

## ПІДВИЩЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПРИ ЗМЕНШЕННІ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА

Круть О.А., Папаяні Ф.О., Козиряцький Л.М.  
кандидати технічних наук

*Проведені дослідження підтверджують, що досягнення високої концентрації водовугільного палива, яка й визначає його енергетичний потенціал, можливе через оптимізацію гранулометричного розподілення розмелювальних тіл кульових млинів та правильний вибір хімічних домішок-пластифікаторів.*

*The Called on studies confirm that achievement to high concentration water coal fuel, which defines his energy potential, possible through optimization granulometric distribution grinded tel ball mills that right choice additives softener.*

**Проблема і її зв'язок з науковими і практичними задачами.** Проблема підвищення концентрації при зменшенні енергоємності виготовлення водовугільного палива, яка й визначає його енергетичний потенціал – є актуальною для виготовлення водовугільної суміші. її гідротранспорту особливо на дальні відстані експлуатаційних витрат. кількості хімічних домішок - пластифікаторів, які підвищують гідрофільність вугільних частинок, утворенні навколо кожної з них тонкої водяної оболонки, що, в свою чергу, запобігає їх агломерації, та сприяє регулюванню водневого показника рН.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Аналіз вітчизняних та закордонних досліджень і розробок говорить, що можливості оптимізації параметрів оптимізації і підвищення концентрації традиційними засобами обмежені [1,2,3]. Зусилля вітчизняних та закордонних дослідників було спрямовано на розробку процесів та апаратно-технологічних схем виготовлення технологічних схем виготовлення водовугільного палива у відповідності до вимог світового ринку із мінімально можливими витратами енергії. Вирішення проблеми високої концентрації було знайдено у помелі вихідного вугілля до гра-

нулометричного складу якомога близького до максимального упакування, та застосуванні хімічних домішків-пластифікаторів.

**Постановка задачі.** Виходячи з аналізу досліджень і публікацій, фахівцями різних країн стосовно до конкретних умов виготовлення та використання водовугільного палива запропоновано та запатентовано кілька моделей гранулометричного складу вихідного продукту, загальною ознакою яких є бімодальність. Найбільш придатним технологічним прийомом отримання подібного продукту було знайдено двостадійний мокрий помел у кульовому та стержневому млинах, що суттєво підвищує енергоємність процесу, а отже й собівартість палива. Підвищення концентрації при зменшенні енергоємності виготовлення водовугільного палива слід вирішувати через оптимізацію гранулометричного розподілення розмелювальних тіл кульових млинів та правильний вибір хімічних домішків-пластифікаторів.

**Виклад основного матеріалу.** Виникнувши вперше як засіб підвищення ефективності гідравлічного транспортування вугілля на великі відстані, технологія водовугільного палива (ВВП), призначеного до прямого спалювання у топках котлів, на той час не набула подальшого розвитку через ряд обставин і, зокрема, низького енергетичного потенціалу внаслідок неможливості у тих умовах забезпечення високої концентрації при збереженні завданих реологічних та седиментаційних характеристик.

У період паливної кризи 70-х років минулого століття технологія водовугільного палива знову привертає до себе увагу світової спільноти вже як альтернатива природному газу та рідким нафтопродуктам. Жорстокі вимоги сучасного світового ринку обумовили необхідність забезпечення стабільності основних, завданих споживачем теплотехнічних, реологічних та седиментаційних характеристик, рентабельності виробництва та екологічної чистоти при виробництві та використанні ВВП. Зусилля вітчизняних та закордонних дослідників було спрямовано на розробку процесів та апаратурно-технологічних схем виготовлення водовугільного палива у відповідності до вимог світового ринку із мінімально можливими витратами енергії.

Вирішення проблеми високої концентрації було знайдено у помелі вихідного вугілля до гранулометричного складу, якомога близького до максимального упакування, та застосуванні хімічних домішків-пластифікаторів.

Виходячи з цих вимог вітчизняними та закордонними фахівцями стосовно до конкретних умов виготовлення та використання ВВП



запропоновано та запатентовано кілька моделей гранулометричного складу вихідного продукту, загальною ознакою яких є бімодальність (рис.1). Найбільш розповсюдженим технологічним прийомом отримання подібного продукту є двостадійний мокрий помел у кульовому та стержньовому млинах, що суттєво підвищує енергоємність процесу, а отже й собівартість палива.

Досвід експлуатації гідротранспортного паливно-енергетичного комплексу Белово-Новосибірськ (Росія) свідчить про те, що саме за рахунок високої енергоємності двостадійного помелу (90-110 кВт·г/т вугілля) на блок виготовлення ВВП початкового терміналу припадає 75,1 % експлуатаційних витрат [1].

На той же час, аналіз результатів деяких досліджень обумовлює можливість отримання бімодального гранулометричного розподілення вихідного продукту для виготовлення ВВП шляхом помелу в одну стадію при регулюванні гранулометрії помельних тіл.

В цьому напрямку нами було проведено дослідження з використанням вугільного концентрату марки Г зольністю на суху масу  $A^d = 16.5\%$ , подрібненого до крупності 0-3 мм. Гранулометричний склад подрібненого вугілля наведено в табл. 1.

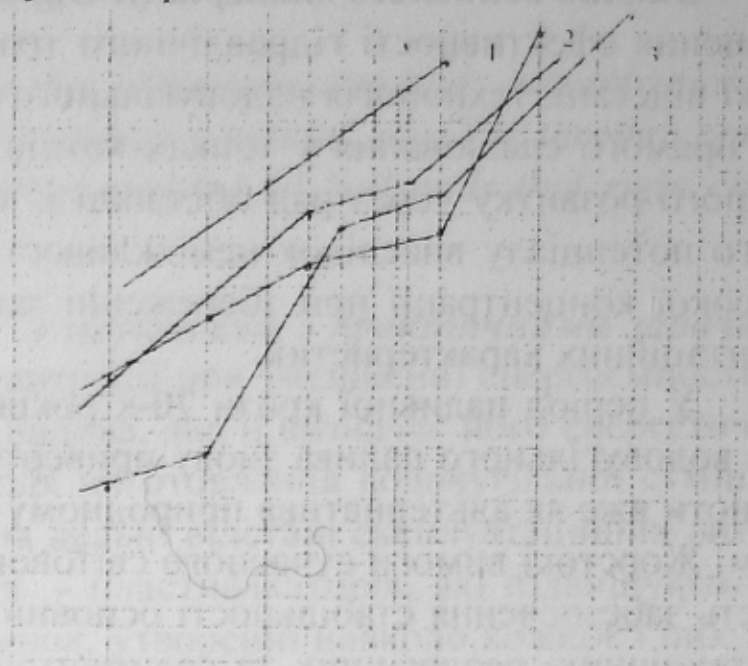


Рисунок 1 - Гранулометричне розподілення вихідного вугілля марки «Г»: А - одномодальний склад, 1, 2, 3 - бімодальні склади

Таблиця 1 – Гранулометричний склад вугілля перед завантаженням до кульового млина.

Крушність, мм	+ 0.3	1.0-3.0	0.3-1.0	0.25-0.30	0.1-0.25	0.08-0.1	0.04-0.08	0 0.4
Вихід класів, %	0.76	7.71	19.52	14.24	12.35	10.24	4.41	30.37

Характеристику кульового завантаження млина при дослідженнях наведено в табл.2. Подрібнене вугілля подавалося у кульовий млин у кількості, яка забезпечувала завдану концентрацію водовугільної суспензії, сумісно з водою та пластифікатором „Дофен”. Після виходу з млина ВВП піддавалося гомогенізації у змішувачі повільного руху.

Таблиця 2 – Завантаження кульового млина розмелювальними тілами

Варіанти завантаження	Гранулометричний склад кульового завантаження млина, %			
	Діаметр куль, мм			Середньозважений діаметр, мм
	40	20	10	
1	100	-	-	40.0
2	50	25	25	27.5
3	60	20	20	30.0
4	40	30	30	25.5
5	70	15	15	32.5

Гранулометричний склад продукту різних варіантів помелу наведено в табл.3.

Таблиця 3 – Гранулометричний склад вугілля після помелу у кульовому млині

Крушність, мм	Варіанти кульового завантаження млина									
	I		II		III		IV		V	
	$\gamma, \%$	$\Sigma \gamma, \%$	$\gamma, \%$	$\Sigma \gamma, \%$	$\gamma, \%$	$\Sigma \gamma, \%$	$\gamma, \%$	$\Sigma \gamma, \%$	$\gamma, \%$	$\Sigma \gamma, \%$
+ 0.50	0.7	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
0.30-0.50	0.8	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
0.25-0.30	0.6	2.1	0.1	0.1	0.5	0.5	-	-	1.1	1.1
0.20-0.25	2.8	4.9	2.8	2.9	2.7	3.2	-	-	3.3	4.4
1.10-0.20	9.9	14.8	8.0	10.9	8.5	11.7	4.3	4.3	9.2	13.6
0.08-0.10	23.0	37.8	18.5	29.4	19.5	31.2	15.5	19.8	21.9	35.5
0.04-0.08	7.1	44.9	6.5	35.9	6.8	38.0	4.5	24.3	6.1	41.6
0.02-0.04	30.1	75.0	33.8	69.7	34.0	72.0	33.2	57.5	31.9	63.5
0-0.04	25.0	100	30.3	100	28.0	100	42.5	100	26.5	100

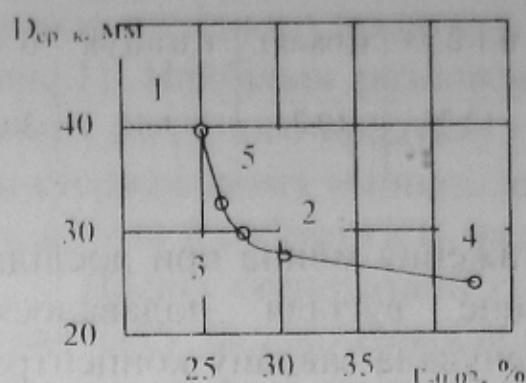


Рисунок 2 Залежність виходу класу  $-0.02$  мм від кульового завантаження млина

Порівняльну оцінку якості помелу за виходом у розмеленому продукті класу  $-0.02$  мм, який визначає вміст у суспензії колоїдних частинок, можна зробити на підставі даних, які наведено на рис.2.

Аналіз характеристик водовугільної суспензії, яку виготовлено по наведеним варіантам кульового завантаження (рис.2-4) свідчить про таке.

Збільшення середньозваженої крупності кульового завантаження млина призводить до збільшення виходу класу  $-0.02$  мм, який визначає вміст у суспензії колоїдних частинок.

Суспензії, які виготовлено по варіантам 1 та 4 седиментаційно нестійки. У першому випадку через недостатній вміст класу  $-0.02$  мм, а у другому — надмірний, що призводить до зростання в'язкості і навіть повної втрати текучості. Суспензія, яку виготовлено по варіанту 2 нестабільна — через трое діб зберігання її в'язкість зростає на 50–60 %. Також нестабільною є суспензія, яку виготовлено за варіантом 5 — розшарування відбувається через нетривалий час зберігання.

Таким чином, найбільш придатним для виготовлення водовугільної суспензії з задовільними характеристиками є завантаження млина за варіантом 3.

Безумовно, як вже було наведено вище, характеристики водовугільних суспензій змінюються із зміною ступеню метаморфізму вихідного вугілля. Шляхом статистичної обробки експериментальних даних було отримано ряд емпіричних формул для орієнтовного визначення виходу класу  $-0.04$  мм у розмеленому вугіллі (необхідного для

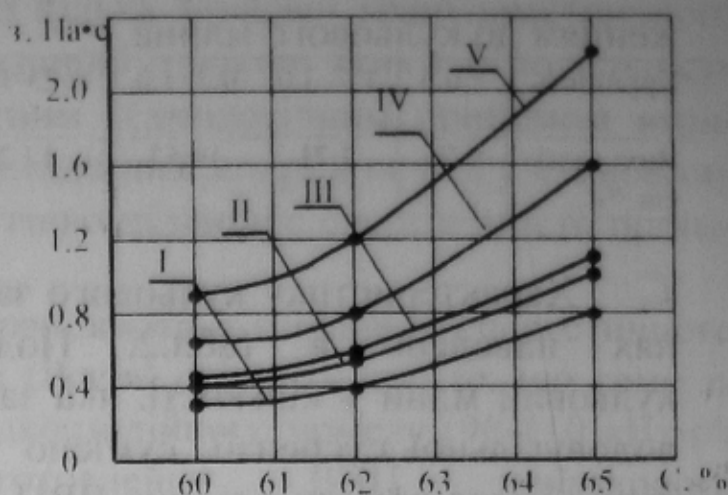


Рисунок 3 Залежність ефективної в'язкості від масової концентрації ВВП та гранулометричного складу вихідного вугілля по варіантам помелу



забезпечення стабільності ВВС) у залежності від виходу в ньому летких речовин.

Для вугілля марок Д та Г

$$\gamma_{0,04} = 108 - 0,75V^{diff}; \quad (1)$$

Для вугілля марок Г, Ж, К, ОС, Т

$$\gamma_{0,04} = 88 - 0,24V^{diff}; \quad (2)$$

Для вугілля марок Т, ПА, А

$$\gamma_{0,04} = 100 - 1,26V^{diff}; \quad (3)$$

Результати досліджень свідчать про те, що оптимальним вмістом класу  $-0,04$  мм у вихідному продукті водовугільних суспензій слід вважати: для вугілля марок Д та Г — 20–25 %; для вугілля марок Г, Ж, К, ОС, Т — 15–20 %; для вугілля марок Т, ПА, А — 8–15 %.

Вирішальну роль у виготовленні водовугільного палива високої концентрації, особливо на основі вугільних шламів та вугілля підвищеної зольності відіграють хімічні домішки-пластифікатори, функції яких полягають у підвищенні гідрофільності вугільних частинок, утворенні навколо кожної з них тонкої водяної оболонки, що запобігає їх агломерації, та сприяє регулюванню водневого показника рН.

Теорію пластифікувального та диспергувального ефектів різних хімічних домішків – поверхнево-активних речовин у регулюванні властивостей дисперсних систем високої концентрації на теперішній час розроблено ще недостатньо, тому вибір їх у кожному окремому випадку доцільніше здійснювати шляхом експерименту і, в першу чергу, у кількісному аспекті. На рис.4 наведено залежність ефективної в'язкості від вмісту хімічних домішків у водовугільній суспензії (на суху масу вугілля).

Розглядаючи графічні залежності на рис.4, можна спостерігати різке зменшення в'язкості при збільшенні вмісту пластифікаторів від 0,3 до 0,9 %. При збільшенні вмісту домішків криві  $\eta_{ef} = f(G, \varepsilon)$  набу-

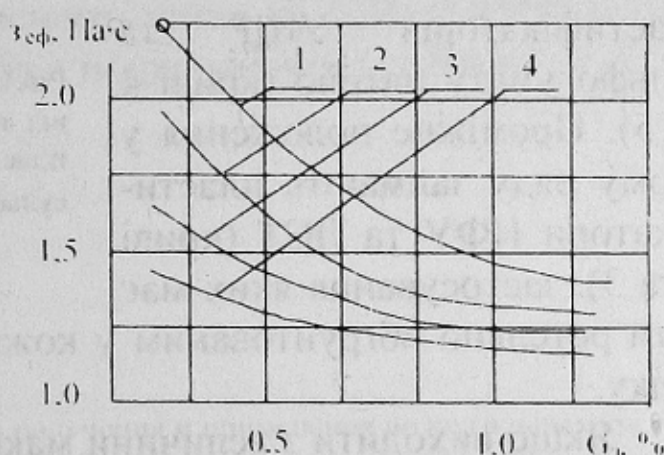


Рисунок 4. Залежність ефективної в'язкості водовугільних суспензій від вмісту хімічних домішків 1, 2, 3, 4 при швидкості зсуву  $\dot{\gamma}$  5,4; 9,0; 27,0; 81,0  $s^{-1}$

вають положистого характеру, що дає підставу для визначення за оптимум вміст домішків на рівні 0,9–1,1 % (на суху масу вугілля). Виходячи з цієї величини нами було проведено дослідження ефективності застосування різних хімічних домішків при виготовленні водовугільної суспензії концентрацією 65 % на основі вугілля марки ГД, результати яких наведено на рис. 5.

Найбільш привабливим з точки зору реологічних параметрів та основних характеристик ВВС є пластифікатор Дофен, який виробляють в Україні на основі відходів фенольного виробництва (крива 1). Найменш ефективним виявилось використання пластифікаторів УЦР та сульфогумату натрію (криві 4 та 5). Проміжне положення у цьому ряду займають пластифікатори НФУ та ЛСТ (криві 2 та 3), застосування яких має бути ретельно обґрунтованим у кожному окремому конкретному випадку.

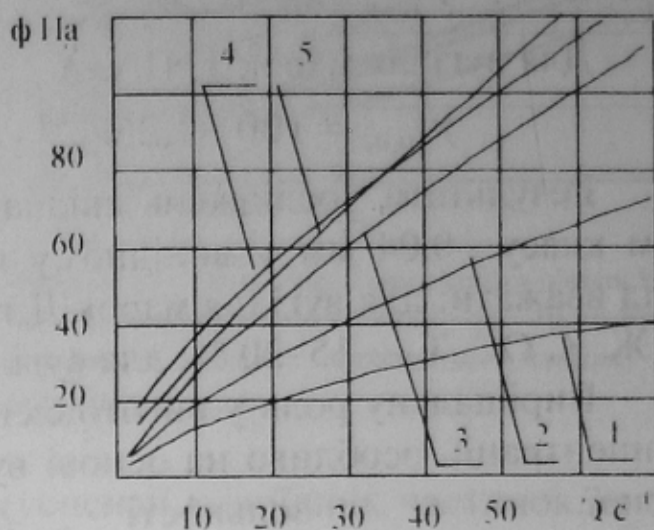


Рисунок 5 – Залежність домічних напружень від градієнта швидкості 1, 2, 3, 4, 5 – ВВС з пластифікаторами Дофен, НФУ, ЛСТ, УЦР, сульфогумат натрію

Якщо виходити з величини максимально допустимої ефективної в'язкості  $\eta_{\text{эф}} = 1,2 \text{ Па}\cdot\text{с}$  для транспортування ВВП по магістральних трубопроводах та  $\eta_{\text{эф}} = 2,0 \text{ Па}\cdot\text{с}$  для промислових та технологічних гідротранспортних систем, то найбільша масова концентрація у залежності від типу пластифікатору може бути рекомендованою за даними, які наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Масова концентрація водовугільного палива у залежності від типу хімічних домішків.

Ефективна в'язкість при $\dot{\epsilon} = 9 \text{ с}^{-1}, \text{ Па}\cdot\text{с}$	Досяжна масова концентрація водовугільного палива (%) у залежності від типу хімічних домішків				
	Дофен	НФУ	ЛСТ	УЦР	Сульфогумат натрію
До 1,2	66,0	65,0	62,5	61,5	60,0
До 2,0	67,0	66,0	64,8	63,2	62,3



Таким чином, при мокрому помелі вугілля у кульовому млині в одну стадію шляхом спеціального спробного підбора гранулометрії помельних тіл та правильному виборі хімічного домішка-пластифікатора можна виготовити водовугільну суспензію високої концентрації, яка може бути використана як ефективне, екологічно чисте котельне або пічне паливо.

**Висновки і напрям подальших досліджень.** На основі теоретичних та експериментальних досліджень можливо зробити висновок, що при мокрому помелі вугілля у кульовому млині в одну стадію шляхом спробного підбора гранулометрії помельних тіл та правильному виборі хімічного домішка-пластифікатора можна виготовити водовугільну суспензію високої концентрації, яка може бути використана як ефективне екологічно чисте котельне або пічне паливо.

Подальше необхідне виготовлення різноманітного водовугільного палива, гідравлічного транспортування на великі відстані і прямого спалювання у топках котлів з підрахуванням економічного ефекту.

#### Перелік використаних джерел

1. Мурко В.И. Научные основы процессов получения и применения водоугольных суспензий: Автореф. дис. д-ра техн. наук. 05.17.07 - Ин-т горючих ископаемых. - М. 1999. -49 с.
2. Кондратьев А.С. Рациональное водоугольное топливо и возможные схемы его получения / Сб. Проблемы аксиоматики в гидродинамике. Вып. 3 // М.: Ассоциация „Экология неопознанного” -1966. - с. 63-78.
3. Урьев И.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем. -М. Химия. -1988. -256 с.
4. Круть А.А., Папаяни Ф.А. Повышение энергетического потенциала водоугольного топлива за счет рационального выбора пластифицирующих химических добавок // Вісник Східноукраїнського державного університету. -Луганськ. -2000 г.