

## ПОДРІБНЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА

Д.т.н. Білецький В.С. Донецький національний технічний університет,  
к.т.н. Світлий Ю.Г., НПО „Хаймек”

*В статті виконано огляд і аналіз технологій гідравлічного транспортування вугілля з точки зору його подрібнення. Обґрунтовано раціональні варіанти технології для енергетичного і коксівного вугілля.*

*In article faced out examination and technologies analysis of hydraulic coal transport from point of view of his grinding up. The rational technology variants for coal power and coke coal was grounded.*

Підвищення ролі вугілля, як основного енергоносія в теплоенергетиці, з одночасним посиленням екологічних вимог обумовлює необхідність розробки та впровадження нових вугільних технологій, які б забезпечували найбільшу повноту використання твердого палива з якомога більшою екологічною чистотою. Особливого значення ця проблема набуває для таких густонаселених промислово розвинених регіонів як Донбас, де екологічний фон погіршують ще й численні накопичувачі відходів вуглезбагачення – високозольних вугільних шламів, які після переробки можна перетворити у додаткове технологічно придатне паливо.

Таке паливо має відповідати жорстким вимогам сучасного ринку: стабільності основних технологічних характеристик, які формулює споживач, рентабельності виробництва та мінімально можливого небезпечного впливу на довкілля при його виготовленні та використанні.

В цьому зв'язку набуває актуальності використання вугілля у вигляді водовугільного палива, виникнення та розвиток технології якого первісно пов'язане з гідравлічним трубопровідним транспортом, а в подальшому з необхідністю пошуку альтернативи природному газу та мазуту у період паливної кризи.

Однією з серйозних перешкод на шляху широкого впровадження гідравлічного транспорту у вугільній промисловості є подрібнення вугілля під час гідротранспортування. Ця проблема набула першорядного значення у техно-

логічних гідротранспортних системах вугільних шахт з гідравлічною технологією видобутку корисної копалини.

Економічні показники вугільних шахт залежать від товарної якості і, як наслідок, продажної вартості продукту, яке шахта відвантажує споживачу. А ці показники визначає, наперед за все, кількість так званого сортового вугілля у загальному обсязі гірничої маси, яку видають на поверхню.

Метою цієї статті є огляд і аналіз гідротранспортних технологій з точки зору подрібнення вугілля та обґрунтування їх раціональних варіантів.

Як показали дослідження, подрібнення вугілля відбувається по всьому тракту гідротранспортної системи з інтенсивністю, яка залежить від фізико-механічних властивостей вугілля (гірничої маси), особливостей гідравлічного обладнання та параметрів транспортування.

Гідравлічна технологія відбивання вугілля забезпечує цілком задовільну крупність у вибої, зменшення якої у процесі транспортування самопливним гідротранспортом по гірничих виробках не має вирішального значення. В той же час забезпечення ж надійності транспортування у напірному потоці потребують обов'язкового подрібнення твердого матеріалу перед завантаженням у систему гідравлічного підйому або дільничного гідротранспорту.

Крупність вугілля у цьому випадку регламентує розмір прохідного перерізу в робочому апараті відцентрових насосів та діаметр транспортних трубопроводів. З існуючих типів подрібнювального обладнання найбільш придатними з точки зору збереження сортових класів є пікові дробарки.

Відомо, що застосування в гідротранспортних системах поршневих насосів обмежено конструктивними особливостями клапанного апарата, що, в свою чергу, обмежує верхню границю крупності твердого матеріалу, що транспортують (3–6 мм). Тому при транспортуванні рядового вугілля в технологічних гідротранспортних системах застосовують виключно відцентрові вугільні та ґрунтові насоси із збільшеним (до 70–100 мм) розміром прохідного перерізу міжлопатевого простору. Саме ці насоси і є першим технологічним елементом гідротранспортної системи, де відбувається подрібнення вугілля.

У відцентрових насосах подрібнення вугілля відбувається внаслідок зіткнення частинок з кромками лопаток робочого колеса, а також співударянь частинок в умовах високої швидкості потоку гідросуміші у спіральному відводі. Характерним у цьому випадку є руйнування крупних кусків твердого матеріалу, що призводить до збільшення кількості крупно-середніх класів з мінімальним утворенням найдрібніших.

При транспортуванні по трубах в умовах турбулентного потоку відбувається сколювання нерівностей та розколювання крупних кусків за мікротріщинами і перетирання дрібних частинок більш крупними. Грудки твердого матеріалу набувають округлої форми морської гальки з одночасним утворенням великої кількості найдрібніших часточок. Інтенсивність подрібнення зменшується із збільшенням відстані транспортування. Основними факторами, які визначають ступінь подрібнення при трубопроводному гідравлічному транспортуванні вугілля є вихідна крупність, швидкість потоку гідросуміші та довжина трубопроводу.

Найбільший ступінь подрібнення в процесі видачі вугілля на поверхню є характерним для ерліфтних систем, де гідросуміш з великою швидкістю ударяє в щит повітровідокремлювача, а найменший – для гідропідйому за допомогою камерних живильників.

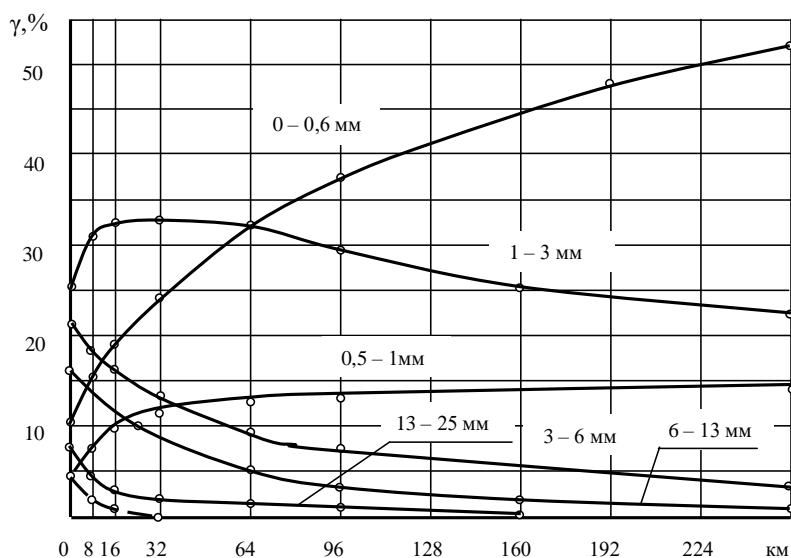


Рис. 1. Зміна гранулометричного складу антрациту в процесі гідравлічного транспортування.

Щодо магістральних гідротранспортних систем, то численні експерименти, які було проведено на стендах з трубами промислових діаметрів Донецького відділу далекого гідротранспорту інституту УкрНДПГідровугілля (тепер НПО „Хаймек”) на реальних гідросумішах, показали, що у загальному випадку транспортування рядового вугілля на великі відстані не є доцільним ні з технічної, ні з економічної точки зору, що обумовлено його подрібненням (рис.1) [1].

У разі необхідності (наприклад, при транспортуванні коксівного вугілля) зменшити у певній мірі ступінь подрібнення можна шляхом зменшення його вихідної крупності (як, наприклад, в американському вуглепроводі “Блек Межа – Мохайв) та застосування методу масляної агломерації [2, 3].

Роботами вітчизняних та закордонних дослідників було підтверджено, що найбільш доцільним є транспортування вугілля на великі відстані у вигляді водовугільної суспензії, придатної до безпосереднього спалювання в топках котлів без додаткового зневоднювання. Такі суспензії отримали назву водовугільного палива (ВВП) [4, 5].

Першим у світовій практиці гідротранспортним паливо-енергетичним комплексом (ГТПЕК), заснованим на водовугільному паливі є дослідно-промисловий трубопровід Белово-Новосибірськ (Росія), з річною продуктивністю 3 млн. т (по сухому вугіллю). Для транспортування водовугільного палива на відстань 262 км передбачені три насосних станції (одна головна та дві проміжні), які укомплектовані поршневыми насосами УНБ-600 виробництва російського Уралмашзаводу та американської (США) фірми Ingersol Rand.

З урахуванням досвіду освоєння цієї гідротранспортної системи італійською фірмою Snamprogetti було споруджено на острові Сардинія демонстраційний комплекс Порто Торрес продуктивністю 500 тис. тон водовугільного палива за рік, яке транспортують до електростанції і спалюють у топках енергетичного котла або до берегового терміналу для перевезення морськими танкерами до інших споживачів.

Спорудженням та експлуатацією цих комплексів було підтверджено технічну можливість та економічну доцільність створення потужних терміналів виготовлення водовугільного палива, яке з мінімальними енерговитратами можна транспортувати на будь-які відстані та зберігати на протязі довгого часу без зміни реологічних, седиментаційних та теплотехнічних характеристик. До того ж ВВП не є токсичним, пожежо- та вибуховобезпечне і придатне до транспортування не лише по трубах, але й у закритих ємностях автомобільним, залізничним та водним транспортом.

Спалювання водовугільного палива в топках котлів побутового, промислового та енергетичного призначення протікає при підвищеній повноті вигорання органічної маси та суттєвому зниженні вмісту оксидів азоту в атмосферних викидах. Застосування ВВП як основного або допалювального (при сумісному спалюванні з вугіллям, мазутом або газом) котельного палива передбачає можливість використання існуючих систем зберігання та подачі мазуту і не потребує суттєвої модифікації пиловугільних і при наявності систем золошлаковидалення газомазутних котлоагрегатів. Таким чином, водовугільне паливо є ефективною та екологічно чистою альтернативою природному газу та нафті і сприяє підвищенню ефективності спалювання тонкодисперсного вугілля.

Основними технологічними операціями технології виготовлення водовугільного палива, які забезпечують його задані у відповідності з вимогами споживача реологічні, седиментаційні та теплотехнічні характеристики є розмелювання та вибір хімічних домішок. Саме режим розмелювання, тип та параметри розмелювальних пристроїв забезпечують гранулометричний склад вихідного продукту для виготовлення ВВП необхідної концентрації і, відповідно, енергетичним потенціалом. Теоретичні дослідження та результати численних експериментів, в тому числі проведених в Україні в НВО "Хаймек", свідчать про те, що таким гранулометричним складом є склад максимального упакування.

Українськими та закордонними дослідниками запропоновано певну кількість гранулометричних складів розмеленого продукту, який наближається до складу максимального упакування. Всі вони мають одну загальну рису – бімодальність (рис. 2). В цьому плані першорядного значення набуває технологічна операція подрібнення та розмелювання вугілля.

Попри уявну простоту ця операція має багато особливостей. Перш за все такою особливістю є перший етап цієї операції – подрібнення. Відомо, що ефективність збагачення рядового вугілля у певній мірі визначає ступінь

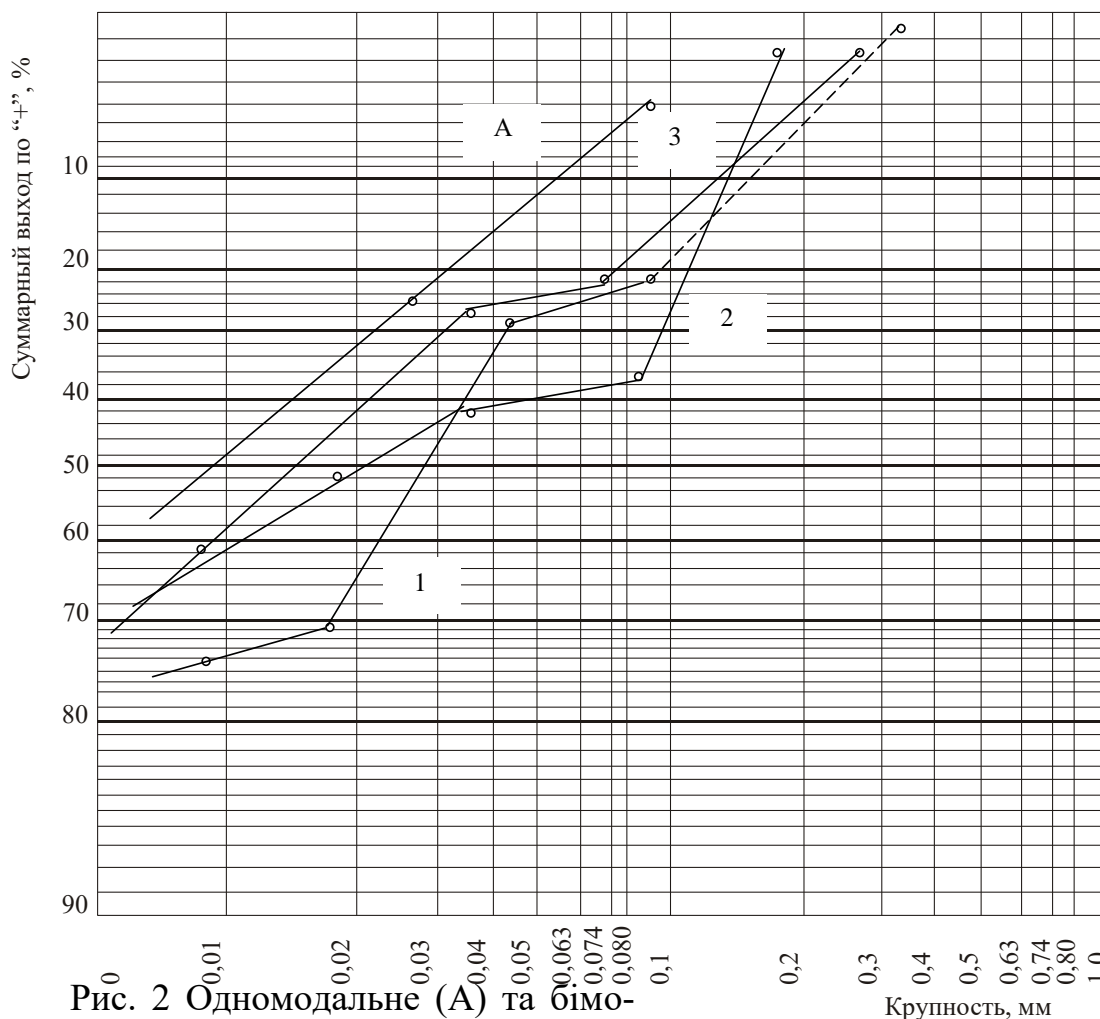


Рис. 2 Одномодальне (A) та бімодальне (1,2,3) гранулометричне розподілення.

його попереднього подрібнення. Але з іншого боку крупність вугілля, яке вугільне підприємство відвантажує споживачу, обумовлює його товарну цін-

ність. Саме тому збагачувачі дотримуються у своїй роботі принципу „не дробити нічого зайвого”.

Стосовно до технології виготовлення водовугільного палива ця суперечливість згладжується із підвищенням вимог до якості ВВП у залежності від його призначення як основного або допалювального палива для спалювання у побутових, промислових або енергетичних котлах, використання безпосередньо у місті виготовлення або необхідності транспортування іноді на сотні кілометрів.

Досвід освоєння ГТТЕК Белово-Новосибірськ указав на необхідність включення у технологію виготовлення водовугільного палива операції збагачення. Підставою для такого твердження є не тільки бажання підвищити енергетичний потенціал вихідного вугілля, а й стабілізувати його якість за зольністю. Справа в тому, що водовугільні суспензії дуже чутливі до кількості мінеральних включень у вихідному вугіллі, яка визначальним чином впливає на їх реологічні, седиментаційні та теплотехнічні характеристики [6]. Вибір та дозування хімічних добавок також залежить від зольності і властивостей мінеральної частини вугілля. А на термінал виготовлення ВВП як правило надходить вугілля від різних постачальників з різною зольністю.

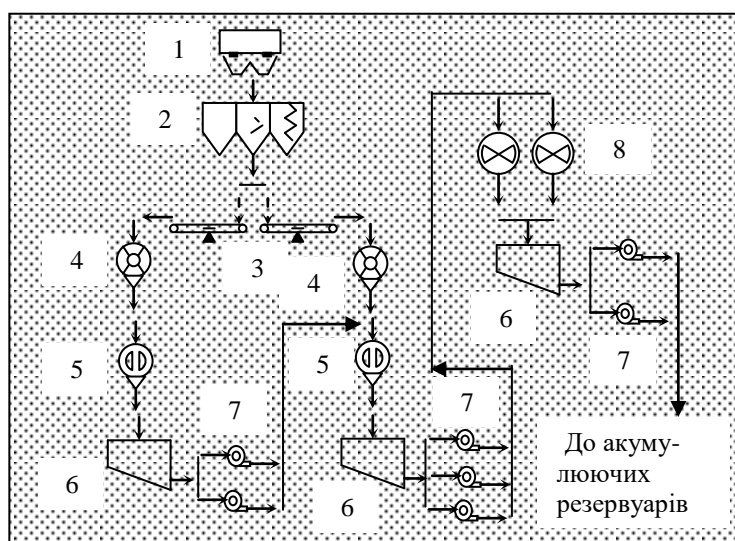
В технології виготовлення водовугільного палива, можуть бути застосовані різні методи збагачення – від найпростіших і дешевих гравітаційних до складних та дорогих. Так, наприклад, технологія виготовлення ВВП на італійському комплексі Порто Торрес передбачає збагачення крупного вугілля у важких середовищах, а дрібного – з застосуванням масляної агломерації. Технологія, яку запропоновано Донецьким відділом НВО „Гідротрубопровід” (тепер НВО „Хаймек”) для створення магістральної гідротранспортної системи Кузбас-Урал-Центр-Україна, передбачала комбінацію відсадки з флотацією.

Незважаючи на певні відмінності, всі технології виготовлення водовугільного палива передбачають дроблення вугілля перед помелом, що у комбінації з подальшим збагаченням створює єдиний технологічний вузол.

Помел – один з найвідповідальніших етапів підготовки вихідного вугілля до приготування водовугільного палива. Найбільш поширена у світовій практиці технологія „Реокарб” передбачає помел вугілля у дві стадії з використанням кульових та стержневих млинів, які у кожному конкретному випадку використовують у різних технологічних комбінаціях.

На терміналі виготовлення ВВП комплексу Белово-Новосибірськ 30-35 % подрібненого до крупності менше 3 мм вугілля одночасно з водою та розчином реагента-пластифікатора надходить до кульового млина, продукт розмелювання якого – тонкодисперсна (діаметр часточок менший за 40 мкм) суспензія з масовою концентрацією 45-49 % переходить до стержньового млина. В цей же млин здійснюють дозовану подачу 65-70 % решти подрібненого до 3 мм вугілля.

Подібну технологію виготовлення ВВП характеризує складність та багатопотоковість, наслідком чого є значні коливання структурно-реологічних характеристик, які, в свою чергу, знижують надійність роботи гідротранспортної системи комплексу. Енергоємність процесу мокрого розмелювання у дві стадії досягає 110 кВт·г/т вугілля, що обумовлює експлуатаційні витрати по блоку виготовлення ВВП на рівні 75 % від загальних витрат по всьому ГТПЕК.



1 – яма привозного вугілля; 2 – бункери вихідного вугілля; 3 – стрічкові ваги-дозатори; 4 – дробарки; 5 – кульовий та стержневий млини; 6 – резервуари; 7 – насоси; 8 – змішувачі.

Рис. 3 Технологічна схема виготовлення ВВП на початковому терміналі дослідно-промислового трубопроводу Белово-Новосибірськ.

Складність та висока вартість операції помелу вугілля у дві стадії стимулювали пошуки нових технічних рішень з меншими витратами енергії. При цьому вимоги до ВВП, як композиційного штучного палива, формулюють, виходячи з умов забезпечення найбільш ефективної експлуатації котлоагрегатів та іншого обладнання при його використанні, транспортування від терміналів виготовлення до споживача з найменшими енерговитратами, зберігання ВВП протягом необхідного часу без зміни споживчих якостей, високого енергетичного потенціалу та найменшої собівартості електричної та теплової енергії.

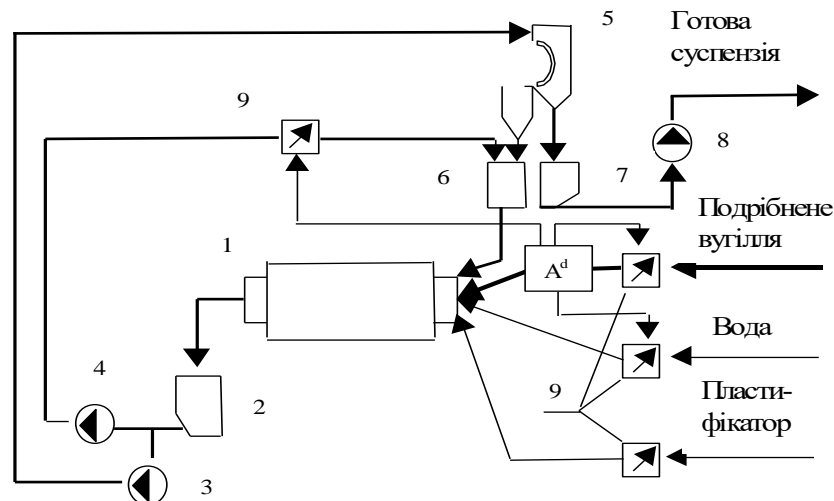
Найбільш високі вимоги висуваються до ВВП, яке призначене для спалювання замість газу та мазуту у потужних енергетичних котлах та надходить до електростанції по магістральних гідротранспортних системах.

Щодо котлів середньої та малої паропродуктивності промислової та побутової сфери, то вимоги до ВВП, і як у варіанті основного, так і допалювального котельного палива, можуть бути значно спрощеними як в реологічному аспекті, так і у відношенні до седиментаційної стабільності. Тут на перший план виходять вимоги зменшення капітальних вкладень та найпростішої експлуатації в умовах невеликого підприємства. Отже й гранулометричне розподілення вихідного розмеленого продукту не вимагає обов'язкової бімодальності, що припускає можливість одностадійного помелу, внаслідок чого суттєво зменшують витрати енергії на виготовлення водовугільного палива. Основним чинником регулювання гранулометричного розподілення розмеленого продукту в цьому випадку крім параметрів та режимів роз-мелювання стає гранулометричний склад розмелювальних тіл.

У процесі вдосконалення технології виготовлення ВВП на дослідно-промисловому трубопроводі Белово-Новосибірськ було запропоновано схему помелу вихідного вугілля в одну стадію, що обумовило зниження загальної

енергоємності процесу у 2,4 рази (27,8-47,9 кВт·г/т). Аналіз експлуатаційних даних за такою схемою показав, що реологічні характеристики у порівнянні з розмелюванням у дві стадії не погіршилися. При цьому було відмічено значно менший вплив на реологію суспензії гранулометричного складу розмеленого продукту і більший вплив його зольності, оптимальне значення якої було зафіксоване на рівні 14 %.

Для забезпечення необхідних структурно-реологічних характеристик водовугільного палива з зольністю вихідного продукту меншою 14 % було розроблено технологічну схему з частковою циркуляцією готової суспензії з використанням оригінального класифікаційного апарата, який забезпечує повернення до млина часточок крупніших за верхнє граничне зерно.



- 1 – кульовий млин; 2 – резервуар водовугільної суспензії;  
3, 4, 8 – насоси; 5 – класифікатор суспензії; 6 – змішувач;  
7 – резервуар готової суспензії; 9 – витратомірники.

Рис.4 Технологічна схема одностадійного виготовлення ВВС з вугілля середньої зольності.

Якщо термінал виготовлення водовугільного палива розміщено у безпосередній близькості від споживача та призначено воно для спалювання у котлах малої або середньої паропродуктивності вимоги до седиментаційної стабільності суттєво зменшені і регулювання гранулометричного складу розмеленого продукту здійснюють, головним чином, лише зміною гранулометрії розмелювальних тіл.

## Висновки.

1. Великий експериментальний матеріал, одержаний на стендах з трубами промислових діаметрів Донецького відділу далекого гідротранспорту інституту УкрНДПідровугілля (тепер НПО „Хаймек”) на реальних гідросумішах, дає підстави стверджувати, що транспортування рядового вугілля на великі відстані не є доцільним ні з технічної, ні з економічної точки зору, що обумовлено його подрібненням в процесі гідротранспортування.

2. Зменшити ступінь подрібнення вугілля при магістральному (дальньому) гідротранспортуванні можна шляхом зменшення його вихідної крупності та застосування методу масляної агломерації (грануляції). Ці технічні рішення можуть бути рекомендовані для дальнього гідравлічного транспорту коксівного вугілля.

3. Однією з найбільш перспективних технологій використання енергетичного вугілля є приготування, гідравлічний транспорт і пряме (без зневоднення) спалювання водовугільних суспензій. Їх приготування ґрунтується на дво- або одностадійному подрібненні з метою одержання вугільного продукту з найбільш щільною упаковкою зерен.

## ЛІТЕРАТУРА.

1. Свитлий Ю.Г. Исследование закономерностей измельчения угля при гидротранспорте: Автореф. дисс. канд. техн. наук: 312.– Магнитогорский горно-металлургический ин-т.– Магнитогорск.– 1968.– 16 с.
2. Гидротранспорт коксующегося угля // А.Т.Елишевич, В.С.Белецкий, Ю.Г.Свитлий, Т.В.Карлина// Промышленный транспорт. - 1986. - № 6. С.11.
3. Белецкий В.С. Гидротранспорт угля с масляной грануляцией// Промышленный транспорт. - 1984. - № 6. С.17.
4. Мурко В.І. Научные основы процессов получения и эффективного применения водоугольных суспензий: Автореф. дисс. докт. техн. наук: 05.17.07 – Институт горючих ископаемых.–М.–1999.–48 с.
5. Круть О.А. Водовугільне паливо.– К.– 2003.– 196 с.
6. А.с. 1490942 СССР, М. Кл<sup>4</sup> С 10 L 1/32. Способ получения низкозольной водоугольной суспензии // А.Т.Елишевич, В.С.Белецкий, В.Г.Самойлик, Ю.Г.Свитлий, Т.В.Карлина - № 4254864/31-04; Завл. 01.06.87; Опубл. 01.03.89.