

ТЕМПЕРАТУРА ЗАЙМАННЯ ВУГІЛЛЯ. ВУГІЛЬНІ СУМІШІ

© *Д.В. Мірошніченко¹,*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, м. Харків, вул. Куртичова, 2, Україна*І.В. Шульга², Ю.С. Кафтан³, Н.А. Десна⁴*Державне підприємство «Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут (УХІН)», 61023, м. Харків, вул. Весніна, 7, Україна*Ю.В. Ніколайчук⁵*Державний вищий навчальний заклад «Донбаський державний педагогічний університет», 84166, м. Слов'янськ Донецької обл., вул. Генерала Батюка, 19, Україна*¹ Мірошніченко Денис Вікторович, доктор техн. наук, с.н.с., завідувач кафедри технологій переробки нафти, газу та твердого палива, e-mail: dvmir79@gmail.com² Шульга Ігор Володимирович, канд. техн. наук, доц., с.н.с., зав. коксовим відділом, e-mail: ko@ukhim.org.ua³ Кафтан Юрій Степанович, канд. техн. наук, с.н.с., провідний наук. співр. ВВ, e-mail: yo@ukhim.org.ua⁴ Десна Наталя Анатоліївна, канд. техн. наук, ст. наук. співр. заступник завідувача вугільним відділом (ВВ), e-mail: desnana@ukr.net⁵ Ніколайчук Юрій Володимирович, старший викладач кафедри загальнотехнічних дисциплін, промислових технологій та безпеки життєдіяльності, e-mail: nik.yurij@mail.ru

Визначено температури займання бінарних, три- та багатокомпонентних вугільних сумішей, до складу яких входило вугілля різного ступеня метаморфізму із змінним процентним співвідношенням.

Встановлено, що фактичні значення температури займання багатокомпонентних вугільних сумішей не відповідають розрахованим за правилом адитивності, а відхиляються в бік вугілля з меншою температурою займання. Методами математичної статистики показано, що ці відхилення носять значимий не випадковий характер.

Виявлено математичну залежність, що дозволяє за даними значень температур займання окремих компонентів прогнозувати величину температури займання в бінарних, три- і багатокомпонентних вугільних сумішах.

Висловлено припущення, що в сумішах, в першу чергу, спалахує компонент з меншою температурою займання, причому енергія, що відітлася при цьому, витрачається на займання більш важкозаймистого компонента, що призводить до займання суміші в цілому.

Ключові слова: вугілля, багатокомпонентні вугільні суміші, температура займання, адитивність, пожежна та вибухобезпека.

В роботі [1] показано, що температура займання неокисненого вугілля ($t_{зв}$) є технологічним параметром, котрий залежить від складу і ступеня упорядкування його органічної маси. Встановлено, що підвищення величини температури займання викликано зростанням в вугіллі вмісту загального ($C^{дз}$) і ароматичного ($C_{ар}$) вуглецю, а також ступеня ненасичення (δ) його структури. Відповідно, збільшення виходу летких речовин, зниження показника відбиття вітриніту і зниження ступеня ненасичення структури ОМВ, викликані підвищенням вмісту аліфатичного вуглецю, призводять до зниження температури займання вугілля.

Представляє практичний інтерес з'ясувати, чи є температура займання адитивним показником для сумішей вугілля. На першому етапі це питання досліджувалося для двокомпонентних сумішей, до складу яких входило вугілля різного ступеня метаморфізму в різному процентному співвідношенні.

У табл. 1 наведені результати виконаних раніше досліджень [2, 3] щодо визначення температур займання окремих компонентів і їх сумішей (в співвідношенні 50:50). Аналізуючи ці дані, можна прийти до висновку, що розрахункові значення температури займання вугільних сумішей в тій чи іншій мірі відрізняються від експериментально визначених значень.

* Автор для листування

Таблица 1

Температура займання вугілля та його сумішей (50:50) відповідно [2, 3]

Номер суміші	Температура займання, $t_{зв}$, °C			
	вихідне вугілля		суміш, факт	суміш, розрахунок
	$t_{зв,1}$	$t_{зв,2}$	$t_{зв, сум. ф}$	$t_{зв, сум. р}$
1	370,5	363,5	366,0	367,0
2	342,0	326,0	324,0	334,0
3	367,0	342,0	352,0	354,5
4	386,0	360,0	367,0	373,0
5	367,0	341,0	352,0	354,0
6	360,0	326,0	327,0	343,0
7	326,0	285,0	300,0	305,5
8	342,0	285,0	295,0	313,5
9	386,0	326,0	333,0	356,0
10	360,0	285,0	290,0	322,5
11	386,0	285,0	306,0	335,5
12	366,0	353,0	357,0	359,5
13	365,0	351,0	358,0	358,0
14	365,0	345,0	355,0	355,0
15	353,0	347,0	350,0	350,0
16	362,0	353,0	360,0	357,5
17	360,0	347,0	356,0	353,5
18	362,0	360,0	360,0	361,0
19	362,0	359,0	359,0	360,5
20	362,0	336,0	346,0	349,0
21	365,0	362,0	363,0	363,5
22	365,0	336,0	346,0	350,5
23	336,0	332,0	333,0	334,0
24	353,0	336,0	344,0	344,5
25	365,0	347,0	355,0	356,0
26	359,0	347,0	356,0	353,0
27	360,0	351,0	358,0	355,5
28	359,0	345,0	353,0	352,0
29	362,0	347,0	356,0	354,5
30	361,0	351,0	353,0	356,0

Для збільшення вибірки авторами були виконані власні дослідження. Технологічні властивості досліджених вугільних концентратів, а також температури займання індивідуального вугілля і його сумішей (в співвідношенні 50:50) наведені в табл. 2 і 3.

Більш глибокий аналіз результатів досліджень, наведених в табл. 1 і 3, демонструє наявність систематичних відхилень фактичних значень від розрахункових за правилом адитивності в бік вугілля з меншою температурою займання.

Виявлена закономірність наведена на рис. 1. По осі абсцис розташовані значення ($t_{зв,1}-t_{зв,2}$), тобто величини, що показують, наскільки одне вугілля в суміші відрізняється від іншого за величиною температури займання в абсолютних значеннях (°C). По осі ординат розташовані значення ($t_{зв, сум. ф}-t_{зв,1}$), тобто величини, що показують наскільки фактичне значення температури займання суміші відрізняється від температури займання компонента, що характеризується більшою величиною температури займання з двох, наявних в цій суміші (°C).

Таблиця 2

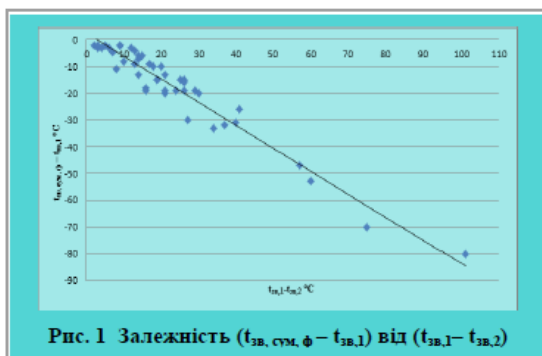
Технологічні властивості вугільних концентратів

№	Постачальник, країна	Марка	Технічний аналіз, %			Петрографічний склад, %					Показник відбиття вітриніту, %
			A ^d	S _t ^d	V ^{dat}	Vt	Sv	I	L	ΣOK	R ₀
1	ТОВ «Промугольсервис», РФ	Г	8,5	0,63	37,7	77	0	22	1	22	0,67
2	ТОВ «Ресурс», РФ	ГЖП	9,9	0,49	36,7	57	1	40	2	41	0,65
3	ЦЗФ «Абашевська», РФ	Ж	9,3	0,72	29,8	90	0	9	1	9	0,93
4	ЦЗФ «Східна», Казахстан	К+КЖ	10,1	0,59	26,1	64	1	33	2	34	1,08
5	ЦЗФ «Постніковська», Україна	К	8,4	1,19	28,3	93	0	6	1	6	1,16
6	ЦОФ «Свято-Варваринська», Україна	К	9,0	0,78	27,6	84	1	13	2	14	1,15
7	ш. «Бежановська», Україна	К	8,9	1,96	24,8	91	1	8	0	9	1,28
8	Р-з «Краснобродський», РФ	КС	7,4	0,43	23,8	34	1	64	1	65	1,02
9	Компанія «Барзаська», РФ	КС	7,4	0,36	20,7	31	1	68	0	69	1,15
10	«Pocahontas», США	ПС	8,1	0,85	20,0	69	0	31	0	31	1,51

Таблиця 3

Температура займання вугілля та його сумішей (50:50)

Номер досліду	Склад суміші	Температура займання, t _{зв.} , °C			
		вихідне вугілля		суміш, факт	суміш, розрахунок
		t _{зв.1}	t _{зв.2}	t _{зв. сум. ф}	t _{зв. сум. р}
1	№1 + №5	388,0	367,0	375,0	377,5
2	№1 + №10	407,0	367,0	376,0	387,0
3	№2 + №3	385,0	369,0	366,0	377,0
4	№2 + №4	393,0	369,0	374,0	381,0
5	№2 + №6	390,0	369,0	370,0	379,5
6	№2 + №7	396,0	369,0	366,0	382,5
7	№2 + №8	399,0	369,0	379,0	384,0
8	№2 + №9	406,0	369,0	374,0	387,5
9	№3 + №4	393,0	385,0	382,0	389,0
10	№3 + №6	390,0	385,0	388,0	387,5
11	№3 + №8	399,0	385,0	386,0	392,0
12	№3 + №9	406,0	385,0	387,0	395,5
13	№5 + №10	407,0	388,0	392,0	397,5

Рис. 1 Залежність $(t_{зв, сум, ф} - t_{зв,1})$ від $(t_{зв,1} - t_{зв,2})$

Графічна залежність, наведена на рис. 1, описується рівнянням першого ступеня, з коефіцієнтом детермінації, що дорівнює 94,3%.

$$(t_{зв, сум, ф} - t_{зв,1}) = 2,35 - 0,86 \cdot (t_{зв,1} - t_{зв,2}) \quad (1)$$

Перетворення рівняння (1) дозволяє нам виявити математичну залежність впливу температур займання окремих компонентів на величину фактичної температури займання їх суміші (в співвідношенні 50:50):

$$t_{зв, сум, ф} = 2,35 + 0,14 \cdot t_{зв,1} + 0,86 \cdot t_{зв,2} \quad (2)$$

де $t_{зв,1}$ – температура займання компонента суміші з більшою величиною температури займання, °C; $t_{зв,2}$ – температура займання компонента суміші з меншою величиною температури займання, °C.

Аналізуючи рівняння (2), можна прийти до висновку, що температура займання бінарної суміші (співвідношення 50:50) на 14 % визначається температурою займання вугілля з максимальною величиною температури займання і на 86 % – температурою займання вугілля з мінімальною температурою займання.

На рис. 2 наведена графічна залежність між фактичними значеннями температур займання бінарних сумішей (в співвідношенні 50:50) і прогнозними, розрахованими за рівнянням (2).

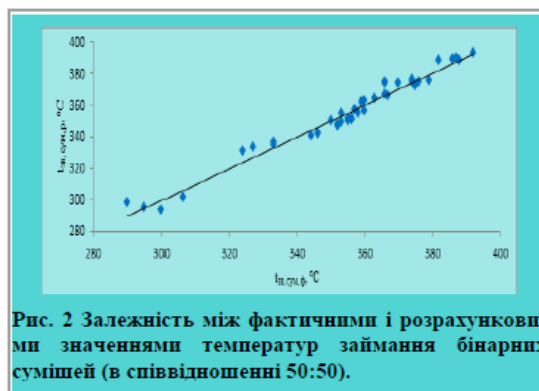


Рис. 2 Залежність між фактичними і розрахунковими значеннями температур займання бінарних сумішей (в співвідношенні 50:50).

Таблиця 4

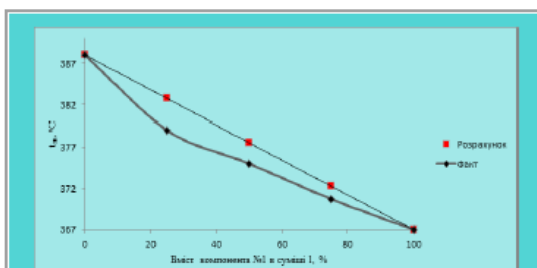
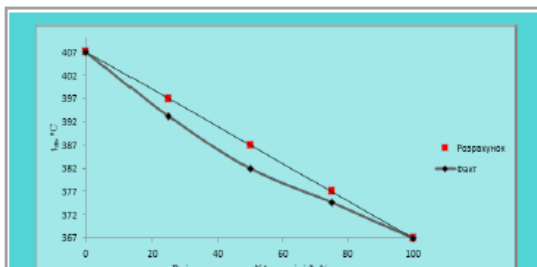
Температура займання вугілля та його сумішей

Суміш	Склад суміші (номер компонента, співвідношення у відсотках)	Температура займання, °C	
		факт, $t_{зв, сум, ф}$	розрахунок, $t_{зв, сум, р}$
1	№1 (0) + №5 (100)	388,0	388,0
	№ 1 (25) + № 5 (75)	379,0	382,8
	№ 1 (50) + № 5 (50)	375,0	377,5
	№ 1 (75) + № 5 (25)	370,7	372,3
	№1 (100) + №5 (0)	367,0	367,0
2	№1 (0) + №10 (100)	407,0	407,0
	№ 1 (25) + № 10 (75)	393,2	397,0
	№ 1 (50) + № 10 (50)	382,0	387,0
	№ 1 (75) + № 10 (25)	374,7	377,0
	№1 (100) + №10 (0)	367,0	367,0
3	№5 (0) + №10 (100)	407,0	407,0
	№ 5 (25) + № 10 (75)	399,5	402,3
	№ 5 (50) + № 10 (50)	392,0	397,5
	№ 5 (75) + № 10 (25)	389,0	392,8
	№5 (100) + №10 (0)	388,0	388,0

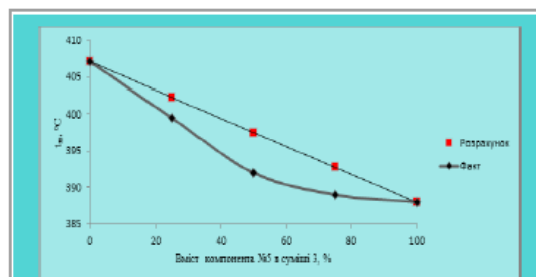
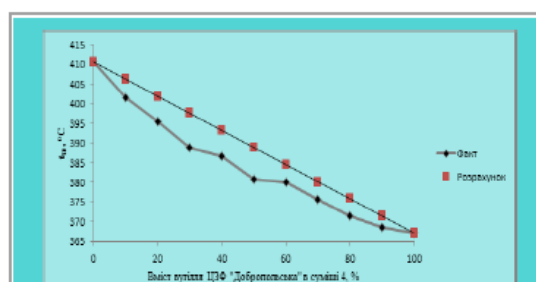
Середнє квадратичне відхилення фактичних від розрахункових величин температур займання бінарних сумішей (в співвідношенні 50:50) становить 4,12 °С.

Продовжуючи дослідження в цьому напрямку, нами були виконані визначення температур займання сумішей, до складу яких входило вугілля різного ступеня метаморфізму в різному процентному співвідношенні (0; 25; 50; 75 і 100 %). Результати виконаних досліджень наведені в табл. 4, а також у вигляді графіків на рис. 3–5.

Для вугілля, ближчого за стадіями метаморфізму (і відповідно за температурами займання), розбіжності між експериментальними і розрахунковими значеннями набагато менші, при цьому відсутні систематичні відхилення температури займання суміші в сторону значення, характерного для будь-якого з компонентів.

Рис. 3 Фактичні і розрахункові значення $t_{3в}$ суміші 1Рис. 4 Фактичні і розрахункові значення $t_{3в}$ суміші 2

На наступному етапі була більш детально вивчена бінарна суміш компонентів, що найбільш різко відрізняються за температурою займання – вугілля марок Г і ПС. Якісні характеристики даного вугілля наведені в табл. 5–7. Результати визначення температур займання цієї бінарної суміші, в якій варіювали вміст компонентів від 0 до 100 % (з кроком 10 %), наведені на рис. 6 і в табл. 8.

Рис. 5 Фактичні і розрахункові значення $t_{3в}$ суміші 3Рис. 6 Фактичні і розрахункові значення $t_{3в}$ суміші 4

Отримані результати повністю узгоджуються з отриманими раніше результатами визначення температур займання двокомпонентних сумішей (рис. 3–5).

Для вирішення питання про те, наскільки вагомими є встановлені нами відхилення, необхідні дані щодо дисперсії визначення показника температури займання.

В цьому сенсі скористалися результатами, отриманими в ДП «УХІН» при розробці ДСТУ 7611: 2014 «Вугілля кам'яне. Метод визначення окиснення і ступеня окиснення» [4]. У цьому документі збіжність результатів, отриманих при випробуванні однієї і тієї ж проби в одній лабораторії, оцінюється рівнем допустимих розбіжностей не більше 2 °С. Для визначення показника окиснення (Δt) необхідні значення двох температур займання (вихідного і відновленого вугілля), помилки визначення яких накопичуються в помилку визначення показника окиснення. Внаслідок цього в якості оцінки величини дисперсії σ показника температури займання правомірне взяти 1/2 від наведеного вище значення, а саме 1 °С. Відповідно до відомого правила сигм [5] нормально розподілена випадкова величина x з великою ймовірністю P приймає значення, близькі до свого математичного сподівання M , зокрема:

$$P\{-2\sigma \leq x - M \leq 2\sigma\} = 0,9545 \quad (3).$$

Таблиця 8

Температура займання вугілля і його сумішей

Суміш	Склад суміші, %		Температура займання, °С	
	ЦВФ «Добропільська», Україна, марка «Г»	Pocahontas, США, марка «ПС»	Факт, $t_{зв, сум, ф}$	Розрахунок, $t_{зв, сум, р}$
4	0	100	410,6	410,6
	10	90	401,6	406,3
	20	80	395,5	401,9
	30	70	388,8	397,6
	40	60	386,6	393,2
	50	50	380,8	388,9
	60	40	380,1	384,6
	70	30	375,6	380,2
	80	20	371,6	375,9
	90	10	368,5	371,5
100	0	367,2	367,2	

У той же час з даних табл. 6 видно, що відхилення значень, розрахованих за правилом адитивності, від фактичних систематично перевищують величину двох помилок визначення. Це свідчить про невідповідність таких відхилень. Їх значимість можна оцінити за критерієм Стюдента [6], відповідно до якого два вибірових

середніх i значимо відрізняються одне від одного, якщо виконується умова:

$$\frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sigma} > t_T \quad (4)$$

де t_T – табличне значення критерію Стюдента, залежне від рівня значущості і кількості ступенів свободи.

Таблиця 5

Технологічні властивості вугільних концентратів

Постачальник, країна	Марка	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм		Температура займання, °С
		A ^d	S ^d _t	V ^{daf}	x	y	$t_{зв}$
ЦВФ «Добропільська», Україна	Г	8,7	1,26	37,5	36	13	367,2
ЦВФ «Дуванська», Україна	Ж	8,1	1,26	32,1	12	21	379,5
ЗФ «Свято-Варваринська» (ПрАТ «Донецьксталь»), Україна	К	8,1	0,75	27,6	10	14	388,8
Pocahontas, США	ПС	7,1	0,82	17,7	2	12	410,6

З використанням цього критерію оцінили значимість відхилень від нуля різниць значень, розрахованих за правилом адитивності, від фактичних. Середнє значення, розраховане за даними табл. 8, становить 6,5 °С = 0. Табличне значення критерію Стюдента для рівня значущості 0,05 і кількості ступенів свободи $n = 8$ (на одиницю менше кількості дослідів на бінарних

сумішах) становить 2,31, тобто значно менше відношення різниці порівнюваних середніх до вибіркової дисперсії. Це з довірчою ймовірністю 95 % свідчить про значущість відхилень розрахункових і фактичних значень температури займання бінарних вугільних сумішей.

Таблиця 6

Петрографічні характеристики вугільних концентратів

Постачальник, країна	Марка	Петрографічний склад, %					Середній показник відбиття вітриніту, %	Стадії метаморфізму вітриніту, %						
								менше 0,50	0,50–0,79	0,80–0,89	0,90–1,19	1,20–1,49	1,50–1,69	1,70–2,59
								марки вугілля, що умовно відповідають стадіям метаморфізму вітриніту						
Vt	Sv	I	L	ΣOK	R _o									
ЦЗФ «Добропільська», Україна	Г	69	0	22	9	22	0,77	0	68	21	11	0	0	0
ЦЗФ «Дуванська», Україна	Ж	87	1	8	4	9	1,01	0	0	5	94	1	0	0
ЗФ «Свято-Варваринська» (ПрАТ «Донецьксталь»), Україна	К	87	0	10	3	10	1,20	0	0	0	51	48	1	0
Pocahontas, США	ПС	72	1	27	0	28	1,56	0	0	0	0	26	67	7

Таблиця 7

Елементний склад досліджених вугільних концентратів

Постачальник, країна	Марка	Елементний склад, %				
		C ^{daf}	H ^{daf}	N ^{daf}	S _t ^d	O _a ^{daf}
ЦВФ «Добропільська», Україна	Г	84,39	5,75	1,83	1,26	6,77
ЦВФ «Дуванська», Україна	Ж	86,09	5,54	1,84	1,26	5,27
ЗФ «Свято-Варваринська» (ПрАТ «Донецьксталь»), Україна	К	87,41	5,12	1,71	0,75	5,01
Pocahontas, США	ПС	90,23	4,64	1,24	0,82	3,07

Отримані експериментальні дані можуть бути, на нашу думку, пояснені з наступних позицій. На підставі загальноновизнаних уявлень [7] для початку процесу горіння необхідне підведення зовнішньої енергії. При цьому в сумішах в першу чергу займаються ті компоненти, для яких необхідно підвести мінімальну кількість енергії, тобто з меншою температурою займання. Кількості енергії, що виділяється при загорянні цих компонентів, з надлишком вистачає і для загорання більш важкозаймистого компонента, що і призводить до займання суміші в цілому.

Результати дослідження, на нашу думку, мають практичне значення. Зокрема, при спалюванні пилоподібного вугілля на електростанціях для забезпечення необхідних властивостей палива широко застосовують паливні суміші, наприклад 90 % антрациту і 10 % газового вугілля [8]. В якості пилувугільного палива в су-

часних доменних печах використовується суміш з 70 % пісного і 30 % газового вугілля [9]. При отриманні, зберіганні і використанні таких сумішей необхідно враховувати можливість зниження їх температури займання в порівнянні з розрахованою за правилом адитивності. Це дозволить не тільки досягти заданих технологічних параметрів, а й забезпечити вибухопожебезпеку роботи обладнання.

З урахуванням останніх тез становить науковий і практичний інтерес визначити фактичні значення температур займання вугільної суміші, до складу якої входять вугілля марки «Г» і антрацит (суміш 5), а також співставити їх з розрахунковими, отриманими за правилом адитивності.

Показники якості вугілля марки «Г» і антрациту наведені в табл. 9.

Таблиця 8

Технологічні властивості вугільних концентратів

Марка	Технічний аналіз, %			Петрографічний склад (без мінеральних домішок), %					Середній показник відбиття вігрініту, %	Температура займання, °С
	A ^d	S _t ^d	V ^{daf}	V _t	S _v	I	L	ΣOK	R _o	t _{зв}
Г	5,1	0,71	41,3	96	0	3	1	3	0,66	346,1
А	8,4	2,97	4,0	Не визначався					2,89	410,0

Внаслідок того, що верхня границя крупності пило-вугільного палива, що подається на котли ТЕС або фурми доменних печей, не повинна бути більше від 0,075 мм [10], додатково визначали температуру займання вугільних сумішей, подрібнених до змісту 100 % класу менше від 0,075 мм.

Результати визначення температур займання бінарної суміші вугілля марки «Г» і антрациту, в якій варію-

вали вміст компонентів від 0 до 100 % (з кроком 10 %), наведені на рис. 7 і в табл. 10.

Аналізуючи наведені табличний і графічний матеріали, можна зробити висновок, що температура займання суміші газового вугілля і антрациту знаходиться в такій самій залежності, як і для коксівного вугілля, а саме: фактичне значення температури займання суміші відхиляється в сторону вугілля з меншою температурою займання.

Таблиця 9

Температура займання вугілля і його сумішей

Суміш	Склад суміші, %		Температура займання, °С		
	вугілля марки «Г»	антрацит	факт, t _{зв, сум, ф}		розрахунок, t _{зв, сум, р}
			<0,2 мм	<0,075 мм	
5	0	100	410,0	410,0	410,0
	10	90	392,0	384,5	403,61
	20	80	381,6	377,5	403,61
	30	70	374,4	371,1	397,22
	40	60	371,6	365,2	390,83
	50	50	361,1	360,5	384,44
	60	40	353,7	357,7	378,05
	70	30	352,3	353,2	371,66
	80	20	350,0	349,2	365,27
	90	10	348,2	347,3	358,88
100	0	346,1	346,1	346,1	

Також необхідно відзначити, що внаслідок того, що додаткове подрібнення вугілля призводить до зростання його реакційної поверхні, значення фактичної температури займання суміші вугілля в подрібненні менше 0,075 мм ще сильніше відхиляються в сторону вугілля з меншою температурою займання, в порівнянні з подрібненням менш 0,2 мм.

З огляду на викладене, представляє науковий і практичний інтерес прогнозування температури займання суміші, в яку входить понад 2-х компонентів. Далі в роботі наведені результати дослідження щодо визначення температур займання вугільної суміші, що складається з 3-х і більше компонентів.

Для приготування дослідних вугільних сумішей використовували: високолеткий вугільний компонент зі зниженою температурою займання (ЦВФ «Добропільська», марка «Г»); низьколеткий вугільний компонент з підвищеною температурою займання (Росаhontas, марка «ПС»), а також суміш (50:50) вугілля середньої стадії метаморфізму (ЦВФ «Дуванська», марка «Ж») і ЗФ «Свято-Варваринська», марка «К»), що характеризується проміжними значеннями виходу летких речовин і температури займання.

Для побудови поліноміальної моделі користувались симплексно-решітчастим методом планування експерименту [6], що надійно зарекомендував себе для вирішення практичних завдань. Зокрема, даний метод

був успішно застосований для оптимізації сировинної бази Маріупольського коксохімічного заводу [11].

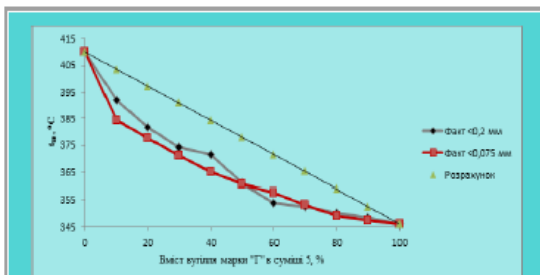


Рис. 6 Фактичні і розраховані значення $t_{зв}$ суміші 5

У табл. 5–7 наведені технологічні властивості, петрографічна характеристика та елементний склад використаного для приготування сумішей вугілля.

При використанні симплексно-решітчастого планування для побудови моделі другого ступеня (трикомпонентна суміш) ставиться шість дослідів. План цього експерименту наведено в табл. 11.

Перевагою плану, наведеного в табл. 11, є можливість не обмежуватися отриманням тільки лінійної моделі, а при необхідності за тими ж експериментальними даними побудувати модель другого порядку (наприклад, якщо лінійна модель виявиться неадекватною).

У табл. 12 наведені склади дослідних сумішей, а також їх фактичні та розрахункові температури займання. Розрахункові температури займання сумішей були отримані за правилом адитивності. Аналізуючи дані, наведені в табл. 12, можна підтвердити зроблений раніше висновок про те, що температура займання не є адитивним показником.

Таблиця 10

План експерименту для побудови квадратної моделі для трикомпонентної суміші

Дослід	Вміст компонентів			Відгук
	X_1	X_2	X_3	
1	1	0	0	Y_1
2	0	1	0	Y_2
3	0	0	1	Y_3
4	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	Y_{12}
5	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	Y_{13}
6	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	Y_{23}
7	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	Y_{123}

Для прогнозу температур займання трикомпонентних сумішей було розроблено рівняння (5), що дозволяє за даними процентної участі вугільних компонентів з мінімальним, проміжним і максимальним значенням температури займання, прогнозувати температуру займання всієї суміші:

$$t_{зв, сум.ф} = 41,054 \cdot x_1 + 40,8216 \cdot x_{12} + 40,5244 \cdot x_2 - 3699,65 \quad (5)$$

де x_1 – участь в суміші компонента з максимальною температурою займання, %; x_{12} – участь в суміші компонента з проміжною температурою займання, %; x_2 – участь в суміші компонента з мінімальною температурою займання, %.

Коефіцієнт детермінації отриманої залежності становить 91,0 %, а середнє квадратичне відхилення дорівнює 4,6 °С.

Цікавим є зіставити значення температур займання трикомпонентних сумішей різного компонентного складу, розрахованих за правилом адитивності і за рівнянням (5). З цією метою склали 21 варіант модельних трикомпонентних сумішей, до складу яких входили досліджене нами вугілля (табл. 5–7) в різному процентному співвідношенні з кроком в 20 %.

На рис. 7 наведена графічна залежність між значеннями температур займання модельних трикомпонентних сумішей, розрахованих за правилом адитивності і за рівнянням (2).

Таблиця 11

Значення температур займання складених трикомпонентних сумішей

Номер дослідження	Склад суміші, %			Температура займання, °C	
	ЦЗФ «Добропільська», Україна, марка «Г»	ЦЗФ «Дуванська», Україна, марка «Ж» + ЗФ «Свято-Варваринська», Україна, марка «К»	Pocahontas, США, марка «ПС»	факт, $t_{зв, сум, ф}$	розрахунок, $t_{зв, сум, р}$
1	100	0	0	367,2	367,2
2	0	100	0	383,4	383,4
3	0	0	100	410,6	410,6
4	50	50	0	372,2	376,8
5	50	0	50	375,9	388,9
6	0	50	50	392,8	398,5
7	33,3	33,3	33,3	379,6	388,1

Таблиця 12

Технологічні властивості вугільних концентратів

Постачальник, країна	Марка	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм		Температура займання, °C	Петрографічний склад (без мінеральних домішок), %					Середній показник відбиття вітриніту, %
		A ^d	S _t ^d	V ^{daf}	x	y		$t_{зе}$	Vt	Sv	I	L	
ЦЗФ «Щедрухінська», РФ	Г	9,0	0,42	39,4	31	10	363,3	82	0	16	2	16	0,61
ЦЗФ «Абашевська», РФ	Г+ГЖО	7,4	0,78	37,5	37	21	367,8	94	0	6	0	6	0,80
ЦЗФ «Самсонівська», Україна	Ж	8,7	2,49	31,2	38	18	381,6	89	0	9	2	9	1,02
Carter Roag, США	Ж	8,6	0,82	31,1	22	20	382,1	72	0	23	5	23	1,01
Wellmore, США	Ж	6,9	1,10	33,2	12	22	375,9	71	0	24	5	24	0,94
Oaky North, Австралія	КЖ	9,1	0,63	26,3	7	20	397,8	85	0	15	0	15	1,20
ЦЗФ «Донецьксталь», Україна	К	8,9	0,74	27,9	9	15	384,0	85	1	11	3	12	1,19
ЦЗФ «Самсонівська», Україна	К	9,0	1,65	27,1	9	21	389,8	94	0	5	1	5	1,23
Teck Premium, Канада	К	9,1	0,48	26,3	28	13	395,0	67	0	32	1	32	1,11
Pocahontas, США	ПС	9,0	0,78	18,0	12	11	408,0	72	0	28	0	28	1,51

Представлена графічна залежність описується рівнянням (6), коефіцієнт детермінації якого дорівнює 98,54 %:

$$t_{зв, сум, ф} = 1,2139 \cdot t_{зв, сум, ад} - 90,949, \quad (6)$$

де $t_{зв, сум, ф}$ – фактична температура займання трикомпонентної вугільної суміші, розрахована за рівнянням (5), °C; $t_{зв, сум, ад}$ – температура займання трикомпонентної

вугільної суміші, розрахована за правилом адитивності, °C.

Аналіз графічної (рис. 7) і математичної (рівняння 6) залежностей свідчить про те, що фактична температура займання трикомпонентних вугільних сумішей, як у випадку з двокомпонентними, відхиляється в бік вугілля з меншою температурою займання.

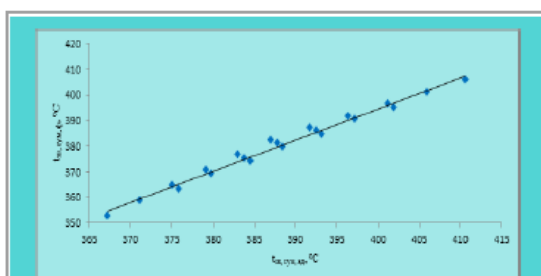


Рис. 7 Залежність між значеннями температур займання модельних трикомпонентних сумішей, розрахованих за правилом адитивності і за рівнянням (5)

На нашу думку, рівняння (6) можна використовувати при прогнозі температури займання багатокомпонентних сумішей за умови, що є відомими температури займання вугільних компонентів, котрі входять в досліджувані суміші.

Для перевірки висловленого припущення були складені 4 варіанти багатокомпонентних вугільних сумішей (табл. 12–14) з відомими значеннями температури займання вугілля, що входять до їх складу.

У табл. 15 наведені фактичні значення температур займання вугільних шихт, а також температури займання, розраховані за методом адитивності і за рівнянням (6).

Таблиця 13

Марочний і компонентний склад дослідних вугільних шихт

Постачальник, країна	Марка за ГОСТ 25543-88	Варіанти шихт			
		1	2	3	4
ЦЗФ «Щедрухінська», РФ	Г	18	18	15	15
ЦЗФ «Абашевська», РФ	Г+ГЖП	0	12	15	15
ЦЗФ «Самсонівська», Україна	Ж	0	0	0	15
Carter Roag, США	Ж	20	10	5	10
Wellmore, США	Ж	7	10	7	8
Oaky North, Австралія	КЖ	5	0	0	0
ЦЗФ «Донецьксталь», Україна	К	10	10	15	15
ЦЗФ «Самсонівська», Україна	К	6	6	10	10
Teck Premium, Канада	К	22	22	22	5
Rocahontas, США	ПС	12	12	11	7
Разом		100	100	100	100

Таблиця 14

Технологічні властивості дослідних вугільних шихт

Варіант шихти	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм		Температура займання, °C	Петрографічний склад (без мінеральних домішок), %					Середній показник відбиття вітриніту, %
	A ^d	S _t ^d	V ^{daf}	x	y		t _{3e}	Vt	Sv	I	L	
1	8,8	0,72	29,3	20	15	374,0	76	0	22	2	22	1,06
2	8,6	0,73	30,4	22	16	376,0	78	0	20	2	20	1,02
3	8,6	0,77	30,0	22	16	376,5	78	0	18	2	19	1,04
4	8,5	1,08	31,5	24	17	372,3	83	0	15	2	15	1,00

Фактичні і розраховані значення температур займання дослідних шихт

Варіант	Температура займання, $t_{зв}$, °С		
	факт	розрахунок за методом адитивності	розрахунок за (6)
1	374,0	385,7	377,3
2	376,0	383,0	374,0
3	376,5	383,4	374,5
4	372,3	380,1	370,5

Виходячи з наведених у табл. 15 даних можна стверджувати, що фактичні температури займання вугільних сумішей менші від їх середньозважених значень, розрахованих по адитивності, і досить близькі до значень, отриманими за рівнянням (6).

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони дозволяють прогнозувати температури займання реальних виробничих шихт коксохімічних підприємств, що містять в своєму складі принципово ті ж марки вугілля, які були використані нами при виконанні досліджень. Це має велике значення з точки зору як технології, так і пожежної безпеки.

На підставі виконаних досліджень можна сформулювати такі основні висновки:

1. Визначено температури займання бінарних, три- та багатоконпонентних вугільних сумішей, до складу яких входить вугілля різного ступеня метаморфізму в різному процентному співвідношенні.

2. Встановлено наявність систематичних відхилень фактичних значень температур займання сумішей від розрахованих за правилом адитивності в сторону вугілля з меншою температурою займання. Методами математичної статистики доведено, що ці відхилення носять значимий не випадковий характер.

3. Виявлено математичні залежності, що дозволяють за даними значень температур займання окремих компонентів прогнозувати величину температури займання їх суміші.

4. Висловлено припущення, що в сумішах, в першу чергу, займається компонент з меншою температурою займання, а енергія, котра виділилася при цьому, витрачається на загорання більш важкозаймистого компонента, що призводить до займання суміші в цілому.

Библиографический список

1. Мирошніченко Д.В. Температура возгорания углей. Сообщение 1. Связь с показателями состава, строения и свойств / Д.В. Мирошніченко, Ю.С. Каф-

тан, Н.А. Десна, В.Н. Назаров, Ю.В. Николайчук // Кокс и химия. – 2016. – № 8. – С. 2-8.

2. Веселовский В.С. Химическая природа горючих ископаемых / В.С. Веселовский. – М.: Издательство АН СССР. 1955. – 424 с.

3. Заиквара В.Г. Организация хранения коксующихся углей. ГНТИ литературы по черной и цветной металлургии / В.Г. Заиквара. – Харьков: 1959. – 254 с.

4. ДСТУ 7611:2014 Вугілля кам'яне. Метод визначення окиснення та ступеня окиснення. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2014. – 8 с.

5. Королюк В.С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – М.: Наука, 1985. – 640 с.

6. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.

7. Семенов Н.Н. Цепные реакции / Н.Н. Семенов – М.: Наука, 1986. – 535 с.

8. Филиппенко Ю.Н. Подготовка угольного топлива для пылевидного сжигания на тепловых электростанциях / Ю.Н. Филиппенко, П.Т. Скляр, Е.В. Харлова Е.В. / Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. Вип. 53 (94). – Днепропетровск: Нац. горн. ун-т, 2013. – С. 24-28.

9. Дроздник И.Д. Угли для коксования и пылеугольного топлива / И.Д. Дроздник, А.Г. Старовойт, В.Г. Гусак [и др.]. – Харьков: ИПЦ «Контраст», 2011. – 188 с.

10. Товаровский П.Г. Доменная плавка с вдуванием продуктов газификации углей / П.Г. Товаровский, А.Е. Меркулов. – К.: Наукова думка, 2016. – 222 с.

11. Kaftan Yu.S. Raw material base optimization in coke manufacture / Yu.S. Kaftan, M.S. Sheptovskij, E.V. Minenko, I.V. Shulga, Yu.V. Teleshev, V.I. Kindyakov, M.I. Babanskij, A.N. Albulov // Stal'. – 1997. – №. 5. – P. 2-6.

Рукопис надійшов до редакції 02.10.2017

IGNITION TEMPERATURE OF COAL. COAL BLENDS

© D.V. Miroshnichenko, Doctor of Technical Sciences, I.V. Shulga, PhD in technical sciences, Yu.S. Kaftan, PhD in technical sciences, N.A. Desna, PhD in technical sciences (SE "UKHIN"), Yu.V. Nicolaichuk (SHEI "DDPU")

The ignition temperatures has been determined of binary, three- and multicomponent coal blends, which consisted of a variable percentage of coals of different degrees of metamorphism.

It has been proved that the actual ignition temperatures of multicomponent coal blends do not correspond to those calculated according to the additivity rule, but are deflected towards the coal with a lower ignition temperature. Using the mathematical statistics it has been shown that these deviations are of a non-random nature.

A mathematical dependence has been revealed that allows one to predict the value of the ignition temperature of two-, three- and multicomponent coal blends by using the values of the ignition temperature of individual components.

It is suggested that the component with a lower ignition temperature ignites firstly in the coal blends. The energy released in this process is consumed to ignite the more hardly ignitable component, and this results in ignition of the blend as a whole.

Keywords: coal, coal blends, ignition temperature, additivity, fire- and explosion hazard.

ТЕМПЕРАТУРА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ УГЛЯ. УГОЛЬНЫЕ СМЕСИ

© Д.В. Мирошниченко, д.т.н., И.В. Шульга, к.т.н., Ю.С. Кафтан, к.т.н., Н.А. Десна, к.т.н. (ГП «УХИН»), Ю.В. Николаичук (ГВУЗ «ДГПУ»)

Определены температуры воспламенения бинарных, трех- и многокомпонентных угольных смесей, в состав которых входят угли различной степени метаморфизма с переменным процентным соотношением.

Установлено, что фактические значения температуры воспламенения многокомпонентных угольных смесей не соответствуют значениям, рассчитанным по аддитивности, а отклоняются в сторону угля с меньшей температурой воспламенения. Методами математической статистики показано, что эти отклонения носят значимый неслучайный характер.

Выявлена математическая зависимость, позволяющая по данным значений температур воспламенения отдельных компонентов прогнозировать величину температуры воспламенения в бинарных, трех- и многокомпонентных угольных смесях.

Высказано предположение, что в смесях, в первую очередь, воспламеняется компонент с меньшей температурой воспламенения, причем выделившаяся энергия расходуется на воспламенение более трудновоспламеняющегося компонента, что приводит к возгоранию смеси в целом.

Ключевые слова: уголь, многокомпонентные угольные смеси, температура воспламенения, аддитивность, пожаро- и взрывоопасность.