

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ
УКРАЇНИ

На правах рукопису

ВОЛЬЧИН Ігор Альбiнович

РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ ПІРОЛІЗУ НИЗЬКОСОРТНОГО ВУГІЛЯ
В КИПЛЯЧОМУ ШАРІ
З МЕТОЮ ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ
В ПРОМИСЛОВОСТІ

05.14.04 - Промислова теплоенергетика

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 1993

АВ 28.667

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Відділенні високотемпературного перетворення металургійного інституту проблем енергозбереження Академії наук України.

Науковий керівник - член-кореспондент АН України
доктор фізико-математичних наук
Корчевий Юрій Петрович.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук
професор Сігал Ісак Якович.
- кандидат технічних наук
доцент Савойський Петро Савич.

Провідна організація - Державний науково-дослідний
енергетичний інститут
ім. Г.М. Кржижановського
(Росія, м. Москва)

Захист відбудеться "11" січня 1994 р. на засіданні спеціалізованої ради К 068.02.01 при Державній металургійній академії України за адресою: 320635, Україна, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державної металургійної академії України.

Автореферат розіслано "8" грудня 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
кандидат технічних наук
доцент

Д.С. Паніотов



Актуальність роботи.

В зв'язку з різким скороченням поставок і подорожчанням імпортованого вуглеводневого палива в енергетиці України основним джерелом енергії на найближчі десятиріччя буде місцеве вугілля. Енергетичне паливо України постійно погіршується внаслідок зростання зольності та зниження калорійності. Використання високозольного вугілля в традиційних факельних котлах ускладнено, для підтримки стійкого горіння необхідна добавка природного газу чи мазуту, частка яких зростає із збільшенням зольності. При зольності вугілля вище 50% факельне спалювання практично неможливе.

Це викликає необхідність розробки і упровадження нових методів підготовки та переробки вугілля в залежності від його якості. Для низькорекційного вугілля (антрацитів та пісного) зольність до 25% можливе його спалювання у модернізованих діючих котлоагрегатах, а для високозольного найбільш перспективним - спалювання в циркулюючому киплячому шарі (ШКШ), що дозволяє утилізувати паливо зольність до 80%. Для високореакційного вугілля: бурого, довгоплуменевого і газового, основним методом термічної переробки може стати парокиснева газифікація у потоці (для малозольного вугілля) та газифікація у циркулюючому киплячому шарі (для високозольного палива) як складова частина технологій парогазових установок (ПГУ), що дозволить не тільки утилізувати такі види вугілля, але й на 15-25% підвищити ефективність їх використання. Дослідження процесу газифікації високореакційного низькокалорійного вугілля при атмосферному і підвищеному тиску, а також розробці схеми ПГУ з ШКШ присвячена ця робота.

Метод роботи є: дослідження динаміки газовиділення при термоконтактному піролізі у киплячому шарі у діапазоні температур 1000...1300 К; визначення макрокінетичних характеристик виходу газів-продуктів; визначення впливу швидкості евакуації і тиску на динаміку газовиділення; розробка технології двухстадійної газифікації вугілля у циркулюючому киплячому шарі з термоконтактним піролізом на першій стадії та газифікацією коксозольного залишку на другій.

При виконанні роботи були поставлені такі задачі:

1. Розробка методики проведення та обробки результатів експериментів по газовиділенню при термоконтактному піролізі вугілля у киплячому шарі при атмосферному і підвищеному тиску.

2. Визначення динаміки та сумарного парціального виходу низькомолекулярних компонентів піролізного газу при швидкісному нагріванні у киплячому шарі при температурах 1000...1300 К донецького газового вугілля (ГСШ) у співставленні з підмосковним бурим (ПБ).

3. Оцінка впливу температур на швидкість парціального газовиділення при 1000...1300 К та визначення спостережуваних макрокінетичних констант у досліджуваному діапазоні температур.

4. Визначення умов зовнішнього гальмування газовиділення при термоконтактному піролізі вугілля.

5. Вплив тиску (до 1,0 МПа) на спостережуваний процес виходу піролізного газу.

6. Оцінка прийнятності даних з динаміки газоутворення при термоконтактному піролізі вугілля для енергетичних установок.

7. Проведення технологічних досліджень з газифікації газового та бурого вугілля в ЦКШ.

8. Розробка технології двохстадійної газифікації вугілля під тиском з термоконтактним піролізом на першій стадії і газифікацією коксовального залишку в ЦКШ на другій.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Розроблена методика проведення експериментів з динаміки газовиділення при термоконтактному піролізі вугілля у киплячому шарі.

2. Показано наявність двох режимів гальмування (внутрішнього та зовнішнього) газовиділення при термоконтактному піролізі вугілля, що зумовлені процесами, пов'язаними з масопереносом всередині вугільної речовини і зовні її.

3. Показано, що в режимі внутрішнього гальмування мають місце дзвоноподібні динамічні криві виходу газоподібних продуктів з гілками росту концентрацій на першому етапі і гілками спаду на другому. Гілки спаду добре описуються кінетичним рівнянням першого порядку.

4. Показано залежність питомого виходу газів-компонентів піролізної газової суміші від температури.

5. Отримано макрокінетичні константи виходу газів-компонентів в режимі внутрішнього гальмування і визначена їх залежність від типу газу та ступеню метаморфізму палива.

6. Визначено величини граничних концентрацій газів-компонентів у вихідній газовій суміші при різних температурах і умови зовнішнього гальмування газовиділення верхньої частини шару парогазовими продуктами летючих нижньої частини шару.

7. Показано вплив тиску на швидкість утворення газів-компонентів та їх питомий вихід, а також на виникнення здатних до конденсації високомолекулярних продуктів термічного розкладу, що залишаються у коксовому залишку.

8. Запропоновано ймовірний механізм протікання процесу газо-виділення при піролізі в умовах швидкісного нагрівання.

Практична цінність роботи полягає в тому, що:

1. Розроблена принципіальна схема процесу двофазної газифікації високореакційного низькокалорійного вугілля в ЦКШ під тиском.

2. Підтверджено визначальний вплив процесу піролізу на склад генераторного газу при газифікації вугілля в киплячому шарі.

3. Розроблена методика визначення макрокінетичних констант виходу газів-продуктів термоконтактного піролізу за характером спадаючих гілок динамічних кривих виходу газів.

Результати досліджень і розробок використані при розробці технічних завдань на проектування демонстраційної та дослідно-промислової установок двофазної газифікації вугілля під тиском в ЦКШ, згідно з рішенням наради Міністерства України з газифікації від 24.02.92, дорученням КМ України N 2013-22 від 29.01.93, вказівкою Міністерства України СМ-17 від 25.02.93, наказом Міністерства України N 116 від 03.08.93.

Розрахунковий економічний ефект від впровадження демонстраційної установки двофазної газифікації вугілля під тиском в ЦКШ продуктивність 1 тона вугілля на годину ЦКШ-1,0 на території Відділення ВПЕ і ПЕ АН України складатиме 207 млн. крб (в цінах на 01.09.93).

Крім того, результати досліджень використовуються також конструкторським бюро "Південне" (КБ "Південне"), Всеросійським теплотехнічним інститутом (ВТІ), підприємством ЛьвівОРДРЕС і виробничим енергетичним об'єднанням Донбасенерго при розробці демонстраційних та дослідно-промислових установок для газифікації та спалювання вугілля у киплячому шарі, а також для наладки діючих котлоагрегатів.

Апробація роботи.

Основні результати дисертації доповідалися на трьох міжнародних і республіканській науково-технічних конференціях та нарадах.

Публікації за темою дисертації.

За темою дисертації опубліковано 14 робіт, у тому числі отримано 4 авторських свідоцтва та 1 патент на винаходи.

Обсяг дисертації.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох глав, висновків, списку літератури і додатків. Представлена на 211 стор., у тому числі вміщує 28 таблиць, 29 стор. ілюстрацій. До списку літератури включено 138 найменувань джерел.

З М І С Т Р О Б О Т И

У В С Т У П і обгрунтовано актуальність роботи, її новизна, практична цінність та сформульовані основні задачі досліджень.

В П Е Р Ш І Й Г Л А В І на основі аналізу паливно-енергетичного балансу України розглянуто шляхи підвищення ефективності використання твердого палива на електростанціях. Показано, що одним серед найперспективніших методів термічної переробки українського високовольного вугілля є газифікація у киплячому шарі для ПГУ, яка найбільш підходить для низькокалорійного вугілля з високим вмістом летючих. Розглянуто приклади використання технології термоконтактного піролізу для енергетичних та енерготехнологічних цілей. Приведено огляд методів та результатів досліджень з проблеми газовиділення при піролізі вугілля в умовах повільного та швидкісного нагріву.

Д Р У Г А Г Л А В А присвячена методичним питанням дослідження термоконтактного піролізу вугілля в умовах киплячого шару при атмосферному і підвищеному тиску. Подані оригінальні методики проведення експериментів з газовиділення при термоконтактному піролізі у киплячому шарі як при атмосферному, так і при підвищеному тиску, методика розрахунку оціночного часу нагріву вугільної частки до температури киплячого шару, методика оцінки температурної нерівноважності вугільних часток при термоконтактному піролізі у киплячому шарі, методика оцінки характерного часу газотранспорту в експериментальних установках при атмосферному і підвищеному тиску.

В Т Р Е Т І Й Г Л А В І приведено основні результати досліджень термоконтактного піролізу у киплячому шарі в умовах внутрішнього і зовнішнього гальмування при атмосферному та підвищеному тиску.

Досліджувався термічний розклад донецького газового і підмосковного бурого вугілля при швидкісному нагріванні у киплячому шарі. Дані технічного та елементного (на одиницю горючої маси - daf) аналізу цих марок вугілля наведено в табл. 1 (в % масових).

Аналіз газового складу показав, що основна частина піролізного газу припадає на водень, метан і оксиди вуглецю. На рис. 1 подано зразки динамічних кривих концентрацій газів-компонентів при введенні наважок ГСШ і ПБ масов до 0,05 г при температурі 1143 К.

Таблиця 1.
Технічний та елементний склад вугілля ГСШ і ПБ

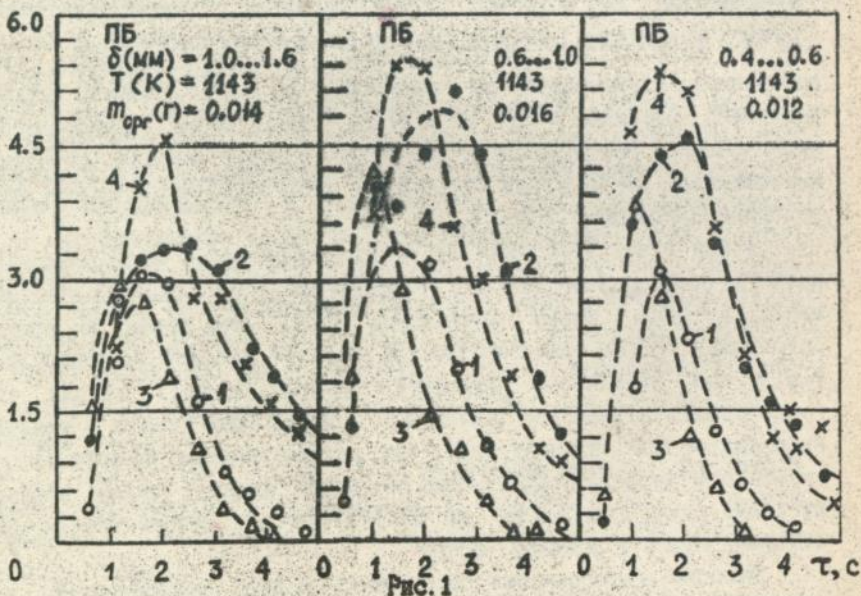
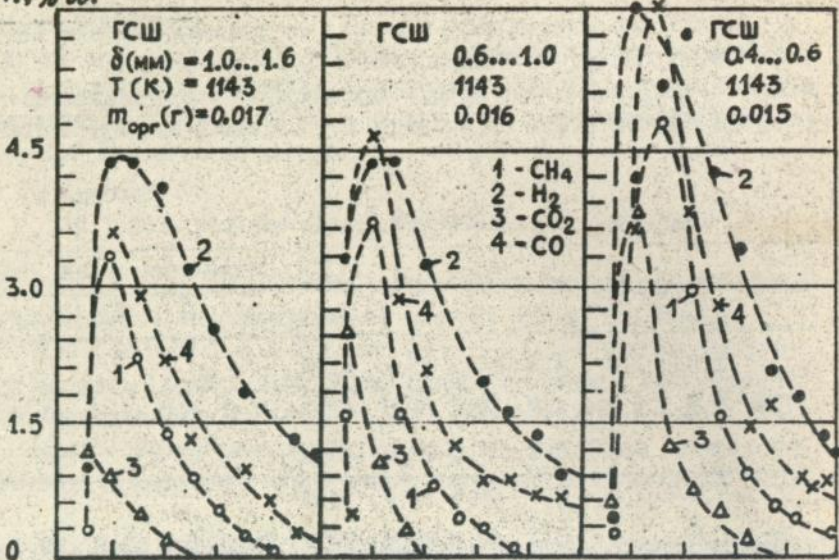
Паливо	Фракція, мм	W ^a	A ^d	V ^d	V ^{daf}	Елементний склад, daf				
						C	H	N	O	S
	1,0...1,6	4,3	44,3	23,2	41,6					
ГСШ	0,6...1,0	4,8	49,5	21,5	42,6	77,0	6,6	1,5	11,4	3,5
	0,4...0,6	6,2	47,5	22,6	43,0					
	1,0...1,6	6,4	40,4	32,4	54,4					
ПБ	0,6...1,0	6,2	42,1	28,9	49,9	71,5	5,0	1,2	19,7	2,6
	0,4...0,6	5,1	49,3	25,9	51,1					

У всіх газів спостерігалось спочатку відносно швидке зростання концентрацій до максимуму, а потім плавне, відносно повільне спадання їх до нуля, яке добре апроксимується експонентом. Максимальна тривалість повного виходу летючих не перевищувала 30-40 с при оціночному часі нагрівання часток палива до температури шару 0,5-0,7 с.

Форми гілок зростання та спаду концентрацій були різними для кожного газу і залежали від температури шару, фракції часток та марки вугілля. Форма початкової гілки пов'язана з процесом нагрівання часток, спостерігалось розмиття максимумів концентрацій газів при термічному розкладі крупної фракції. Гілка спаду концентрацій відповідає практично ізотермічним умовам у реакторі. Максимальна концентрація газів-продуктів термоконтактного піролізу зростала з температурою та при зменшенні фракції часток введеного вугілля. Слід відзначити, що залежність від температури є більш сильною, ніж від розміру часток.

Числове інтегрування динамічних кривих концентрацій дало можливість визначити кількості газів, що виділялися. Величина повного питомого виходу (на одиницю горючої маси) піролізних газів зростала з температурою, особливо кількість водню. Етилен, який визначався методом ІЧ-спектоскопії, мав максимум близько 1153 К.

$\eta, \% \text{ об.}$



Динамічні криві виходу основних піролізних газів у киплячому шарі при $p = 0.1 \text{ МПа}$; $M \leq 0.05$; $G_{\text{га}} = 13.4 \text{ мл/с}$.

Вихід інших газів (CO , CH_4 і CO_2) мав тенденцію до насичення починаючи з 1113-1133 К.

Спадарві гілки динамічних кривих добре апроксимуються експонентом. Це, по-перше, дозволяє говорити про перший порядок процесу виходу газів-продуктів, по-друге, дає можливість розрахувати константи швидкості виходу газів k_i . Константи швидкостей експоненційно ростуть з температурою T :

$$\ln k_i = A - B/T,$$

де A , B - коефіцієнти пропорційності i -го газу.

Це дозволило на основі закону Ареніуса розрахувати макрокінетичні константи - ефективну енергію виходу та перед-експоненційний множник - для водню, метану та монооксиду вуглецю. Величини ефективних енергій виходу газів становили (кДж/моль):

Газ	ГСШ	ПБ
Водень	58,9	45,3
Метан	38,2	30,9
Монооксид вуглецю	32,9	16,6

що більш ніж у 3-4 рази нижче значень енергій виходу цих газів, які були одержані при піролізі в умовах повільного нагрівання. Слід відзначити, що одержані величини ефективних енергій виходу газів-компонентів вище для ГСШ як більш метаморфозованого палива.

При збільшенні маси наважок вугілля від 0,05 г до 0,2-0,3 г при атмосферному тиску і тій же витраті газу-носія спостерігалось розширення форм динамічних кривих концентрацій газів (рис. 2) при збереженні значень питомого виходу для кожного газу-компоненту. Подальше збільшення маси до 0,5 г і вище приводило до зупинення росту максимумів концентрацій газів та появи ділянок насичення; особливо чітко цей ефект спостерігався при виході водню. При збільшенні температури зростали значення граничних концентрацій (чи парціальних тисків насичення).

Ефект гальмування зростання максимальних концентрацій газів спостерігався також при термоконтактному піролізі вугілля у фонтанурчому шарі при квазінеперервній (порційно через малі проміжки часу) подачі наважок палива масою 1,5 г у реактор фонтанурчого шару (рис. 3). Незважаючи на те що проміжок часу між подачами був менше повного часу виходу летючих з окремої наважки, відсутній ефект додання газовиділення з різних наважок, що також підтверджує наявність граничних концентрацій газів-компонентів.

Експерименти з термоконтактного піролізу в киплячому шарі під тиском показали значне зменшення при зростанні тиску питомого

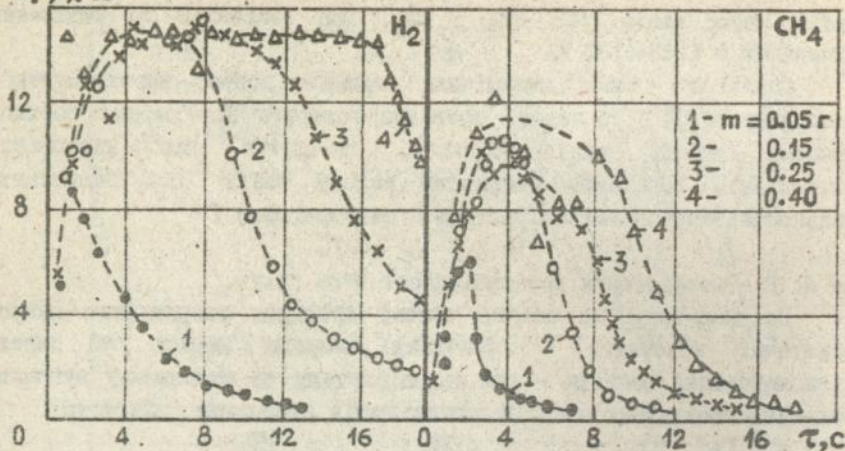
$n_i, \% \text{ об.}$ 

Рис. 2

Динамічні криві виходу газів при термоконтактному піролізі у киплячому шарі для ГСШ (0,4...1,6 мм) при $p = 0,1 \text{ МПа}$, $T = 1133 \text{ К}$.

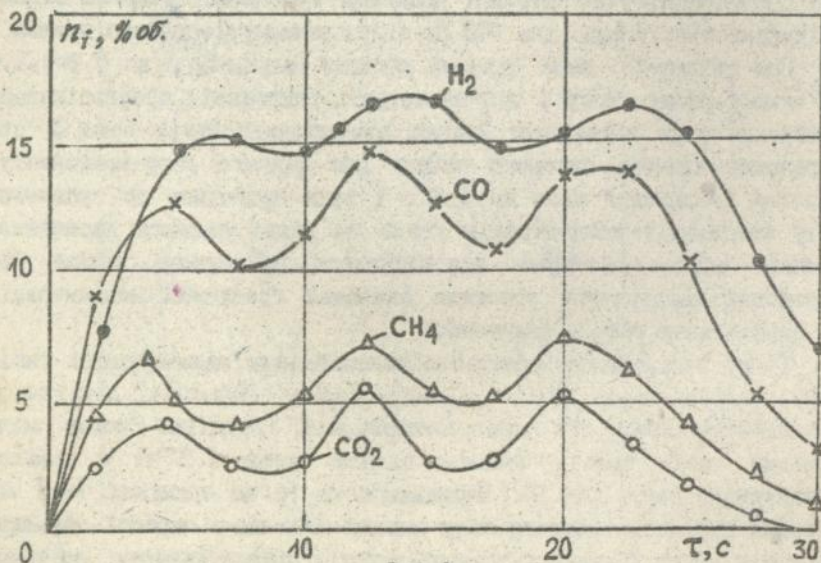


Рис. 3

Динамічні криві виходу газів при термоконтактному піролізі у киплячому шарі для ГСШ (1,0...1,6 мм) при $p = 0,1 \text{ МПа}$; $T = 1173 \text{ К}$ і послідовній подачі трьох наважок вугілля масов 1,5 г.

виходу піролізної газової суміші та зміну її складу, зокрема зменшення вмісту монооксиду вуглецю і метану. Підвищення тиску приводило до розтягування у часі динамічних кривих концентрацій газів, які також мали гілки росту і спаду концентрацій. Виявлено зниження рівня максимальних концентрацій газів-продуктів з ростом тиску. На форму гілки росту впливають не тільки процеси, пов'язані із стадією нагрівання часток палива, але і збільшення характерного часу газотранспорту з ростом тиску в реакторі. Спадачу гілку можна також апроксимувати експонентом, до того ж з ростом тиску крутизна її падає, тобто росте загальний час газовиділення. Крім того, зростання газового тиску приводить до зниження пористої структури коксів і збільшення в них частки летючих, що залишаються попри тривале (до 120 хвилин) перебування коксових часток у киплячому шарі.

Отримані експериментальні дані з газовиділення при термоконтактному піролізі високореакційного вугілля підтверджують різницю механізмів протікання процесу термічного розкладу в умовах повільного і швидкісного нагрівання і дозволяють зробити деякі припущення щодо ймовірного механізму протікання термоконтактного піролізу.

В процесі термічної деструкції вугілля відбувається виділення во внутрішньопоровий простір первинних продуктів у вигляді вільних радикалів та іонів, які водночас вступають в реакції між собою з утворенням кінцевих продуктів. В умовах повільного нагрівання розрив міжфункціональних зв'язків відбувається послідовно, утворювані кінцеві продукти безперервно виходять назовні. При швидкісному нагріванні одночасно відбувається розрив як слабких, так і сильних зв'язків з утворенням великої кількості вільних радикалів та іонів, тому процес синтезу кінцевих продуктів в умовах обмеженої перепускної здатності пористої структури має відбуватися дещо інакше. Якщо б газоподібні продукти термоконтактного піролізу утворювались всередині вугільних часток, то при відомому обсязі пор і питомому виході газів, часі газовиділення близько 30-40 с і спадачому характері динамічних кривих концентрацій во внутрішньопоровому просторі вугільних часток розвивався би тиск до 120-190 МПа, що спричинило б до їх розвалу, чого в експериментах не спостерігалось.

Разом з тим відомо, що значна частина летючих виходить з вугілля у вигляді парів, які конденсуються за нормальних умов. Отже, відносно невеликий приріст тиску у внутрішньопоровому про-

сторі може призвести до їх конденсації в порах. Тоді в умовах швидкісного нагрівання первинним продуктом піролізу може бути проміжна конденсована фаза, що знаходиться во внутрішньому просторі часток, а ймовірним механізмом виходу летючих в умовах термоконтактного піролізу є виділення газів і парів через устя пор з проміжної конденсованої фази. Тоді парціальні тиски насичення набувають змісту рівноважних тисків, а визначені макрокінетичні константи характеризують швидкість виходу газу в ізотермічних умовах при парціальному тиску газу-компоненту нижче рівноважного.

Підвищення тиску має приводити до зниження рівноважних тисків газів-продуктів і зміщення процесу трансформації проміжної конденсованої фази у кінцеві продукти у бік утворення більш високомолекулярних продуктів. Це підтверджується зниженням з ростом тиску питомого виходу газоподібних летючих, збільшенням частки летючих у коксовому залишку та зниженням його пористості.

В ЧЕТВЕРТІЙ ГЛАВІ приведено результати технологічних досліджень двоетапної газифікації високореакційного низькокалорійного вугілля у киплячому шарі з термоконтактним піролізом на першій стадії, описано принципіальну схему демонстраційної установки ЦКШ-1,0 для газифікації вугілля у ЦКШ під тиском і запропоновано алгоритми розрахунку апаратів термоконтактного піролізу, а також представлені матеріали з використання результатів досліджень і розробок.

Для перевірки можливості двоетапної газифікації низькокалорійного вугілля в ЦКШ було проведено цикл експериментів на установці Ф-0,05-ЦКШ продуктивність до 25 кг вугілля на годину.

Технологічні експерименти з газифікації ГСШ і ПБ вугілля здійснювались на стенді Ф-0,05-ЦКШ таким чином (рис.4). Після досягнення стабільного режиму горіння вугілля в ЦКШ при температурі 1150-1220 К установку переводили у газифікаційний режим, збільшувачи завантаження вугілля, висоту киплячого шару і кількість вуглецю в рециркуляційному матеріалі. Режим горіння вугілля спостерігався тільки в нижній частині реактору Ф-0,05 (на віддалі 0,05-0,10 м від перфорованої ґратки), а в іншій частині реактор працював у режимі газифікації. По досягненні необхідної висоти киплячого шару починалось вивантаження золи з нижньої частини шару. Температура регулювалася шляхом зміни витрати повітря, ступень рециркуляції золи, витрати вугілля і пари.

Результати технологічних експериментів з повітряної газифікації високозольного газового і бурого вугілля в ЦКШ виявили:

- можливість одержання цільового газу з загальним вмістом водню, метану і монооксиду вуглецю не менше 20-35% і калорійністю до 5,6 МДж/м³;

- вихід газів-компонентів цільового газового потоку на 85-90% визначається виходом газових продуктів піролізу вугілля;

- окислювальна зона шару розташована знизу на висоті до 0,05 м, газифікаційна зона займає іншу частину висоти шару та надшаровий простір, швидкість газифікації збільшується із зростанням температури і висоти шару;

- процес термічного розкладу вихідного палива, що подається до киплячого шару, відбувається у надшаровому просторі та верхній частині шару, причому значення питомого виходу піролізних газів практично співпадають з результатами лабораторних експериментів.

Проведені дослідження залежності питомого виходу газів-продуктів термоконтактного піролізу від температури та тиску дозволили для ГСШ та ПБ розробити апроксимаційні формули вигляду:

$$M_i = [A_i + B_i \arctg(C_i T + D_i T^2)] (E_i - F_i P)$$

де M_i - питомий (daf) вихід i-го газу;

$A_i, B_i, C_i, D_i, E_i, F_i$ - параметри апроксимації для i-го газу.

В табл. 2 приведено значення параметрів апроксимації для основних газів-компонентів для газового та бурого вугілля.

Наведена залежність добре описує експериментальні дані і може бути корисною для інженерних розрахунків реакторів термоконтактного піролізу енерготехнологічних установок.

Таблиця 2

Параметри апроксимації залежності питомого виходу (daf) газів-продуктів піролізу від температури і тиску

Паливо	Газ	A	B	$C \times 10^3$ K ⁻¹	$D \times 10^6$ K ⁻²	E	$F \times 10^6$ Па ⁻¹
ГСШ	H ₂	-637	31490	$2,16 \cdot 10^{-2}$	0	1,046	0,42
	CO	90	0	0	0	1,075	0,81
	CH ₄	54,69	8,12	-28,77	26,44	1,078	0,87
	CO ₂	12,44	11,99	-47,40	46,54	1,079	0,66
ПБ	H ₂	-474	14366	$3,01 \cdot 10^{-2}$	$1,05 \cdot 10^{-2}$	-	-
	CO	99,39	16,24	-28,77	26,44	-	-
	CH ₄	15,98	31,97	-9,45	9,53	-	-
	CO ₂	38,76	14,93	-37,00	35,53	-	-

На рис. 5 представлено принципіальну схему демонстраційної установки двоохтадійної газифікації під тиском в циркулюючому киплячому шарі ЦКШ-1,0 на 1 тону вугілля на годину. Установка ЦКШ-1,0 працює за такою схемою. Вугілля з бункеру 1 та вапняк (для зв'язування сірки вугілля) з бункеру 2 надходять до бункеру палива 4, далі паливо шнеком подається до реактору-піролізу 5, в якому відбувається процес термоконтактного піролізу в суміші з гарячими коксовольними частками, які надходять з циклону 7. Тверді продукти піролізу з піролізу 5 подаються до газифікаційної зони киплячого шару газифікатора ЦКШ 6, в якому великі частки потрапляють до нижньої зони шару, а звідти до системи допалювання золи 19 та виводяться до бункеру золи 20. Дрібні частки газифікуються у верхній зоні шару та надшаровому просторі і разом з продуктами газифікації надходять до циклону 7, в якому відбувається сепарація твердої та газової фаз. Коксовольні частки використовуються в піролізері 5 як теплоносії, а газовий потік разом з парогазовими продуктами піролізу з піролізу 5 надходять до камери конверсії 8, в якій відбувається розклад важких вуглеводнів в повітряному середовищі. Далі одержаний генераторний газ очищується від пилу в мультициклоні 9, частки пилу збираються в бункері 21. Після мультициклону 9 газовий потік охолоджується у газодляному теплообміннику 10 і очищується від оксидів сірки та азоту в скрубєрі 11, продукти змиву збираються в резервуарі 22. Очищений газ поділяється на два потоки. Більша частина газу подається до камери спалювання 12, продукти згоряння дроселюються в газовому детандері 14, віддають своє тепло в котлі-утилізаторі 15 і виводяться через димар 16. Інша частина газового потоку через дожимний компресор 13 використовується для підтримки робочого тиску в бункерах 1, 2, піролізері 5 та для забезпечення режиму опускного киплячого шару в піролізері 5. В камері спалювання 17 частина продуктів газифікації згоряє в повітрі, а продукти надходять до піролізу 5. Набір робочого тиску відбувається завдяки напірному компресору 18, стиснуте повітря з якого надходить до газифікатора 6, камер 8, 12, 17 та системи допалювання золи 19. Газгольдер 3 служить для стабілізації робочого тиску в бункерах 1, 2, 4. Вироблювана в котлі 15 пара надходить до парової турбіни 23 і далі до поверхневого конденсатора 24. Утворений конденсат за допомогою насосу 25 подається до деаератора 26, з виходу якого вода живильним насосом 27 подається до теплообмінника 10 і далі в котел 15, а також частково використовується для змиву в скрубєрі 11.

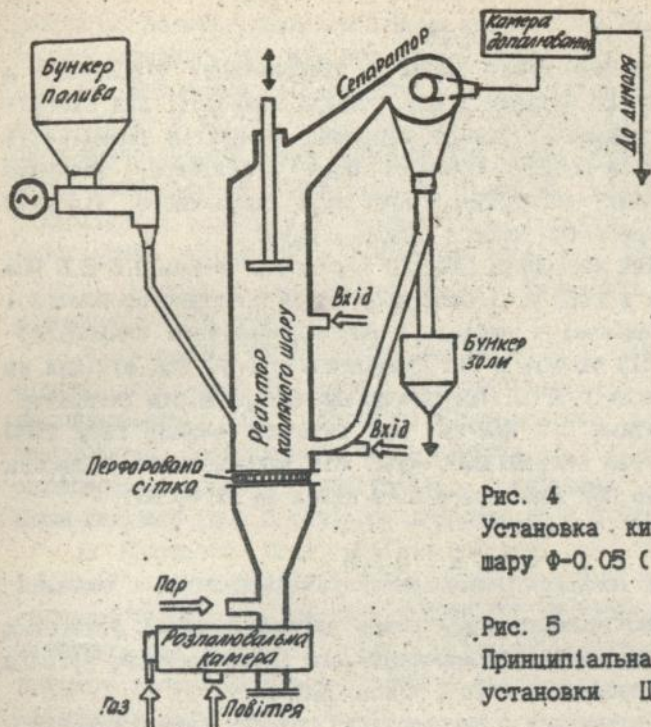
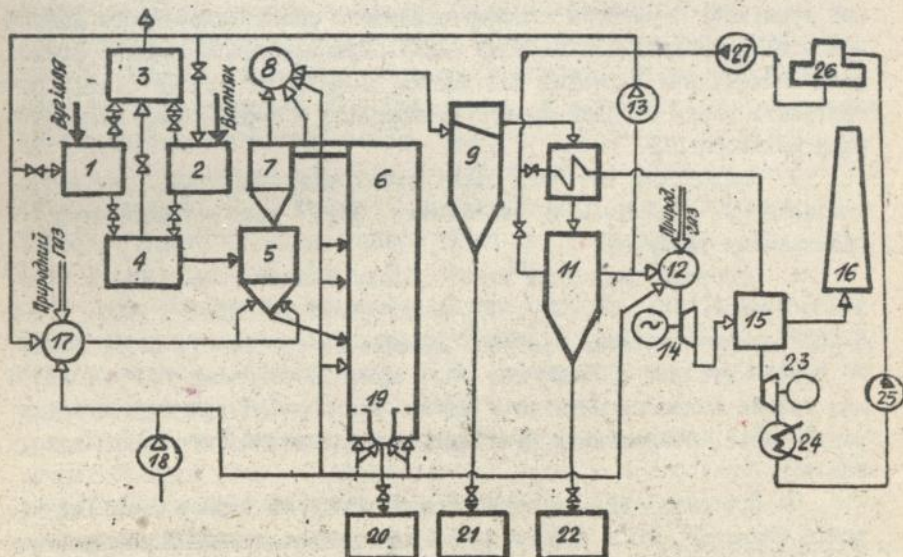


Рис. 4
Установка кипящего шару $\Phi=0.05$ (ЦКШ).

Рис. 5
Принципіальна схема установки ЦКШ-1.0.



Відмінними рисами такої схеми є використання піролізера з опускним киплячим або шільним шаром, камери конверсії для газифікації важких вуглеводнів, камери згорання продуктів газифікації для одержання газу-носія киплячого шару піролізера, введення коксозольного залишку до верхньої зони шару. Крім цього, відсутня необхідність використання кисню і водяної пари.

Демонстраційна установка ЦКШ-1,0 з робочим тиском 0,8-2,5 МПа має стати до ладу в 1983 р. і буде прообразом дослідно-промислової установки двохстадійної газифікації високореакційного низькокалорійного вугілля під тиском в ЦКШ продуктивність 10 тон вугілля на годину на Миронівській ДРЕС. Передбачувана калорійність генераторного газу складатиме $6,7 \text{ МДж/м}^3$ при питомому виході газу $2550 \text{ м}^3/\text{т}$. Розрахунковий економічний ефект від використання установки ЦКС-1,0 складатиме 207 млн. крб/рік (в цінах на 01.09.93).

В И С Н О В К И

1. Розроблено принципіальну схему демонстраційної установки двохстадійної газифікації високореакційного низькосортного вугілля під тиском в ЦКШ продуктивність 1 т/год (ЦКШ-1,0).

2. Найперспективнішим є використання процесу термоконтактного піролізу в киплячому шарі як першої стадії технології двохстадійної термічної переробки високореакційного низькокалорійного палива при атмосферному і підвищеному тиску. Присутність летьчих в коксовому залишку при піролізі під тиском вимагає на другій стадії організації вводу твердих продуктів піролізу в верхню зону киплячого шару реактора ЦКШ.

3. Розроблена методика дослідження виділення газу при термоконтактному піролізі в киплячому шарі при атмосферному і підвищеному тиску.

4. Одержано динамічні криві виходу основних компонентів піролізного газу - H_2 , CO , CH_4 , CO_2 в інтервалі температур 1000...1300 К при термоконтактному піролізі донецького газового і підмосковного бурого вугілля в киплячому шарі при атмосферному тиску. Аналіз цих кривих дозволив визначити питомі кількості і граничні концентрації газів, розрахувати ефективні макрокінетичні константи виходу газів.

5. Проведені дослідження впливу тиску на термоконтактний піроліз показали, що з ростом тиску зникається сумарний питомий вихід піролізного газу і зростає частка летьчих, які залишилися в

коксовому залишку, однак в цілому процес газифікації вугілля під тиском ефективніший, ніж при атмосферному тиску.

6. Запропоновано ймовірний механізм газовиділення при термоконтактному піролізі через проміжну конденсовану фазу, що розміщена у внутрішньопоровому просторі вугільних часток. Вихід газів та парів здійснюється з устя пор, а граничні концентрації газів є рівноважними і ростуть з температур. З ростом тиску падає рівень рівноважних концентрацій, конверсія проміжної конденсованої фази в кінцеві продукти зміщується в бік утворення більш високомолекулярних продуктів.

7. Проведені технологічні експерименти з двохстадійної газифікації донецького газового і підмосковного бурого вугілля у ЦКШ при атмосферному тиску показали ідентичність одержаних даних з результатами лабораторних експериментів і підтвердили можливість здійснення процесу повітряної газифікації для отримання генераторного газу з теплотов згоряння до $5,6 \text{ МДж/м}^3$.

8. Результати дисертації використані при розробці технічного завдання і принципіальної схеми демонстраційної установки ЦКШ-1,0, яка споруджується на території ВВПЕ ІПЕ АН України, що дозволить економити при виробленні тєї ж кількості електроенергії до 1200 т твердого палива на рік з частковим економічним ефектом 207 млн. крб/рік (в цінах на 01.09.93).

Автор широ вдячний к. т. н. Майстренко О. Ю. і к. т. н. Чернявському за цінні консультації при роботі над дисертацією.

Основні результати дисертації опубліковано в таких роботах:

1. Динамика піроліза газового и бурого углей в термоконтактном газогенераторе / Н. В. Чернявский, Г. Н. Тальнова, И. А. Вольчин // Энергетика и электрификация, 1993, т. 13, № 1. - С. 25-28.

2. Исследование динамики термоконтактного пиролиза газового и бурого углей / Г. Н. Тальнова, Н. В. Чернявский, И. А. Вольчин, И. Г. Гринь // Твердотопливные энергетические технологии: Тез. докл. науч.-техн. семинара. Киев: Знання, 1992. - с. 8-9.

3. Экспериментальные исследования процесса газификации донецкого газового угля в циркулирующем кипящем слое / И. А. Вольчин, Ю. П. Корчевой, А. Ю. Майстренко, Н. В. Чернявский // Энергетика и электрификация. 1993. № 3 - С. 37-40.

4. Особенности газовыделения при термоконтактном нагреве донецких газовых углей в схемах газогенераторов с циркулирующим кипящим слоем / И. А. Вольчин, И. Г. Гринь, Г. Н. Тальнова, Н. В. Чернявский // Энергетика и электрификация, 1993, т. 13, № 3. - С. 41-44.

5. Получение энергетического и бытового газа путем термоконтактного пиролиза угля в контуре ЦКС / И. А. Вольчин, Н. В. Чернявский, Г. Н. Тальнова, И. Г. Гринь. Препринт АН Украины. ИТЭ, К., 1993. - 60с.
6. Измерение температуры углегазовзвесей (обзор методов и результатов) / И. А. Вольчин, Я. С. Жолудов. - Киев, 1987. - 33 с. - (Препринт АН УССР. И-т проблем моделирования в энергетике; 103).
7. Фактор оптимизации предтопка с циркулирующим аэрофонтанирующим слоем и реактором термоконтактного пиролиза / А. В. Перепелкин, С. В. Карамнова, Н. В. Чернявский, И. А. Вольчин // Твердотопливные энергетические технологии: Тез. докл. науч.-техн. семинара. - Киев: Знання, 1992. - С. 9-11.
8. Повышение эффективности газификации в потоке за счет высокоскоростного нагрева угольных частиц / Н. В. Чернявский, И. А. Вольчин, Н. И. Дунаевская // Энергетика и электрификация, 1992, т. 12, N 4. - С. 42-43.
9. А. с. 1492894 СССР, МКИ G 01 J 5/50. Способ определения температуры газа и частиц высокотемпературной реагирующей среды и устройство для его осуществления / И. А. Вольчин, В. Г. Дресвянников, С. И. Крышоеев, В. Р. Макарчук, О. И. Фисун. - Оpubл. 1989, БИ N 29.
10. А. с. 1543248 СССР, МКИ G 01 J 5/52. Способ определения температуры движущихся частиц дисперсной фазы / И. А. Вольчин, С. И. Крышоеев, В. Н. Макарчук - Оpubл. 15.02.90, БИ N 6.
11. А. с. 1617312 СССР, МКИ G 01 J 5/06. Устройство для определения температуры взвешенных частиц в газовом потоке / И. А. Вольчин, С. И. Крышоеев, В. Н. Макарчук, С. В. Марушак - Оpubл. 30.12.90, БИ N 48.
12. А. с. 1639208 СССР, МКИ G 01 J 5/00. Способ определения температуры объекта - И. А. Вольчин, С. И. Крышоеев, В. Н. Макарчук - Оpubл. 23.03.91, БИ N 12.
13. Патент 1804599 СССР, МКИ G 01 J 5/00. Способ определения температуры объекта и устройство для его осуществления / И. А. Вольчин, С. И. Крышоеев, В. Н. Макарчук, С. В. Марушак - Оpubл. 23.03.93, БИ N 12.
14. Расчетное и экспериментальное определение термической неравновесности одиночной угольной частицы в различных атмосферах / И. А. Вольчин, Я. С. Жолудов, А. Ю. Майстренко // Методы расчета вихревых гетерогенных потоков с химическим реагированием сред. Методы расчета свойств продуктов сгорания: Мат-лы науч.-тех. совещ. стран-чл. СЭВ, СФРЮ и финл. респ. (Москва, май 1986). - М.: Ин-т высоких температур АН СССР, 1987. - С. 136-139.

Підписано до друку 24.11.93. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Офсетний друк. Умов. друк. арк. 0,93.
Умов. фарб.-відтисків 0,93. Умов.-видав. арк. 1,00.
Тираж 30 екз. Замовлення 43. Безкоштовно.

Інститут проблем енергозбереження АН України.
254070, Київ-70, вул. Покровська, 11.

Поліграфічна дільниця Інституту проблем енергозбереження
АН України. 254071, Київ-71, вул. Фрунзе, 31.

463107

Ab 28.667

AB 28.667