-105.
10. Gayday, O. (2013). Researches of structural-mechanical properties of coal tailings as disperse systems. *Mining of Mineral Deposits*, 327-331. <https://doi.org/10.1201/b16354-60>
11. Gajdaj O., & Ruskyh V. (2017). Development technogenic deposits by the technology production of composite fuel. *Materials of the International Scientific & Practical Conference «Energy Efficiency and Energy Saving 2017»*, 17-18.
12. Гайдай, А. А., & Сулаев, В. И. (2013). Технология адгезионно-химического окускования угольных шламов и штыбов, бурого угля и торфа. *Уголь Украины*, (1), 39-43. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr_2013_1_11

АННОТАЦИЯ

Цель. Обоснование и выбор рациональных параметров технологии переработки отходов углеобогащения.

Методика исследования базируется на комплексном аналитическом подходе к решению задач по определению физико-механических свойств вмещающего сырья техногенных отходов угледобывающих предприятий, а также качественного и количественного состава при применении химического, термического, рентгеноструктурного и минералогического анализов.

Результаты исследования. Проанализированы способы переработки и приведения к кондиционным условиям полезных ископаемых, которые представлены отходами и мелкодисперсными частицами угля. Обоснована возможность получения топлива, которое

имеет высокие теплоэнергетические и физико-механические свойства, достаточную механическую прочность, водо- и термостойкость. Установлено, что использование высокозольных каменноугольных шламов обеспечивает теплотворную способность не менее 2500 ккал/кг; при электрокинетическом окучивании композиций с низкосольным углем может достигать 4500 ккал/кг, при окомковании с антрацитовыми шламами и штыбами до 6000 ккал/кг. Обоснованно эффективное направление и технологию переработки отходов углеобогащения.

Научная новизна. Заключается в установлении закономерностей влияния механоактивации, состава отходов и других факторов при применении электрокинетического окомкования для получения композиционного топлива. Установленные закономерности позволяют обеспечить работы по проектированию универсальной установки, которая может применяться для разработки почти всех видов техногенных отходов.

Практическое значение. Обоснованы направления переработки отходов углеобогащения в зависимости от их качественного и количественного состава, содержания угля, физико-механических свойств для получения композиционного топлива.

Ключевые слова: угольная отрасль, отходы угледобычи, шламы, композиционное топливо, окучивание, отходы.

ABSTRACT

Goal. Substantiation and choice of rational parameters of coal beneficiation waste processing technology.

Research methodology is based on a comprehensive analytical approach to solving problems to determine the physical and mechanical properties of raw materials of man-made waste of coal mining enterprises, as well as qualitative and quantitative composition using chemical, thermal, X-ray and mineralogical analyses.

Research results. The methods of processing and conditioning of minerals represented by waste and fine coal particles are analysed. The possibility of obtaining fuel with high thermal and physical and mechanical properties, sufficient mechanical strength, water and heat resistance is substantiated. It is established that the use of high-ash coal sludge provides calorific value of not less than 2500 kcal/kg; when electrokinetic clumping of compositions with low-ash coal can reach 4500 kcal/kg, when agglomerating with anthracite sludge and culms up to 6000 kcal/kg. The effective direction and technology of coal enrichment waste processing are substantiated.

Scientific novelty. The novelty is to identify patterns of influence of mechanical activation, waste composition and other factors when using electric and kinetic agglomerating to obtain composite fuel. Establishing patterns allows to provide work on the design of a universal installation that can be used to develop almost all types of man-made waste.

Practical value. The directions of processing of coal beneficiation wastes depending on their qualitative and quantitative composition, coal content, physical and mechanical properties to obtain composite fuel are substantiated.

Keywords: coal industry, coal mining waste, sludge, composite fuel, agglomerating, waste.