

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ „ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА“**

На правах рукопису  
УДК 66.071+622.278+622.276/277

**БРИК ДМИТРО ВАСИЛЬОВИЧ**

**ГАЗИФІКАЦІЯ ВУГІЛЛЯ ВОДЯНОЮ ПАРОЮ ПРИ  
ВИСОКИХ ТЕРМОБАРИЧНИХ ПАРАМЕТРАХ**

**05. 17. 07 Хімія і технологія переробки горючих копалин  
та вуглецевих матеріалів**

**Автореферат**  
**дисертації на здобуття наукового ступеня**  
**кандидата технічних наук**

Дисертацією є рукопис.

АВ33.793

Робота виконана в Інституті геології і геохімії горючих копалин  
НАН України.

**Наукові керівники**— заслужений діяч науки і техніки України,  
доктор технічних наук, професор

Чекалюк Еммануїл Богданович

— доктор технічних наук  
Стефанік Юрій Васильович

**Офіційні опоненти**— доктор технічних наук, професор  
Квітковський Леонід Миколайович

— кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
Рудкевич Мар'ян Іванович

**Провідна установа**— Відділення фізико-хімії і тех-  
нології горючих копалин ІФХ  
ім.Л.В.Писаржевського НАН України

Захист відбудеться "26" січня 1996р. о 15<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 04.06.08 при Державному університеті „Львівська політехніка“ за адресою: 290646, Львів - 13, пл. Св.Юра 3/4, корп.8, ауд.339.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Державного університету „Львівська політехніка“ за адресою: Львів-13, вул. Професорська, 1.

Автореферат розіслано "19" зрудня 1995р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 04.06.08

доктор хімічних наук, професор *Сергей* В. М. Жизнєвський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Високі темпи енергоспоживання органічного палива ведуть до виснаження нафти та газу, а також кондиційних запасів вугілля. В зв'язку з цим в умовах нестабільного енергопостачання України вирішальне значення може мати переробка некондиційних вугільних пластів в газове паливо методом підземної газифікації, оскільки їх запаси в десятки, а то і сотні разів перевищують запаси кондиційного вугілля.

Геотехнологічний метод підземної газифікації вугілля (ПГВ) має переваги і в тому, що в порівнянні з шахтним видобутком виключається небезпечна праця людей під землею і різко зменшується забрудненість оточуючого середовища, не порушується і не використовується під складування відходів вугільної промисловості шар ґрунту, виключається ціла низка технологічних операцій, покращуються умови праці та стан біосфери, існує можливість використання вугільних некондиційних (малопотужних, багатозольних, обводнених, глибокозалягаючих, солоних та ін.) покладів, розробка котрих шахтним способом є нерентабельною, а інколи і неможливою.

Геотехнологія ПГВ вимагає вдосконалення відомих і розробки нових методів, котрі передбачають підвищення теплоти згорання газу, зменшення енерговитрат процесу та здешевлення отриманої продукції. Тому детальне дослідження процесу газифікації вугілля водяною парою при високих термодинамічних параметрах є актуальним і має не тільки науковий, але і практичний інтерес.

Робота виконувалася по науковій тематиці, розробленій у відповідності до Постанови ДКНТ СРСР № 94 від 19.03.80 р. і № 43 від 02.01.81 р., Постанови Держплану УРСР № 3-деп від 28.01.81 р., Постанов Президії АН УРСР № 443 від 20.03.81 р., № 535 від 25.11.83 р., № 402 від 24.12.87 р., а також Всесоюзної програми "Мінеральні ресурси" і Республіканської програми "Енергокомплекс". Дослідження знайшли своє відображення у відомчих тематичних роботах Національної Академії наук України /№ держ. реєстрації 0181101281, 01840027231, 01880029392, 01860101616 та ін./.

Актуальність дисертації підтверджується включенням її як складової частини в дослідження з теми "Процеси ВПГВ" договору з Держвуглепромом України № А619501000АН Укробити технологію

підземної газифікації некондиційних пластів кам'яного вугілля зі складними гірничо-геологічними умовами, що забезпечує отримання в зоні горіння газу високої калорійності" (1991-1995рр.).

**Мета роботи.** Розробка ефективних способів процесу підземної газифікації вугілля з застосуванням водяного реагенту при високих термобаричних параметрах.

**Наукова новизна.** Обчислені граничні показники (склад продуктів та теплофізичні характеристики) процесу газифікації вугілля водяною парою для заданого співвідношення вихідних реагентів в заданих термобаричних умовах.

Розрахована мінімальна потужність вугільного пласта, придатного для газифікації при заданих глибині залягання та речовинному складі вугілля.

Експериментально встановлені кінетичні залежності та параметри процесу газифікації вугілля водяною парою в залежності від температури і тиску.

Розроблені геотехнологічні способи циклічного отримання водяного газу та метану стосовно до гірничо-геологічних умов залягання вугільного пласта.

**Практична цінність.** Встановлено оптимальні режими технологічного процесу ПГВ на водяному реагенті в залежності від гірничо-геологічних умов залягання вугільного пласта. Визначено мінімальну потужність пласта, енергетично придатну для ПГВ. Встановлено залежність теплового ККД і відносного показника теплової ефективності процесу ПГВ від температури і тиску. Проведена оцінка можливих тепловтрат у вугільному пласті. Запропоновано нові способи інтенсифікації ПГВ з використанням водяної пари. Доведена конкурентноздатність підземної газифікації вугілля на водяному реагенті порівняно з існуючою технологією станцій «Підземгаз» для умов Львівсько-Волинського вугільного басейну. В ході дослідно-промислових робіт на дільниці «Углегаз» ВО «Тулауголь» отримано річний економічний ефект від впровадження розробки в розмірі 87,3 тис.крб. (в цінах 1987 року).

**Апробація роботи.** Основні матеріали дисертаційної роботи доповідалися на III конференції молодих науковців і спеціалістів (Львів, 1984 р.), I Республіканській конференції «Перспективи використання вугілля та продуктів його переробки в народному господарстві» (Донецьк, 1985 р.), на конференції «Науково-технічний

прогрес в мінерально-сировинному комплексі Української РСР» (Сімферополь, 1985 р.), на нараді по хімії і технології отримання рідких та газоподібних палив з вугілля, сланців і нафтових залишків (Звенигород, Московська обл., 1985 р.), на семінарі «Методи прямого перетворення енергії» (Київ, 1986 р.), на Всесоюзній конференції «Хімія застосування неводних розчинів» (Іваново, 1986 р.), на Республіканській конференції «Перспективи розвитку науково-технічного прогресу в мінерально-сировинному комплексі Української РСР на період до 2010 р.» (Севастополь, 1987 р.), на Всесоюзній нараді по проблемах хімії і технології підземної газифікації вугілля (Ангрен, 1989 р.), на Всесоюзній конференції «Створення високоефективних процесів переробки і використання твердих горючих копалин, отримання альтернативних моторних палив і хімічних продуктів з вугілля» (Донецьк, 1989 р.), на III науково-практичній конференції «Еколого-економічні і соціально-правові питання природокористування і охорони природи» (Львів, 1989 р.), на Всесоюзній конференції «Сучасні проблеми геології і геохімії твердих горючих копалин» (Львів, 1991 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми і шляхи енергозабезпечення України» (Івано-Франківськ, 1993 р.).

Циклічний спосіб підземної газифікації вугільного пласта нагороджено дипломом третього ступеня ВДНГ УРСР (1986 р.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації викладений в 11 статтях, 4 тезах та 6 авторських свідоцтвах на винаходи.

**Автор захищає:**

— оптимальні режими та параметри технологічного процесу газифікації вугілля водяною парою;

— методику розрахунку мінімальної потужності вугільного пласта, придатного для підземної газифікації при заданих глибині залягання та речовинному складі вугілля;

— експериментальні кінетичні закономірності процесу газифікації вугілля водяною парою в залежності від термобаричних умов;

— принципову геотехнологічну схему циклічного способу підземної газифікації вугільного пласта.

**Структура та об'єм роботи.** Дисертація складається зі вступу, 7 глав, висновків, списку використаної літератури (119 найменувань) і 4 додатків. Матеріали викладено на 222 сторінках, містять 26 рисунків і 37 таблиць.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано доцільність та актуальність проблеми, викладена мета роботи, її значимість для науки і практики.

В першій главі викладено огляд літератури з проблеми підземної газифікації вугільних пластів. Наведено критичний аналіз роботи станцій ПГВ в колишньому СРСР /Мосбас, Донбас і Кузбас/, а також в Італії, Бельгії, Велобританії, Франції, США та ін. Порівняно техніко-економічні показники станцій «Підземгаз» з показниками вуглевидобувних підприємств. Виявлено причини нерентабельності станцій «Підземгаз» за традиційною технологією ПГВ. Встановлено, що основним недоліком газу ПГВ є засміченість його негорючим баластом – діоксидом вуглецю та азотом. Тільки при газифікації вугілля водяною парою при високих термобаричних параметрах цей недолік усувається, а отриманий водяний вугільний газ складається головним чином з  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2$ . Це різко знижує питомі витрати на його транспортування, а також дає можливість використовувати його як хімічну сировину. Обґрунтовано необхідність підвищення ефективності існуючої технології ПГВ та накреслено шляхи її вдосконалення.

В другій главі наведені результати теоретичних розрахунків рівноважного складу продуктів ( $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ) та теплофізичних показників процесу газифікації в залежності від співвідношення вихідних реагентів та термодинамічних умов в зоні синтезу. Визначено питому теплоту утворення газу, сумарний тепловий ефект реакції синтезу, теплотворну здатність синтезованого газу, коефіцієнт корисної дії процесу та ін.

Аналіз отриманих теоретичних результатів рівноважного складу продуктів газифікації та теплофізичних властивостей процесу вказує, що оптимальними технологічними параметрами є температури в межах 1073-1273 К і тиски в межах 4-10 МПа. При цих термодинамічних параметрах найвищий вміст горючих компонентів газу і, відповідно, найнижчий вміст баласту  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ ; найвища теплота згоряння газу; високий вихід продукції.

Розраховані теоретичні показники процесу газифікації є граничними, тобто вони досягаються при довготривалій витримці реагентів в заданих термобаричних умовах з наступним досить швидким загартуванням продуктів реакції до температур, що гальмують розклад продуктів синтезу. Точно виконати ці вимоги в

підземних умовах неможливо, тому гранична якість отриманого газу в повній мірі не досягається. Однак, в підземних умовах треба врахувати і процес піролізу вугілля, висококалорійні (20-24 МДж/м<sup>3</sup>) гази котрого при змішуванні з продуктами газифікації істотно збільшують кількість валової продукції і підвищують її сумарну теплоту згорання.

В главі 3 описано лабораторну установку для дослідження процесу газифікації вугілля водяною парою (рис.1).

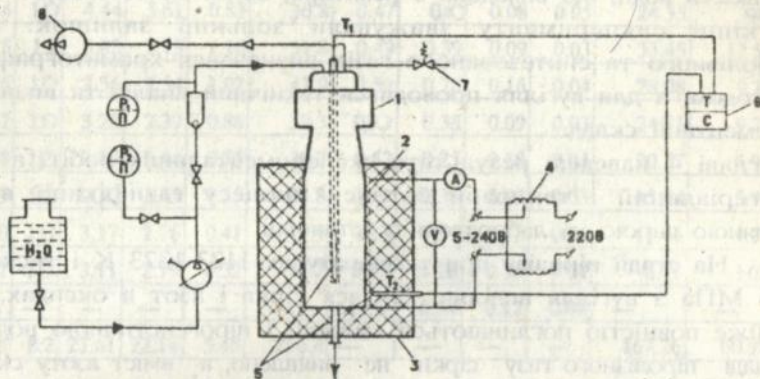


Рис.1. Схема лабораторної установки для дослідження процесу газифікації вугілля водяною парою  
 1- реактор; 2- електронагрівач; 3- теплоізоляція; 4- автотрансформатор; 5- термопара; 6- потенціометр; 7- клапан запобіжний; 8- насос вакуумний

Реактор 1 являє собою товстостінний точений циліндр високого тиску з жароміцної та жаростійкої сталі з внутрішнім об'ємом 289см<sup>3</sup> і розрахований на робочий тиск  $\leq 4,0$  МПа при робочій температурі матеріалу стінки 1273 К.

Реактор завантажували вугіллям Львівсько-Волинського басейну в кількості 0,1 кг, відібраного на шахті № 4 «Великомостівська», наступного елементного складу, % мас.: С - 85,2; Н - 5,1; N - 1,36; S - 0,93; O - 7,41. Досліджуване вугілля характеризується /в % мас./: волога - 1,5; зольність - 4,9; вміст сірки - 0,88; вміст летких - 31,8; теплота згорання сухого вугілля - 31,45 МДж/кг.

Процес газифікації проходить в дві стадії. На першій стадії

вугілля проходить суху перегонку до заданих температур (1123-1223 К) при швидкості нагріву 8-10 К/хв. і закінчується при практичній відсутності виходу піролізного газу. При цьому з вугілля виділяються пірогенетична вода, смола та піролізний газ, а також сірка і азот. На другій стадії залишок вугілля після сухої перегонки, що складається в основному з коксу і золи, проходить газифікацію водною парою за схемою  $C + H_2O \rightarrow [H_2O, H_2, CO, CO_2, CH_4]$ . При цьому підтримували постійні температуру і тиск. Через певні інтервали часу вимірювали кількість води, що подавали в реактор, кількість води, що виходила з реактора, об'єм синтезованого газу, а в кінці експерименту зважували зольний залишок. Склад піролізного та синтезованого газів визначався хроматографічним методом, а для вугілля проводився технічний аналіз та визначався елементний склад.

В главі 4 наведені результати експериментальних робіт, а також матеріальний і тепловий баланси процесу газифікації вугілля водною парою на лабораторній установці.

На стадії піролізу при температурах 1123-1223 К і тисках 0,4-9,6 МПа з вугілля виділяються вся сірка і азот в оксидах, котрі майже повністю поглинаються смолою і пірогенетичною водою. В складі піролізного газу сірки не виявлено, а вміст азоту складає 1-4% об.

Результати другої стадії експериментальних робіт показані на прикладі експерименту № 12 (табл.1).

Більш високомолекулярні вуглеводневі сполуки, а також сполуки азоту та сірки в газоподібних продуктах реакції не були виявлені, що повністю узгоджується з теоретичними результатами, наведеними в другій главі дисертації.

Загальний матеріальний баланс та баланс завантаженого вугілля експериментальних робіт наведені в табл.2.

Обчислено також матеріальний баланс по водню і по кисню як для процесу в цілому, так і для другої стадії газифікації. Відносні похибки (E) для водню складають від -3,1% до +2,7%, а для кисню від -3,6% до +4,2%.

Для спрощення аналізу теплового балансу запропоновано користуватися відносним показником теплової ефективності процесу

Таблиця 1

Склад та вихід сухого газу в залежності від часу та кількості водяної пари, що прореагувала, при тиску 1,2 МПа і температурі 1123 К

№ проби газу	$\Delta t$ , год.	К—ть вод. пари, моль			К—ть отриманого газу, л	Склад сухого газу в мольних частках				Маса газу, г	К—ть вуглецю в газі, г
		Подача	Зворот	Різниця		H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>		
4	1,0	4.44	3.61	0.83	36.8	0.47	0.40	0.08	0.05	24.35	9.0
5	1.2	3.83	2.73	1.16	51.8	0.49	0.39	0.09	0.03	33.45	12.59
6	1,0	3.56	2.54	1.02	42.9	0.52	0.28	0.16	0.04	28.08	9.76
7	1,0	3.25	2.39	0.86	38.3	0.50	0.38	0.09	0.03	24.71	9.24
8	1,0	3.19	2.44	0.75	30.7	0.53	0.25	0.18	0.04	20.37	6.92
9	1,0	3,00	2.45	0.55	24.8	0.50	0.38	0.09	0.03	15.94	5.96
10	1,0	3.17	2.76	0.41	17.9	0.50	0.34	0.12	0.04	11.66	4.26
11	1,0	3.11	2.79	0.32	13.2	0.52	0.28	0.16	0.04	8.71	3.02
Сер.	—	—	—	—	—	0.50	0.34	0.12	0.04	—	—
Сума	8.2	27.61	22.16	5.45	256.4	—	—	—	—	167.26	60.98

Таблиця 2

Вихід продуктів та матеріальний баланс процесу газифікації в залежності від температури і тиску / маса завантаженого вугілля 100 г/

№ експерименту	Параметри процесу		Баланс завантаженого вугілля, г		Загальний баланс процесу, г		
	P, МПа	T, К	Маса продуктів (піроліз+зола+вуглець в газ. фазі)	E, %	Маса вхідних реагентів / вугілля + вода /	Маса продуктів	E, %
7	0.4	1123	99.32	- 0.7	149.14	147.69	- 1.0
8	1.2	1123	104.63	+ 4.6	164.08	168.64	+ 2.8
4	3.6	1123	94.06	- 5.9	205.70	197.79	- 3.8
5	0.4	1173	98.54	- 1.5	199.54	198.18	- 0.7
9	1.2	1173	97.62	- 2.4	180.10	177.72	- 1.3
14	1.2	1173	103.91	+ 3.9	167.86	167.02	- 0.5
10	3.6	1173	103.91	+ 3.9	176.14	180.19	+ 2.3
6	9.6	1173	99.54	- 0.4	156.70	152.86	- 2.5
13	0.4	1223	98.6	- 1.4	187.30	186.05	- 0.7
12	1.2	1223	105.23	+ 5.2	198.10	211.51	+ 6.3
11	3.6	1223	105.01	+ 5.0	198.82	203.81	+ 2.3

газифікації вугілля  $\epsilon$ , котрий за розробленою нами методикою визначається формулою:

$$\epsilon = \frac{Q_g + Q_{см} + Q_f}{Q_e} = \eta \cdot \left(1 + \frac{Q_b}{Q_e}\right) \quad (1)$$

де  $Q_g$  і  $Q_{см}$  - теплота згорання відповідно газу та смоли;  $Q_f$  - фізичне тепло згорання продуктів процесу;  $Q_e$  - зовнішні витрати тепла (для лабораторної установки - це витрати електроенергії);  $\eta$  - тепловий коефіцієнт корисної дії;  $Q_b$  - теплота згорання вугілля.

Величина  $\epsilon < 1$  свідчить, що процес газифікації вугілля є енергетично, а відповідно і економічно, не вигідним, а  $\epsilon > 1$  свідчить, що в результаті процесу отримано енергії більше, ніж витрачено. Розрахунки параметрів  $\eta$  і  $\epsilon$  для лабораторної установки вказують на можливість проведення ендотермічного процесу газифікації вугілля водяною парою в підземних умовах (значення  $\eta_{пл}$  і  $\epsilon_{пл}$  для вугільного пласта наведені в табл.4).

В главі 5 розроблена методика обчислення швидкості процесу газифікації вугілля водяною парою (друга стадія) за експериментальними даними. Середня швидкість процесу газифікації  $W_c$  в год<sup>-1</sup> для кожного експерименту визначається за формулою:

$$W_c = \frac{\sum_{j=1}^n W_{c_j} \cdot \Delta \tau_j}{\sum_{j=1}^n \Delta \tau_j} \quad (2)$$

де  $W_{c_j}$  - швидкість витрати вуглецю в інтервалі часу спостереження  $\Delta \tau_j$ ;  $j$  - номер проби газу;  $n$  - кількість проб газу.

З врахуванням поверхонь контакту швидкість витрати вуглецю  $W_{c_j}$  в інтервалі часу спостереження визначається наступним чином:

$$W_{c_j} = \sqrt[3]{\frac{G_b^{on}}{G_{c_j}(t_j)} \cdot \frac{1}{G_{c_j}(t_j)} \cdot \frac{\Delta G_{c_j}(t_j)}{\Delta \tau_j}} \quad (3)$$

де  $G_b^{on}$  - вихідна маса вугілля, що залишилося в реакторі після пірлізу;  $G_{c_j}(t_j)$  - біжуча маса стандартної наважки;  $\Delta G_{c_j}(t_j)$  - зміна маси наважки в інтервалі часу спостереження  $\Delta \tau_j$ .

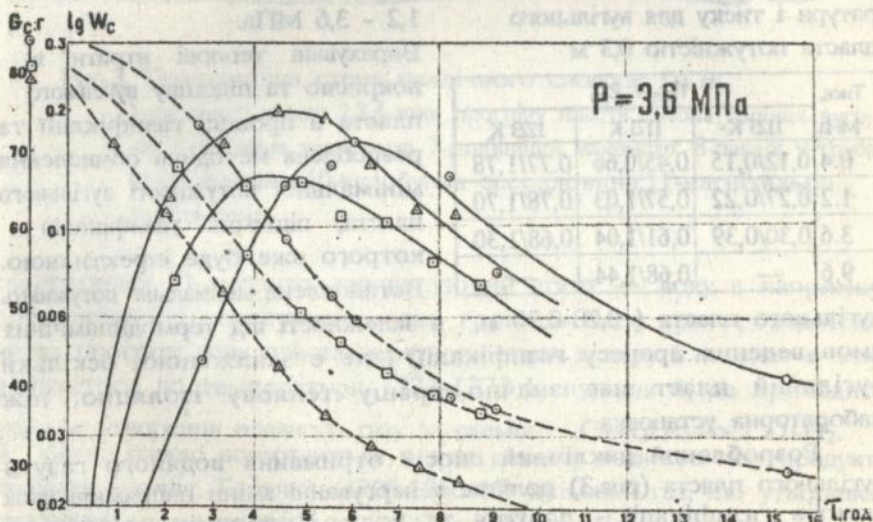
Всі величини у формулі (3) вимірюються в процесі експериментальних робіт, що дає змогу визначити швидкості газифікації вугілля в залежності від термобаричних умов (табл.3).

Найвища швидкість реакції вугілля з водою та витрати вуглецю(рис.2), а також найбільші інтенсивність газовиділення і кількість отриманого газу припадають на перші 3-5 годин процесу, що має важливе практичне значення і може бути використане для прогнозування промислових процесів підземної газифікації вугілля. Зокрема, при заданій продуктивності виробництва горючого газу, на основі значень швидкості  $W_C$  можна прогнозувати об'єм підземної зони синтезу, що забезпечує задану продуктивність. Таких можливостей в промисловій практиці до цього часу не існувало.

Таблиця 3

Швидкість процесу газифікації в залежності від тиску і температури (год.<sup>-1</sup>)

Тиск, МПа	Температура, К		
	1123	1173	1223
0.4	0.0337	0.1546	0.1995
1.2	0.0853	0.1123	0.2479
3.6	0.0766	0.1054	0.1463
9.6	—	0.1086	—



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ (К): ○ - 1123; □ - 1173; ▲ - 1223.  
Швидкість процесу ( $W_C$ , год.<sup>-1</sup>): —  
Витрати вуглецю ( $G_C$ ): - - -

Рис.2. Залежність швидкості процесу  $C+H_2O$  та витрат вуглецю від часу і температури

Найбільш важливим показником процесу є теплотворна здатність отриманого сухого газу, котра в розглянутих термобаричних умовах газифікації вугілля водою змінюється в межах 11,2-12,9 МДж/м<sup>3</sup>, що приблизно є в 3 рази вище теплотворності газу на повітряному і в 2-2,4 рази вище на водоповітряному реагентах.

При проведенні процесу газифікації в підземних умовах з метою збільшення виходу газу, підвищення його теплотворної здатності, зменшення витрат води та збільшення ступеня її розкладу процес необхідно проводити при тисках 1,2-3,6 МПа і температурах більше 1173 К. Верхня границя температури може обмежуватися тільки точкою плавлення золи вугільного пласта (1400-1500 К).

В главі 6 розроблені геотехнологічні способи підземної газифікації вугільного пласта. Для цього на основі встановлених експериментально кінетичних параметрів процесу газифікації та застосувавши елементи теорії подібності визначені енергетичні характеристики процесу підземної газифікації вугілля (табл.4).

Таблиця 4

Залежність  $\eta_{пл}$  і  $\epsilon_{пл}$  від температури і тиску для вугільного пласта потужністю 0,3 м

Тиск, МПа	$\eta_{пл} / \epsilon_{пл}$		
	1123 К	1173 К	1223 К
0.4	0,12/0,15	0,45/0,66	0,77/1,78
1.2	0,27/0,22	0,57/1,03	0,78/1,70
3.6	0,30/0,39	0,61/1,04	0,68/1,30
9.6	—	0,68/1,44	—

З умови  $\epsilon > 1$  випливає, що оптимальними для газифікації є температури 1173-1223 К і тиски 1,2 - 3,6 МПа.

Вирахувані теплові втрати в покрівлю та підшву вугільного пласта в процесі газифікації та розроблена методика обчислення мінімальної потужності вугільного пласта, підземна газифікація котрого вже буде ефективною.

Встановлена мінімальна потужність

вугільного пласта ( 0,20-0,30 м, в залежності від термодинамічних умов ведення процесу газифікації) не є заниженою, оскільки вугільний пласт має значно кращу теплову ізоляцію, ніж лабораторна установка.

Розроблений циклічний спосіб отримання водяного газу з вугільного пласта (рис.3) полягає в чергуванні зміни напрямків двох агентів газифікації - повітря та води. В першому півперіоді вугільний пласт 1 через свердловину 10 запалюється і розігрівається до температури 1273-1373 К, а продукти згоряння відводяться через свердловину 11. При проходженні через зону 2-3 продукти згоряння прогрівають її до температури піролізу, а в пласті акумулюється тепло, необхідне для покриття ендотермічного ефекту процесу газифікації вугілля водою. В другому півперіоді через

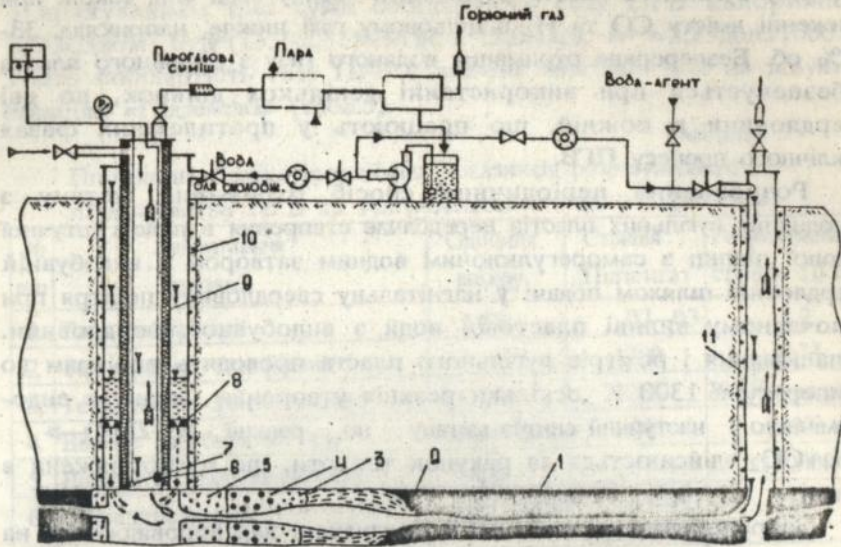


Рис.3. Технологічна схема циклічного способу ПГВ.

1-вугільний пласт; 2,3,4-зони прогріву пласта; 5-зона горіння вугілля; 6-глибинна термопара; 7-глибинний манометр; 8-пакер; 9-труба теплоізоляційна; 10-видобувна свердловина; 11-нагнітальна свердловина

свердловину 11 подають газифікуючий агент — воду в напрямку, протилежному пересуванню зони горіння. Вода при проходженні через прогріту зону пласта перетворюється в пару і попадає в зону розігрітого до температури 1273-1373 К вугілля 4, де проходить реакція утворення водяного газу за схемою  $C+H_2O \rightleftharpoons CO+H_2$ . З сухою парою повертаються в зону синтезу водяного газу продукти піролізу вугілля. Гарячий (1200-1250 К) цільовий газ, що утворився, складається в основному з CO та  $H_2$  і після переходу через вигазований простір 5 попадає на забій видобувної свердловини 10. Воду подають до вичерпання запасів тепла, котре необхідне для протікання реакції утворення водяного газу. Припинення подачі води в пласт необхідно проводити при температурі в зоні синтезу не нижче 1073 К. Далі знижувати температуру в пласті недоцільно, оскільки при цьому різко зменшується вихід CO та  $H_2$  і швидкість

реакції, а також знижується ККД газифікації. Крім того, температура 1073 К є достатньою для повторного запалювання та розігріву вугільного пласта. Припиняти подачу води слід також при зниженні вмісту CO та H<sub>2</sub> в цільовому газі нижче, наприклад, 33-34% об. Безперервне отримання водяного газу з вугільного пласта забезпечується при використанні декількох ділянок, по дві свердловини в кожній, що працюють у протилежних фазах циклічного процесу ПГВ.

Розроблений періодичний спосіб отримання метану з обводнених вугільних пластів передбачає створення в пласті іпучної газової шапки з саморегулюючим водним затвором у видобувній свердловині шляхом подачі у нагнітальну свердловину повітря при одночасному виливі пластової води з видобувної свердловини. Запалювання і розігрів вугільного пласта проводять повітрям до температури 1300 К, оскільки реакція утворення метану є ендотермічною і наступний синтез метану по реакції  $2C+2H_2O \rightarrow CH_4+CO_2$  здійснюється за рахунок теплоти, що нагромаджена в пласті.

Запропоновані способи ПГВ призначені для впровадження на некондиційних та забалансових вугільних родовищах (тонко- і багатопластових, високозольних, обводнених, з невеликими запасами вугілля, глибокозалягаючих та ін.), тобто абсолютно непридатних для розробки традиційними методами.

У главі 7 техніко-економічний аналіз проведено на прикладі вугільного родовища, що залягає на глибині 300 м з геологічними запасами 2,4 млн.т і зольністю вугілля 12% мас. Приймаючи коефіцієнт охоплення пласта процесом газифікації 0,8, родовище містить  $2,4 \times 0,88 \times 0,8 = 1,7$  млн.т горючої речовини вугілля. Піролізом з цієї кількості вугілля можна добути до 10% (0,17млн.т) рідких горючих продуктів, а частина чистого вуглецю, що залишається, становить 1,53 млн.т. З цієї кількості буде отримано  $1,53 \cdot 10^6 \times 2941 + 0,6 = 5$  млрд. м<sup>3</sup> газу з приведеною теплотворною здатністю 7,8 МДж/м<sup>3</sup> (2941 м<sup>3</sup>/т - середній вихід сухого газу; 0,6 млрд.м<sup>3</sup>-кількість піролізного газу).

Техніко-економічні показники запропонованого циклічного способу отримання водяного газу для розрахункового підприємства ПГВ з потужністю 0,5 млрд. м<sup>3</sup> газу на рік при терміні його експлуатації 10 років складаються з витрат на капітальне будівництво - 6,55 млн.дол., та експлуатаційних витрат-7,15млн. дол.,разом -13,7 млн. дол.

Реалізація побічних продуктів підприємства, а саме горючого конденсату (смоли) по ціні 15 дол./т - 0,17млн.т.х15=2,55 млн. дол.. З врахуванням цієї суми собівартість газу ПГВ калорійністю 7800кДж/м<sup>3</sup> буде(13,7-2,55)млн.дол. :5,0млрд. м<sup>3</sup> =2,23дол./1000 м<sup>3</sup>. Тобто собівартість газу ПГВ є значно нижчою, ніж на існуючих станціях «Підземгаз» (табл.5).

Таблиця 5

Порівняння техніко-економічних показників розрахункового підприємства ПГВ та Ангренської станції «Підземгаз».

№ п/п	Найменування показників	Одиниця виміру	Станція „Підземгаз“	Розрахункова станція ПГВ
1.	Тиск газифікації	МПа	02—03	1.2
2.	Температура газифікації	К	1300	1173
3.	Теплотворна здатність газу	кДж/м <sup>3</sup>	3280	7800(приведена)
4.	Валове виробництво газу	млн.м <sup>3</sup> /рік	400	500
5.	Вихід горючого конденсату	т/тк	—	170000
6.	Собівартість газу	дол./1000м <sup>3</sup>	4,7—6,0 (приведена)	2.23
7.	Склад газу: Н <sub>2</sub>	% об	19.9	51.93
	СН <sub>4</sub>		2.3	5.41
	СО		4.5	18.57
	СО <sub>2</sub>		20.6	24.09
	N <sub>2</sub>		52.2	-
	O <sub>2</sub>		0.5	-
8.	Транспортування газу на відстань	км	до 25	до 150

Для розрахуку техніко-економічних показників взято родовище далеко не з вигідних для ПГВ. При збільшенні запасів родовища, що приймаються до розрахунку, всього в два рази отримуємо можливість запуску другої експлуатаційної ділянки на наступні 10 років на цьому самому обладнанні підприємства з додатковими капітальними витратами лише на будівництво розширеної скрини свердловин. Це дозволить знизити приведену собівартість отриманого горючого газу.

#### ВИСНОВКИ

1. Розроблені геотехнологічні способи підземної газифікації

вугілля водяною парою стосовно конкретних гірничо-геологічних та термобаричних умов залягання вугільного пласта: циклічний спосіб отримання водяного газу та спосіб метанізації обводнених вугільних пластів, котрі забезпечують отримання висококалорійного газу, не засміченого азотом повітря.

2. Розроблено методику обчислення мінімальної потужності вугільного пласта, придатного для підземної газифікації, в залежності від температури і тиску процесу. Так при температурі 1223 К і тиску 1,2 МПа мінімальна потужність пласта становить 0,2 м і збільшується або зменшується із зниженням або підвищенням температури і тиску.

3. Проведено термодинамічний розрахунок рівноважних характеристик процесу газифікації вугілля водою. Встановлено, що оптимальними технологічними параметрами є температура в межах 1073-1273 К і тиск в межах 4-10 МПа.

4. Досліджено кінетику процесу газифікації вугілля водяною парою в різних термобаричних умовах.

Встановлено, що:

— швидкість газифікації в розглянутих термобаричних умовах змінюється в межах 0,034-0,245 год.<sup>-1</sup>, причому при низьких тисках підвищення температури приводить до більшого зростання швидкості, ніж при високих тисках;

— оптимальний час взаємодії вуглецю з водяною парою в середньому становить 8 годин. При цьому газифікується до 85% вуглецю вугілля;

— найбільша інтенсивність газовиділення припадає на перші 3-5 годин і зі зростанням температури від 1123 до 1223 К при тиску 0,4 МПа газовиділення збільшується від 0,25 моль/год. до 1,70 моль/год. Підвищення тиску приводить до зменшення газовиділення;

— кількість води, що прореагувала з вуглецем, є максимальною на другій годині і складає в середньому 1,25 моль/моль вуглецю, що становить не більше 22% від поданої в реактор води.

5. Визначені енергетичні характеристики (тепловий ККД і відносні показники теплової ефективності  $\eta$ ,  $\epsilon$ ) для процесу підземної газифікації вугільних пластів різної потужності (0,2-0,6 м). Встановлено, що при потужності пласта 0,2 м тепловий ККД при температурі 1223К і тиску 1,2 МПа дорівнює 0,7, а відносний показник теплової ефективності при тих самих параметрах більше одиниці, що свідчить про енергетичну доцільність підземної

газифікації вугільного пласта вказаної потужності.

6. Проведена техніко-економічна оцінка процесу підземної газифікації вугілля на водяному реагенті для умов Львівсько-Волинського вугільного басейну ( сумарна потужність пласта 1м), що забезпечує отримання 0,5 млрд.м<sup>3</sup> газу на рік приведеної калорійності 7800 кДж/м<sup>3</sup>. Розрахункова собівартість газу становить 2,23 дол. / 1000м<sup>3</sup>, що менше як в два рази, ніж на діючій Ангрєнській станції «Підземгаз».

За результатами проведених досліджень запропоновано спосіб запалювання вугільного пласта та вогневого з'єднання свердловин, ефективність котрого підтверджується актом випробування та актом впровадження на шахті №3 «Владимирская» ВО «Тулауголь» (дільниця «Углегаз»).

### Основний зміст роботи викладено в роботах:

1. Брык Д. В., Гвоздевич О. В. К вопросу о моделировании процесса подземной газификации угля // Геотехнолог. проблемы топливно-энергетич. ресурсов Украины. — Киев: Наук. думка, 1985. — С.96-101.

2. Брык Д. В., Гвоздевич О. В. Экспериментальные работы по газификации сапропелитовых углей Львовско-Волинского бассейна // Геотехнолог. проблемы топливно-энергетич. ресурсов Украины. — Киев: Наук. думка, 1985. — С.141-143.

3. Гвоздевич О. В., Брык Д. В., Прогноз технико-экономических показателей процесса подземной газификации угля с применением водокислородного реагента // Методы извлечения и использования энергетич. ресурсов Земли. — Киев: Наук. думка, 1987. — С.33-39.

4. Характеристика смолы газификации сапропелитового угля Львовско-Волинского бассейна / Гавенко В. А., Иванчишин О. П., Брык Д. В., Макигра Р. Г., Петриковская М. Е., Стефаник Ю. В., Тарасюк В. Ю. // Химия твердого топлива.— 1986.—№5.— С.63-68.

5. Гвоздевич О. В., Брык Д. В., Энергосберегающий противоточный реактор с высокими термобарическими параметрами // Методы извлечения и использования энергетич. ресурсов Земли. — Киев: Наук. думка, 1987. — С.20-26.

6. Термодинамические аспекты применения водокислородного реагента в процессе подземной газификации угля / Стефаник Ю. В.,

Брык Д. В., Маковский Ю. С., Федорович Е.С.// Геол. и геотехнол.энергетич. ресурсов Украины. — Киев: Наук. думка, 1988. — С.113-121.

7. Брык Д. В. Смола — продукт газификации твёрдых горючих ископаемых как сырьё для химической технологии // Геол. и геотехнол. энергетич. ресурсов Украины. — Киев: Наук. думка, 1988. — С.121-129.

8. Гвоздевич О. В., Брык Д. В., Интенсификация процесса газификации угля водным раствором перекиси водорода. Тез. докл. 1 Республ.конф. „Перспективы использования угля и продуктов его переработки в народном хозяйстве“, Донецк, 1985 г.-С.86.

9. Брык Д. В., Маковский Ю. С. О целесообразности использования водокислородного реагента в процессе подземной газификации углей. Тез. докл. 1 Республ.конф. „Перспективы использования угля и продуктов его переработки в народном хозяйстве“, Донецк, 1985 г.-С.91.

10. Стефаник Ю. В., Брык Д. В. Термодинамические исследования газификации угля конденсированными окислителями / $H_2O_2$ ,  $HNO_3$ ,  $N_2O_4$ /. Тез.докл. Всесоюз. науч.-практ. конф., Донецк, 1989г.-С.8.

11. Брык Д. В., Стефаник Ю. В. Экспериментальные исследования процесса газификации угля водяным паром с высокими термодинамическими параметрами. Тез.докл. Всесоюз. науч.-практ. конф., Донецк, 1989г.-С.188.

12. Кухар З. Я.,Иванцов О.Е., Брык Д. В. Геологическое обоснование экспериментального полигона подземной газификации углей /ЛГУ/ во Львовско-Вольнском бассейне. Тез.докл. Всесоюз. конф. „Современные проблемы геологии и геохимии твёрдых горючих ископаемых“, Львов, 1991г.-С.49-50.

13. Брык Д. В., Гвоздевич О. В. Экспериментальная установка моделирования процесса подземной газификации твёрдых топлив. ДЕП.03.10.86.,№1962-В86.-С.74-77.

14. Брык Д. В., Гвоздевич О. В. О взаимодействии перекиси водорода с сапропелитовым углём Львовско-Вольнского бассейна. ДЕП. 09.03.84., №1962-В84. -С.78-84.

15. Исследование лёгких фракций смолы водовоздушной газификации сапропелитового угля / Брык Д.В., Гавенко В.А., Куречко Н.И., Макипра Р.Г., Манжар Н.И., Стефаник Ю.В. ДЕП.19.11.87.,№ 894-В87.-С.1-11.

16. А.с. 1390238 СССР, МКИ С10 J 5/00. Способ подземной газификации угля / Э. Б. Чекалюк, Ю. В. Стефаник, Д. В. Брык, О. В. Гвоздевич, Ю. С. Маковский, Л. М. Сенькив, Е.А.Степанчиков. //Открытия. Изобрет.-1988.- № 15. -4с.; Ил.

17. А.с. 1428764 СССР, МКИ С10 J 5/00. Способ подземной газификации углеродосодержащего пласта./В.Е.Жук, Ю.В.Стефаник, О. В. Гвоздевич, Д.В.Брык. //Открытия. Изобрет.-1988.- № 37. - 3с.; Ил.

18. А.с. 1481409 СССР, МКИ С10 J 5/00. Способ метанизации обводненных залежей угля / Э. Б. Чекалюк, Ю. В. Стефаник, О. В. Гвоздевич, Д.В.Брык. //Открытия. Изобрет.-1989.- № 9.-4с.

19.А.с. 1506113 СССР, МКИ С10 J 5/00. Стенд для моделирования процесса подземной газификации угля/ О. В. Гвоздевич, Д.В.Брык, З.Я.Кухар, А.З.Бутин. //Открытия. Изобрет.-1989.- № 33. -2с.; Ил.

20. А.с. 1572103 СССР, МКИ Е 21 С 43/00, С 10 J 5/00) Способ розжига подземного угольного блока /В.В.Ржевский, Ю.Ф.Васючков, В.Е.Забигаило, Ю. В. Стефаник, О. В. Гвоздевич, А.Е.Степанчиков, Д.В.Брык. //Открытия. Изобрет.-1988.- № 31. - 4с.; Ил.

21. А.с. 1744243 СССР, МКИ Е 21 В 43/00, Сквжинный жидкостной нагреватель /И.Р.Крицкий, И.В.Пастухов, В.А.Илюков, Ю.П.Филипов, Р.Ф.Юмагузин, Ю.В.Стефаник, О.В.Гвоздевич, А.Е.Степанчиков, Д.В.Брык. //Открытия. Изобрет.-1992.- № 24.- 3с.; Ил.

## АННОТАЦИЯ

Брык Д.В: Газификация угля водяным паром при высоких термобарических параметрах.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07- Химия и технология переработки горючих ископаемых и углеродных материалов. Государственный университет „Львовская политехника“, 1995.

Защищается 21 работа, в которых рассмотрены вопросы подземной газификации угольных пластов. Теоретически определены предельные показатели процесса подземной газификации угля водяным паром для заданного соотношения


ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

реагентов в заданных термобарических условиях. Рассчитана минимальная мощность угольного пласта, пригодного для проведения процесса газификации. Дана оценка теплотерь в окружающие породы. Проведены экспериментальные исследования влияния термобарических условий процесса и расхода воды на выход, состав, кинетику процесса и теплотворность газа, а также экспериментально определены кинетические зависимости и параметры газификации угля водяным паром при высоких термобарических условиях. Разработаны геотехнологические способы цикличного получения водяного газа и метана в зависимости от горно-геологических условий залегания пласта. Даны технико-экономические показатели процесса подземной газификации угольного пласта, который обеспечивает получение 0,5 млрд.м<sup>3</sup> газа в год.

Ключові слова: газифікація вугілля, водяна пара, матеріальний баланс, тепловий баланс, кінетика.

#### ABSTRACT

The coal gasification by the water steam for the high thermobaric parameters. Cand. Tech. Sci. Specialisation 05.17.07- Chemistry and carbon materials. Bryk D. State University „Lvivska Politechnika“, 1995. 21 scientific papers containing the underground coal seams gasification problem are defended. The ultimate indicators of process of underground coal gasification by water steam for the given reactants ratio in specified thermodynamic conditions are determined theoretically. The minimal thickness of coal seam suitable for the making of gasification process is calculated. The heat losses in rock surrounding are estimated. The experimental investigations of influence of thermodynamic conditions of the process and water consumption volume on quantity, composition, kinetics and combustion, heat of gas are performed, as well as the kynetical dependences of the coal gasification by the water steam are evaluated experimentally for high - thermobaric conditions. The geotechnological methods of cyclical production of the water gas and methane in dependence on rock and geological conditions if seam bedding are developed. The technical and economical data about underground coal gasification enterprise with the productivity 0,5 milliards m<sup>3</sup> of gas per year are presented.



Підписано до друку 28.11.95. Формат 60 x 84 1/16  
Папір офсетний. Друк офсетний. Умови друк. арк. 1.25  
Тираж 100 примірників. Замовлення № 049

Друкарня Видавництва "ЕНЕЙ"

м. Львів , вул Кульпарківська 139 , тел. 649428



4153100

AB 33.793