

Топливо и енергетика

УДК 662.642:665.44(447)

Світлий Ю.Г.¹, канд. техн. наук, **Круть О.А.²**, докт. техн. наук,
Білецький В.С.³, докт. техн. наук, професор

¹ НВО «Хаймек», Донецьк

вул. Університетська, 93а, 83048 Донецьк, Україна, e-mail: f.paryani@mail.ru

² Інститут вугільних енерготехнологій НАН України, Київ

вул. Андріївська, 19, 04070 Київ, Україна, e-mail: ceti@i.kiev.ua

³ Донецький національний технічний університет

вул. Артема, 58, 83000 Донецьк, Україна, e-mail: info@donmtu.edu.ua, ukcd@bstels.net

Вітчизняний досвід переробки бурого вугілля на водовугільне паливо

Показано принципову можливість та перспективність застосування у вітчизняних умовах технології переробки бурого вугілля «hot water drying». Технологію спрямовано на його облагородження для подальшого ефективного використання при підготовці водовугільного палива високої концентрації у технологічних процесах переробки вугілля для промислових та побутових цілей. Порівняльні характеристики показують, що способом гідротермообробки можна усунути основні негативні особливості вітчизняного бурого вугілля: високу вологість та гігроскопічність, високу реактивну здатність до кисню повітря. Це дасть змогу використовувати його для хіміко-технологічної переробки або прямого спалювання у вигляді водовугільного палива. Наведено принципову технологічну схему терміналу підготовки водовугільного палива на базі бурого вугілля Дніпровського басейну. *Бібл. 16, рис. 1, табл. 2.*

Ключові слова: переробка бурого вугілля, гідротермообробка, водовугільне паливо.

Розвиток української економіки пов'язаний з інтенсифікацією споживання вугілля. В Україні частка запасів вугілля у паливно-енергетичному балансі складає понад 94 % [1]. Збільшити видобуток вугілля можна лише шляхом корінної реконструкції та будівництва нових вугільних розрізів та шахт, що потребує тривалого часу та великих капітальних вкладень.

Одним із шляхів вирішення проблеми є розширення сфери використання бурого вугілля у великій та малій теплоенергетиці, промисловості та побуті, що сприятиме у повній мірі стабілізації паливно-енергетичного балансу країни та створенню резервного часу для розвитку вугільної промисловості.

Запаси бурого вугілля в Україні оцінюються у 2,24 млрд т. Понад 800 млн т придатні для видобутку відкритим способом. Підготовлено для експлуатації 8 родовищ сумарною потужністю 115 млн т, з них 4 — для відкритої розробки.

Великі запаси бурого вугілля зосереджені у Харківській обл. (Ново-Дмитрівське) та у Полтавській обл. (Сула-Удайські), де загальні запаси сировини складають 900 млн т, з яких 570 млн т придатні для відкритої розробки. За своїми характеристиками вугілля цих родовищ аналогічне вугіллю Дніпровського буровугільного басейну. Вугільні пласти потужністю 3–4 м залягають на глибині 15–100 м [2].

Широке використання бурого вугілля стримується його характеристиками: високою вологістю та гігроскопічністю, високою реактивною здатністю до кисню повітря. Ці характеристики обумовлюють неможливість його перевезення на великі відстані, велику ймовірність самозаймання [3]. Крім того, буре вугілля має дещо знижену теплоту згоряння — до 24 МДж/кг проти 31–37 МДж/кг у кам'яного вугілля. Особливістю бурого вугілля є здатність на повітрі швидко віддавати значну частину вологи та перетворюватися на дріб'язок, що не дає змоги його використовувати після порівняно нетривалого зберігання [4].

Нові перспективи у використанні бурого вугілля відкриває розвиток новітніх технологій переробки бурого вугілля та його облагородження з метою покращення експлуатаційних характеристик [5].

Перший відомий напрямок переробки — це брикетування, тобто процес механічної переробки тонкозернистих корисних копалин та їх концентратів на механічно міцний грудковий продукт — брикет, який має визначені геметричну форму, розмір та вагу. Основним споживачем побутових брикетів є населення, яке одержує їх у насипному вигляді або розфасованим у мішки невеликої маси. Промислові брикети використовуються у коксохімічній, металургійній, хімічній та інших галузях промисловості.

Основними чинниками, що впливають на процес отримання міцних брикетів з бурого вугілля, є вологість та крупність вугілля, тиск та температура пресування, сушка та охолодження брикетів та тривалість пресування. Щоб отримати необхідну міцність брикетів при зміні одного з параметрів, необхідно одночасно корегувати інші параметри [6, 7].

Другий напрямок переробки бурого вугілля — його гідрогенізація (метод отримання синтетичного рідкого палива), тобто процес прямої переробки вугілля на синтетичні палива рідкого та газоподібного агрегатних станів, що відбувається при високому тиску та відносно високій температурі. На цьому технологічному шляху стають на заваді властивості бурого вугілля: висока вологість, дезінтеграція.

Ще одним напрямком переробки бурого вугілля є піроліз — розкладання бурого вугілля при нагріванні без доступу повітря. Розрізняють чотири основні процеси піролізу: напівкоксування (до 500–550 °С); середньотемпературне коксування (700–750 °С); високотемпературне коксування (до 900–1100 °С); графітація (1300–3000 °С).

Буре вугілля при нагріванні не розм'якшується, при цьому відбувається виділення летких речовин, які частково розкладаються, утворюється більш або менш монолітний напівкокс, що зазнав сильної усадки [8].

Процес перетворення органічної маси вугілля на газоподібні горючі речовини носить назву газифікація та є ще одним напрямком переробки бурого вугілля. Газифікація вугілля лежить в основі багатьох технологічних процесів, пов'язаних з його застосуванням. Перші процеси газифікації розроблялися з метою отримання з вугілля горючих газів, які застосовувалися як побутове паливо для вуличного освітлення, як промислове паливо для різних високотемпературних процесів [9].

Даний напрямок переробки вугілля досліджується у різних країнах світу. За кордоном найбільше промислове впровадження ця технологія отримала у ПАР, де працюють чотири заводи із загальною річною продуктивністю близько 8–10 млн т рідкого палива. Роботи ведуться за запатентованою технологією SASOL на основі вдосконаленого методу Фішера-Тропша. SASOL проводить політику щодо підтримки високих платежів за право користування технологією, що зумовлює високу вартість її промислової реалізації в інших країнах [10].

На думку авторів [11], для України найбільш доцільним шляхом використання у теплоенергетиці бурого вугілля є створення паливно-енергетичних комплексів, у тому числі на базі технології підготовки та транспортування водовугільного палива у складі потужних вугільних розрізів та теплових електростанцій.

Буре вугілля може транспортуватися у вигляді висококонцентрованої водовугільної суспензії, але його активна дезінтеграція у процесі гідротранспортування призводить до зміни реологічних характеристик висококонцентрованої водовугільної суспензії, що ускладнює розпилювання водовугільного палива (ВВП) через форсунки у топці котла, зменшує текучість по трубопроводу до його закупорки [12]. Досвід світової та вітчизняної практики показує, що вихідний продукт, який подається на подальшу переробку, має відповідати вимогам, наведеним у табл.1 [13].

Як бачимо, головними негативними чинниками для ефективного впровадження технологічних процесів переробки бурого вугілля, а також підготовки та при необхідності транспортування ВВП високої концентрації є висока вологість, дезінтеграція вугілля.

Теоретичні та експериментальні дослідження щодо приготування ВВП на основі бурого вугілля показали, що для виробництва водо-

Таблиця 1. Вимоги до характеристик бурого вугілля перед процесом переробки

Технологічний процес переробки	Ad, %	W _t , %	D, мм	Інші вимоги
Брикетування	до 20	до 18	0–6	–
Зрідження	10–12	10–15	< 0,1	показник відбиття вітриніту 0,35–0,95 %
Піроліз	до 10	до 15	–	малосірчистість
Газифікація	до 40	до 65	3,0–1,0; < 0,1	малосірчистість
Гідротранспортування	–	< 10	0,1–0,3	ступінь вільного набухання < 3 %

вугільного палива з прийнятними топковими характеристиками й стійким горінням вихідне вугілля повинно мати такі характеристики [14]: рівноважна волога – менш 10 %; паливний коефіцієнт (зв'язаний вуглець : леткі речовини) – менш 1,6 %; вихід летких речовин – більш 30 %; ступінь вільного набухання (тенденція до агломерування) – менш 3 %. Буре вугілля відповідає всім цим вимогам за винятком вологості.

Частина води у бурому вугіллі хімічно адсорбована за рахунок взаємодії з полярними функціональними групами поверхні вугілля, зокрема фенольними, карбоксильними, спиртовими. Інша частина води утримується капілярними силами всередині пористої структури вугілля. Наявність великої кількості зв'язаної води знижує теплоту згорання бурого вугілля, тому для отримання висококонцентрованої водовугільної суспензії з потрібними теплофізичними характеристиками необхідно враховувати вміст води у вихідній сировині.

Це можна вирішити за рахунок процесу гідротермообробки з використанням технології «hot water drying», яка була розроблена Дослідним центром з енергетики й екології (EERC) університету Північна Дакота. Суть процесу – пресування вугілля у водному середовищі. Експериментально було встановлено, що волога у малометаморфізованому вугіллі відділяється в умовах, аналогічних тим, що мають місце під час метаморфізму.

У США розроблено методику, коли при певному рості температури та тиску буре вугілля втрачає внутрішньопорову та хімічно зв'язану воду, а також набуває такого стану (вугілля знаходиться у водній фазі під великим тиском), коли ресорбція води не відбувається. У результаті зміни структури бурого вугілля смоли, які знаходяться у ньому у великій кількості, закупорюють пори та не дають потрапити волозі у вугілля. Таким чином, вугілля

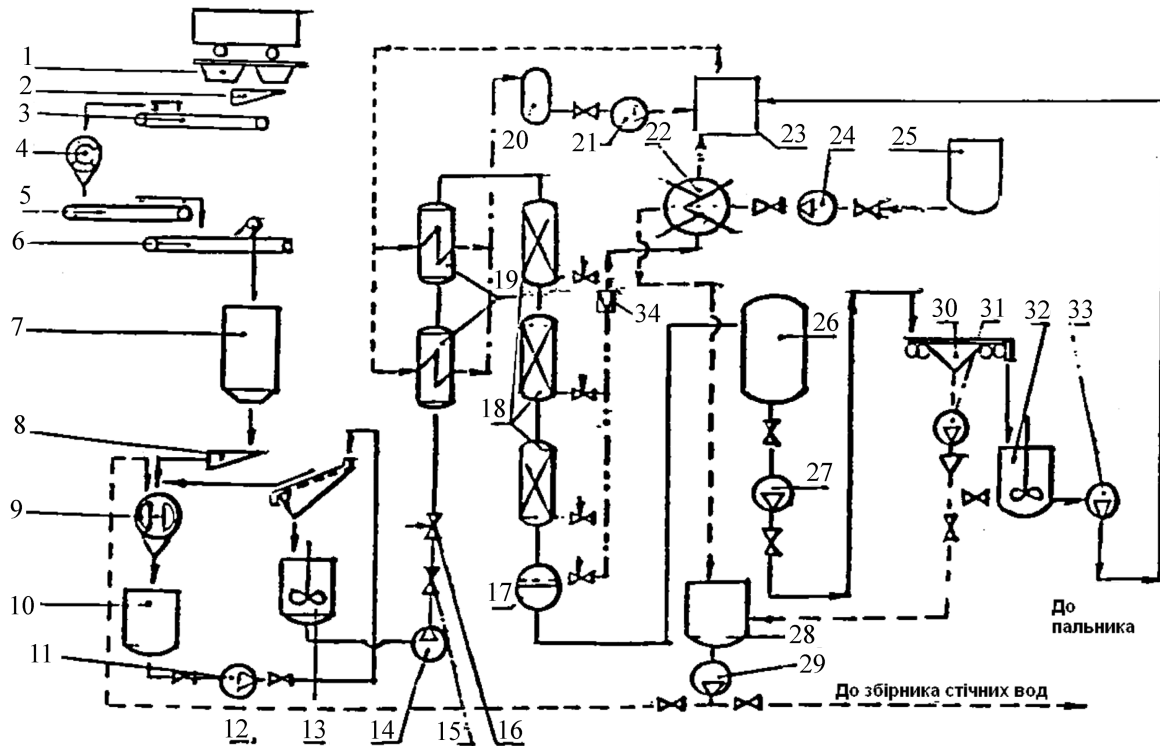
переходить від гідрофільного стану до гідрофобного. Технологія «hot water drying» має ще одну перевагу – видалення натрію під час процесу сушки, що знижує ризик забруднення та шлакоутворення у котлах [15].

У НПО «Хаймек» (Донецьк) у співдружності з фірмами Williams Technologies Inc. та Coal-Water Fuel Services (США) виконані дослідження за технологією «hot water drying» на українському бурому вугіллі, проба якого була відібрана на Константинівському розрізі компанії «Олександріввугілля» та у заповнених інертним газом поліетиленових мішках, вміщених у металеві контейнери, доставлена авіапоштою до США. До дослідницької лабораторії (Фербенкс, штат Аляска) вугілля надійшло у первинному стані з вологістю на робочу масу близько 55 % (рівноважна волога – близько 36 %).

У процесі досліджень буре вугілля пройшло повний технологічний цикл підготовки гідросуміші, термообробки й приготування водовугільного палива. Гідротермообробка здійснювалася у спеціальному реакторі при температурі 300–320 °С та тиску насиченої пари протягом 10–30 хв. Після неї відзначене істотне покращання хімічних характеристик бурого вугілля, у тому числі зниження вмісту кисню й сірки при підвищенні енергетичного потенціалу. Рівноважна волога знизилася від 36 до 10 %. На заключному етапі було отримане водовугільне паливо концентрацією 62 % (мас.) без застосування хімічних добавок з теплотою згорання 3444 ккал/кг. Порівняльні характеристики бурого вугілля до й після гідротермообробки наведені в табл.2.

Таблиця 2. Аналіз бурого вугілля Олександрійського родовища

Показник	Рядове	Після гідротермічної обробки
Технічний аналіз		
Зольність на суху масу Ad, %	18,9	18,8
Зольність на робочу масу Ar, %	11,9	11,8
Вихід летких V _{daf} , %	51,6	48,1
Зв'язаний вуглець, %	30,0	33,5
Вологість W _t , %	56,0	37,2
Елементний аналіз		
Вуглець, %	56,6	61,7
Водень, %	4,8	4,8
Азот, %	0,7	0,6
Сірка, %	4,41	3,9
Зола, %	18,8	18,8
Кисень, %	15,4	10,6
Вища теплота згорання, кДж/кг (ккал/кг)	28020 (6692)	38988 (9312)



Технологічна схема терміналу приготування ВВП: 1 – яма привізного вугілля; 2 – живильник; 3 – конвейер з металовловлювачем; 4 – дробарка; 5 – конвейер стрічковий; 6 – конвейер з розвантажувальним візком; 7 – бункер дробленого вугілля; 8 – живильник-дозатор; 9 – кульовий млин; 10 – бак для гідросуміші; 11 – насос; 12 – гідрогрохот; 13 – мішалка; 14 – насос вакуумний; 15 – безповоротний клапан; 16 – регулювальний клапан; 17 – сепаратор; 18 – реактори; 19 – теплообмінник; 20 – збірник конденсату; 21 – живильний насос; 22 – конденсатор; 23 – котел; 24 – насос; 25 – резервуар для води; 26 – зрівнювальний резервуар; 27 – насос; 28 – бак для води; 29 – насос; 30 – стрічковий вакуум-фільтр; 31 – вакуумний насос; 32 – гомогенізатор; 33 – насос готового ВВП; 34 – клапан скидання тиску.

Перехід від експериментальних досліджень до повномасштабного промислового впровадження вимагає відпрацювання технології у відповідних умовах з котлоагрегатом малої або середньої паропроодуктивності. З цією метою у НПО «Хайтек» на замовлення Міністерства палива та енергетики України проведено дослідження та розроблено проект пілотної установки, основні технологічні елементи якої впроваджено на підприємствах виробничого об'єднання «Олександріявугілля».

Постачальником вихідного продукту для приготування ВВП намічений розріз Константи́вський, звідки для стабільної роботи дослідно-промислової установки щодоби передбачається відвантажувати 240 т бурого вугілля зольністю $A^d = 10\text{--}12\%$ при вологості на робочу масу $W_{tr} = 57\%$, що забезпечить продуктивність по ВВП 170 т/добу при концентрації $C = 62\%$ (мас.).

Термінал приготування ВВП заплановано розмістити у котловому цеху № 1 Олександрійської ТЕЦ. Принципова технологічна схема терміналу приготування ВВП наведена на рисунку.

Проектом передбачене максимально можливе використання існуючого основного й допоміжного устаткування, інженерних мереж та комунікацій.

Собівартість водовугільного палива, враховуючи вартість бурого вугілля як вихідного продукту (60 грн/т), становить 112,88 грн/т, або 6,5 дол./Гкал. Планований строк будівництва – 11 міс. [16].

Висновки

Апробовано та показано принципову можливість та перспективність застосування у вітчизняних умовах технології переробки бурого вугілля «hot water drying» як спрямованого його облагородження для подальшого ефективного використання при підготовці ВВП високої концентрації та у подальших технологічних процесах переробки вугілля для промислових та побутових цілей. Наведено принципову технологічну схему терміналу підготовки ВВП на базі бурого вугілля Дніпровського басейну.

Список літератури

1. Смирнов В.О., Сергеев П.В., Білецький В.С. Технологія збагачення вугілля : Навч. посібник. — Донецьк : Схід. видавн. дім, 2011. — 476 с.
2. Chun-Zhu Li. Advances in the Science of Victorian Brown Coal-Book, 2004. — 459 p. — http://reslib.com/book/Advances_in_the_Science_of_Victorian_Brown_Coal#1
3. Маценко Г., Білецький В., Шендрік Т. Короткий словник з петрографії вугілля. — Донецьк : Схід. видавн. дім, 2011. — 74 с.
4. Сябрай В.Т. Генезис бурых углей Днепровского бассейна. — Киев, 1958. — 78 с.
5. Світлий Ю.Г., Білецький В.С. Гідравлічний транспорт. — Донецьк : Схід. видавн. дім, 2009. — 436 с.
6. Саранчук В.І., Ільяшов М.О., Ошовський В.В., Білецький В.С. Основи хімії і фізики горючих копалин. Підруч. — Донецьк : Схід. видавн. дім, 2008. — 640 с.
7. Тополов В.С., Грядущий Б.А., Петренко С.Я. Угольная отрасль Украины : Энергоресурсы, ретроспектива, состояние, проблемы стратегии развития. — Донецк : Алан, 2005. — 408 с.
8. Крылова А.Ю., Козюков Е.А. Состояние процессов получения синтетических жидких топлив на основе синтеза Фишера-Тропша // Химия твердого топлива. — 2007. — № 6. — С. 16–25.
9. Малолетнев А.С., Наумов К.И., Скрипченко Г.Б., Шведов И.М. Новые процессы получения окискованного топлива // Там же. — 2011. — № 3. — С. 45–51.
10. Мала гірнича енциклопедія / За ред. В.С.Білецького. — Донецьк : Донбас, 2004–2007. — Т. 1, 2.
11. Трубецкой К.Н., Зайденварг В.Е., Кондратьев А.С. и др. Водугольное топливо — технология будущего и перспективы применения в России // Уголь. — 2007. — № 11. — С. 28–32.
12. Білецький В.С., Смирнов В.О. Технологія збагачення корисних копалин. — Донецьк : Схід. видавн. дім, 2004. — 272 с.
13. Саранчук В.И. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля. — Киев : Наук. думка, 1988. — 190 с.
14. Світлий Ю.Г., Круть А.А. Технология водугольного топлива. Справ. пособие. — Донецк : Схід. видавн. дім, 2011. — 103 с.
15. Елишевич А.Т. Работнику обогатительной фабрики : Справ. пособие. — Донецк : Донбасс, 1987. — 128 с.
16. Елишевич А.Т. Брикетирование полезных ископаемых. — М. : Недра, 1989. — 300 с.

Надійшла до редакції 20.02.13

Світлий Ю.Г.¹, канд. техн. наук, Круть А.А.², докт. техн. наук, Білецький В.С.³, докт. техн. наук, професор

¹ НПО «Хаймек», Донецк

ул. Университетская, 93а, 83048 Донецк, Украина, e-mail: f.papayani@mail.ru

² Институт угольных энерготехнологий НАН Украины, Киев

ул. Андреевская, 19, 04070 Киев, Украина, e-mail: ceti@i.kiev.ua

³ Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, 83000 Донецк, Украина, e-mail: info@donmtu.edu.ua, ukcd@bstels.net

Отечественный опыт переработки бурого угля на водугольное топливо

Показана принципиальная возможность и перспективность применения в отечественных условиях технологии переработки бурого угля «hot water drying». Технология направлена на его облагораживание для дальнейшего эффективного использования при подготовке водугольного топлива высокой концентрации в технологических процессах переработки угля для промышленных и бытовых целей. Сравнительные характеристики показывают, что способом гидротермообработки можно устранить основные негативные особенности отечественного бурого угля: высокую влажность и гигроскопичность, высокую реактивную способность к кислороду воздуха. Это позволит использовать его для химико-технологической переработки или прямого сжигания в виде водугольного топлива. Приведена принципиальная схема терминала подготовки водугольного топлива на базе бурого угля Днепровского бассейна. *Библ. 16, рис. 1, табл. 2.*

Ключевые слова: переработка бурого угля, гидротермообработка, водугольное топливо.

References

1. Smirnov V.O., Sergeev P.V., Bilec'kij V.S. (2011). Tehnologija zbagachennja vugillja. — Donec'k : Shidny vidavnychy dim, 476 p. (Ukr.)
2. Chun-Zhu Li. (2004). Advances in the Science of Victorian Brown Coal-Book, 459 p. — http://reslib.com/book/Advances_in_the_Science_of_Victorian_Brown_Coal#1
3. Macenko G., Bilec'kij V., Shendrik T. (2011). The Short Dictionary of Coal Petrography. — Donec'k : Shidny vidavnychy dim, 74 p. (Ukr.)
4. Sjabraj V.T. (1958), Genesis of Brown Coals of Dniپر Basin. — Kiev, 78 p. (Rus.)
5. Svitlyj Ju.G., Bilec'kij V.S. (2009). Hydraulic Transport. — Donec'k : Shidny vidavnychy dim, 436 p. (Ukr.)
6. Saranchuk V.I., Il'jashov M.O., Oshovs'kij V.V., Bilec'kij V.S. (2008). The Bases of Chemistry and Physics of Combustible Minerals. — Donec'k : Shidny vidavnychy dim, 640 p. (Ukr.)
7. Topolov V.S., Grjadushhij B.A., Petrenko S.Ja. (2005). Coal Branch of Ukraine: Power Resources, Retrospective Review, Status, Problems of Development Strategy. — Donec'k : Alan, 408 p. (Rus.)
8. Krylova A.Ju., Kozjukov E.A. (2007). The Processes Condition of Synthetic Liquid Fuels Manufacture on the Basis of Fisher-Tropsch Synthesis. *Himija tverdogo topliva*, (6), pp. 16–25. (Rus.)
9. Maloletnev A.S., Naumov K.I., Skripchenko G.B., Shvedov I.M. (2011). New Processes of Agglomerate Fuel Obtaining. *Himija tverdogo topliva*, (3), pp. 45–51. (Rus.)
10. The Small Rock Encyclopedia/ Ed. V.S.Bilec'kij. — Donec'k : Donbas, 2004–2007. — T. 1, 2. (Ukr.)
11. Trubeckoj K.N., Zajdenvarg V.E., Kondrat'ev A.S. (2007). Water and Coal Fuel — the Future Technology of and the Application Prospect in Russia. *Ugol'*, (11), pp 28–32. (Rus.)
12. Bilec'kij V.S., Smirnov V.O. (2004). The Technology of Minerals Concentration. — Donec'k : Shidny vidavnychy dim, 272 p. (Ukr.)
13. Saranchuk V.I. (1988). Coal Permolecular Organization, Structure and Properties. — Kiev : Naukova dumka, 190 p. (Rus.)
14. Svitlyj Ju.G., Krut' A.A. (2011). The Technology of Water-Coal Fuel. — Donetsk : Shidny vidavnychy dim, 103 p. (Rus.)
15. Elishevich A.T. (1987). For the Worker of Concentrating Factory. — Donetsk : Donbas, 128 p.
16. Elishevich A.T. (1989). Bracketing of Minerals. — Moscow : Nedra, 300 p. (Rus.)

Received February 20, 2013

Svitly Yu.G.¹, Candidate of Technical Science, **Krut' O.A.²**, Doctor of Technical Science, **Bilecky V.S.³**, Doctor of Technical Science, Professor

¹ **Scientific Production Association «Haymek», Donetsk**

93a, Universitetska Str., 83048 Donetsk, Ukraine, e-mail: f.papayani@mail.ru

² **Coal Energy Technology Institute of National Academy of Science of Ukraine, Kiev**

19, Andriyoska Str., 04070 Kiev, Ukraine, e-mail: ceti@i.kiev.ua

³ **Donetsk National Technical University**

58, Artema Str., 83000 Donetsk, Ukraine, e-mail: info@donntu.edu.ua, ukcd@bstels.net

Ukrainian Experience of Brown Coal Treatment to Coal Water Slurry

Principal possibility and promising prospects to use the «hot water drying» technology for brown coal in domestic conditions are shown and tested. The technology is to enrich brown coal with the aim of further effective usage of coal water slurry of high concentration in technological processes of coal treatment for utility and industry needs. It was shown by comparative results that the use of hydro-heat treatment allows to avoid main negative features of local brown coal: high humidity and hygroscopic ability as well as high reactivity to air oxygen. This allows to use brown coal for chemical and technological treatment or for direct combustion as coal water slurry. The principal technological scheme of terminal to prepare coal water slurry using brown coal of Dniprovsky basin is presented. *Bibl. 16, Fig. 1, Table 2.*

Key words: brown coal treatment, hydro heat treatment, coal water slurry.