

© Є.С. Руднєв¹, В.А. Гальченко¹, Е.М. Філатьєва¹, М.І. Антощенко¹

¹ Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Северодонецьк, Україна

МАРКА ВУГІЛЛЯ - ЯК ПОКАЗНИК МЕТАМОРФІЗМУ ТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАХТОПЛАСТІВ

© Ye. Rudniev¹, V. Galchenko¹, E. Filatieva¹, M. Antoshchenko¹

¹ Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Sievierodonetsk, Ukraine

COAL GRADE AS AN INDICATOR OF METAMORPHISM AND HAZARDOUS PROPERTIES OF COAL SEAMS

Мета. Встановити точність відповідності марочної приналежності вугілля їх елементному складу органічної (горючої) маси.

Методикою дослідження передбачено використання офіційних даних щодо елементного складу горючої маси більш ніж для тисячі вугільних шахтопластів Донецького та Львівсько-Волинського басейнів. Ці відомості дозволили розробити статистичні моделі основних компонентів горючої маси вугілля для кожної марки та провести аналіз зміни меж розглянутих компонентів. По взаємному розташування цих меж робили висновки про точність визначення марочної приналежності вугілля за елементним складом їх горючої маси.

Результати дослідження. Вміст вуглецю функціонально контролює суму вмісту інших основних компонентів вугілля (водню, сірки, азоту та кисню), але це не стосується зміни вмісту окремих компонентів паливної маси під впливом метаморфічних перетворень шахтопластів. Вугілля однієї марки при однаковому вмісту вуглецю можуть мати різні властивості, що по різному може характеризувати як їх споживчі особливості, так і прояв небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт. Вміст кожного з основних компонентів горючої (органічної) маси по-різному відображає одну зі сторін зміни елементного складу, тому індивідуальний вміст вуглецю, кисню, водню та азоту належать до метаморфічних показників перетворення органічної маси. При прогнозуванні небезпечних властивостей шахтопластів додатково до них необхідно враховувати вміст сірки. Підвищений індивідуальний вміст кисню, водню, сірки або їх деяке поєднання можуть провокувати прояв однієї з небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт.

Наукова новизна. Вперше на основі статистичних моделей, виходячи із зміни середніх значень водню, азоту, кисню та їх нелінійних залежностей по мірі посилення ступеня метаморфізму (зростання вмісту вуглецю) доказана необхідність їх розглядати при прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів в якості показників ступеню метаморфічних перетворень. Вміст сірки не можна вважати критерієм оцінки ступеня метаморфічних перетворень, але вміст сірки впливає на зміну співвідношення між іншими основними компонентами органічної (горючої) маси і, крім того сірка сама по собі може провокувати прояв небезпечних властивостей шахтопластів.

Практичне значення. Результати досліджень дозволяють розробити пропозиції до вдосконалення нормативної бази в частині прогнозу небезпечних явищ, що виникають при веденні гірничих робіт.

Ключові слова: марка, вугілля, шахтопласти, метаморфізм, показник, визначення, похибка, властивості, безпека, гірничі роботи, нормативна база, удосконалення.

Вступ. Спочатку показник марочної приналежності вугілля було розроблено для встановлення їх споживчих властивостей з урахуванням ступеня метаморфічних перетворень шахтопластів. Він успішно застосовувався та застосовується у промислових класифікаціях по мірі їх удосконалення. Відповідно до загальноприйнятого визначення під метаморфізмом вугілля розуміється перетворення бурого вугілля послідовно на кам'яне вугілля та антрацит внаслідок зміни хімічного складу, структури та фізичних властивостей у надрах переважно під впливом температури та тиску. У свою чергу марка вугілля – це умовне позначення різновидів вугілля, близьких за генетичними ознаками та основними енергетичними та технологічними характеристиками [1].

По мірі вдосконалення промислових класифікацій змінювалась і кількість марок, що характеризують споживчі властивості вугілля. На початку їх кількість становила вісім – десять, а сучасною класифікацією передбачається градація всього викопного вугілля на 17 марок [2].

Всупереч класичному визначенню метаморфізму, що передбачає зміну складу та властивостей, у сучасній промисловій класифікації [2] не розглядаються показники, що характеризують елементний склад.

Показники ступеня метаморфічних перетворень шахтопластів у нормативній базі України щодо безпечного ведення гірничих робіт запозичені із промислових класифікацій. У цих нормативних документах також не розглядаються показники, які безпосередньо характеризують зміну співвідношення складових компонентів при геологічних процесах.

В обох випадках у нормативних документах, що розроблені та використувані для різних цілей, рівень метаморфічних перетворень характеризується марковою приналежністю вугілля.

Більшу частину вугілля становить їх органічна (горюча) маса. Основними її компонентами (до 97%) є вуглець, водень, азот, сірка та кисень. З цієї причини представляє практичний та науковий інтерес встановлення відповідності марок вугілля їх елементному складу та можливості з їх допомогою достовірно прогнозувати прояв небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт.

До небезпечних властивостей відносяться виділення легкозаймистих газів та їх вибуховість, раптові викиди вугілля та газу, виникнення самозаймання вугілля, вибуховість вугільного пилу та деякі інші негативні явища. У ряді випадків реалізація подібних явищ призводить до аварій із тяжкими наслідками для здоров'я та життя працюючих. Крім цього, вони викликають значні матеріальні збитки. Дослідження, пов'язані з безпечним веденням гірничих робіт та вдосконаленням відповідної нормативної бази, є дуже актуальними.

Мета роботи – встановити точність відповідності марочної приналежності вугілля їх елементному складу органічної (горючої) маси.

Ідея полягає у встановленні можливих меж зміни значень кожного з компонентів органічної (горючої) маси для конкретної марки вугілля. Це дозволить встановити фактичні межі зміни значень кожного з основних компонентів для конкретної марки. За співвідношенням діапазонів зміни компонентів кожної

марки вугілля можна встановити точність визначення її меж за елементним складом органічної (горючої) маси.

Методикою передбачено використання офіційних даних щодо елементного складу горючої маси більш ніж для тисячі вугільних шахтопластів Донецького та Львівсько-Волинського басейнів [3]. Ці відомості дозволили розробити статистичні моделі основних компонентів горючої маси вугілля для кожної марки та провести аналіз зміни меж розглянутих компонентів. По взаємному розташування цих меж робили висновки про точність визначення марочної приналежності вугілля за елементним складом їх горючої маси.

Основна частина. До складу органічних сполук, що утворюють основну речовину вугілля, входять вуглець, водень, кисень, азот та органічна сірка. Зазначені елементи становлять у сумі майже 100% їх органічної (горючої) маси [4]. Це підтверджено результатами систематизації середніх значень основних компонентів горючої маси (табл. 1). Марки вугілля розташували в порядку їх ранжирування по мірі посилення метаморфічних перетворень, що пов'язані з одностороннім збільшенням середнього вмісту вуглецю. Вміст вуглецю одна із основних показників ступеня метаморфізму і він функціонально контролює суму інших компонентів органічної (горючої) маси [5]. Підтвердженням цьому є графік обернено-пропорційної, практично функціональної залежності $\sum \bar{H}_Г, \bar{S}_Г, \bar{N}_Г, \bar{O}_Г = 100 - \bar{C}_Г$ (рис. 1, а). Зміна $\sum \bar{N}_Г, \bar{O}_Г$ (рис. 1, а) та $\bar{H}_Г$ (рис. 1, б) відбувається за нелінійними залежностями відповідно 2 та 3. Деяке зниження середніх значень сірки $\bar{S}_Г$ спостерігається при $\bar{C}_Г > 85\%$ (рис. 1, б). Середнє значення сірки (1,3%) для марок ЖГ значно нижча порівняно з іншими марками, що, можливо, обумовлено малою кількістю (10) розглянутих шахтопластів (табл. 1).

Таблиця 1

Відомості про середні значення основних компонентів горючої маси вугілля згідно [3]

№ з/п	Марка вугілля	Кількість шахтопластів	Середні значення компонентів паливної маси, %				Сума основних компонентів $\sum \bar{C}_Г, \bar{H}_Г, \bar{S}_Г, \bar{N}_Г, \bar{O}_Г, \%$	Сума компонентів, контрольованих вмістом вуглецю $\sum \bar{H}_Г, \bar{S}_Г, \bar{N}_Г, \bar{O}_Г = 100 - \bar{C}_Г, \%$
			вуглецю, $\bar{C}_Г$	водню, $\bar{H}_Г$	сірки, $\bar{S}_Г$	азоту та кисню, $\bar{N}_Г, \bar{O}_Г$		
1	Д	35	78,4	5,2	2,8	13,4	99,8	21,4
2	Г	221	81,3	5,3	3,0	10,4	100,0	18,7
3	ЖГ	10	83,6	5,3	1,3	9,8	100,0	16,4
4	ГЖ	15	84,2	5,5	3,3	7,0	100,0	15,8
5	Ж	206	85,9	5,2	3,2	5,7	100,0	14,1
6	К	137	88,2	4,8	2,7	4,2	99,9	11,7
7	ОС	98	89,4	4,4	2,5	3,7	100,0	10,6
8	Т	103	90,5	3,9	2,5	3,1	100,0	9,5
9	ПА	84	92,1	3,2	1,9	2,8	100,0	7,9
10	А	185	94,4	1,7	1,9	2,0	100,0	5,6

Враховуючи, що конкретному вмісту вуглецю суворо відповідає сума інших компонентів, зниження вмісту сірки для марок ЖГ (рис. 1, б) викликало відхилення вмісту $\sum \bar{N}_Г, \bar{O}_Г$ від усереднюючої кривої (2) у бік збільшення (рис. 1, а). Однак це не позначилося на величині відхилення вмісту $\bar{H}_Г$ для марок ЖГ від усереднюючої кривої 3 (рис. 1, б), а також $\sum \bar{H}_Г, \bar{S}_Г, \bar{N}_Г, \bar{O}_Г$ від прямої 1 (рис. 1, а). Наведений приклад показує, що вугілля однієї марки можуть відрізнятися між собою різним індивідуальним співвідношенням компонентів $\bar{H}_Г, \bar{S}_Г, \bar{N}_Г$ і $\bar{O}_Г$ при однаковому значенні їх вмісту суми, що відповідає конкретному значенню вмісту вуглецю. В наслідок цього вугілля однієї марки при однаковому вмісту вуглецю можуть мати різні властивості, що по-різному може характеризувати як їх споживчі особливості, так і прояв небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт.

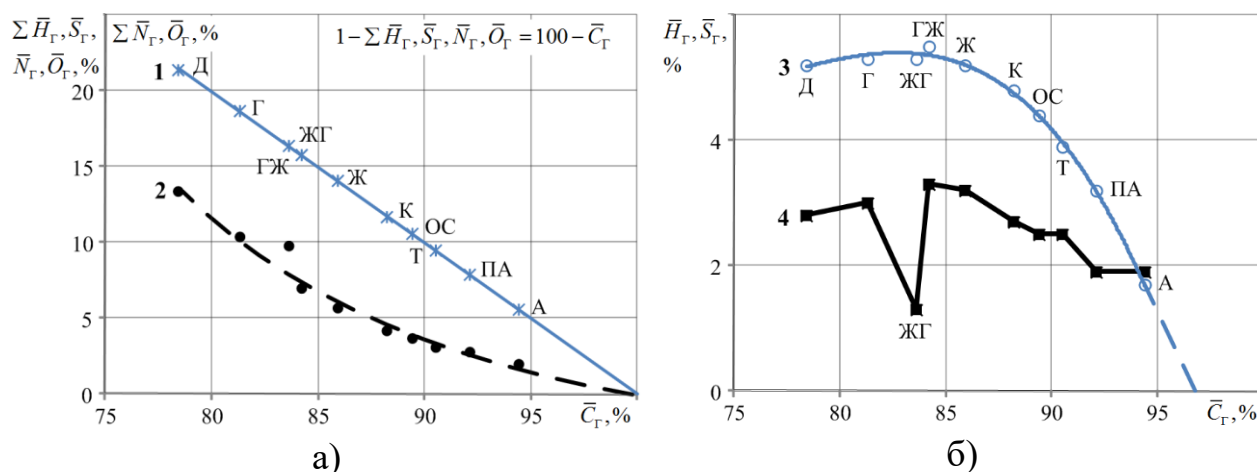


Рис. 1. Залежність основних компонентів паливної маси вугілля від вмісту вуглецю: 1 – обернено пропорційна залежність $\sum \bar{H}_Г, \bar{S}_Г, \bar{N}_Г, \bar{O}_Г = 100 - \bar{C}_Г$; 2, 3 – нелінійні залежності відповідно $\sum \bar{N}_Г, \bar{O}_Г$ та $\bar{H}_Г$ від $\bar{C}_Г$; 4 – зміна вмісту сірки $\bar{S}_Г$ від $\bar{C}_Г$; $\times, \bullet, \circ, \blacksquare$ – усереднені значення експериментальних даних згідно [3]; Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, Т, ПА, А – марки вугілля

Слід зазначити, що середнє значення вуглецю (\bar{C}) однозначно визначає напрямок посилення метаморфічних перетворень від вугілля марок Д до антрацитів (табл. 1, рис. 1). При цьому середній вміст вуглецю (\bar{C}) зростає від 78,4 % у вугілля марок Д до 94,4% у антрацитів. Разом з цим відсутні чіткі межі між марками за вмістом вуглецю. У всіх випадках марки поділяються між собою загальними інтервалами вмісту вуглецю, які визначаються різницею:

$$\Delta C_{n+1} = C_{\max}^n - C_{\min}^{n+1}, \% \quad (1)$$

де C_{\max}^n – максимальний вміст вуглецю для марки, що знаходиться в ряду ранжирування за ступенем метаморфічних перетворень (значення \bar{C}) на n -му місці

(табл. 1), %; C_{\min}^{n+1} – мінімальний вміст вуглецю для марки, що у ряду ранжирування за показником \bar{C} знаходиться на $n+1$ місці, %.

Відношення ΔC_{n+1} до розмаху значень вмісту вуглецю R_C для конкретної марки визначає загальну частину діапазону зміни вмісту вуглецю між сусідніми марками. У всіх випадках така "загальна" смуга між сусідніми марками становить не менше 0,4 частки від загального діапазону зміни вмісту вуглецю для конкретної марки. В одному випадку для марки ЖГ відхилення

$$\frac{\Delta C_{n+1}}{R_C} \left(\frac{\Delta E_{n+1}}{R_E} \right)$$

склало 1,93 (табл. 2), що вказує на знаходження цієї марки за вмістом вуглецю повністю в загальному інтервалі між іншими марками.

Така ситуація свідчить, що вміст вуглецю не може однозначно розмежовувати вугілля за їхніми марками, а тим більше щодо прояву небезпечних властивостей шахтопластів. Це наочно підтверджується гістограмами розподілу шахтопластів (рис. 2, а) та відповідними кривими нормального розподілу (рис. 2, б). Для більшості марок, виходячи із співвідношення значень критерію Пірсона та вибірок для цих марок, розподіл шахтопластів за вмістом вуглецю можна вважати близьким до нормального.

Кожна марка вугілля, крім вмісту вуглецю, характеризується іншими компонентами органічної (горючої) маси. Виходячи із зміни середніх значень $\Sigma \bar{N}_Г, \bar{O}_Г$ та $\bar{H}_Г$ (див. рис. 1) та нелінійних залежностей (2, 3) по міру посилення ступеня метаморфізму (зростання \bar{C}), їх також слід вважати показниками ступеня метаморфічних перетворень вугілля.

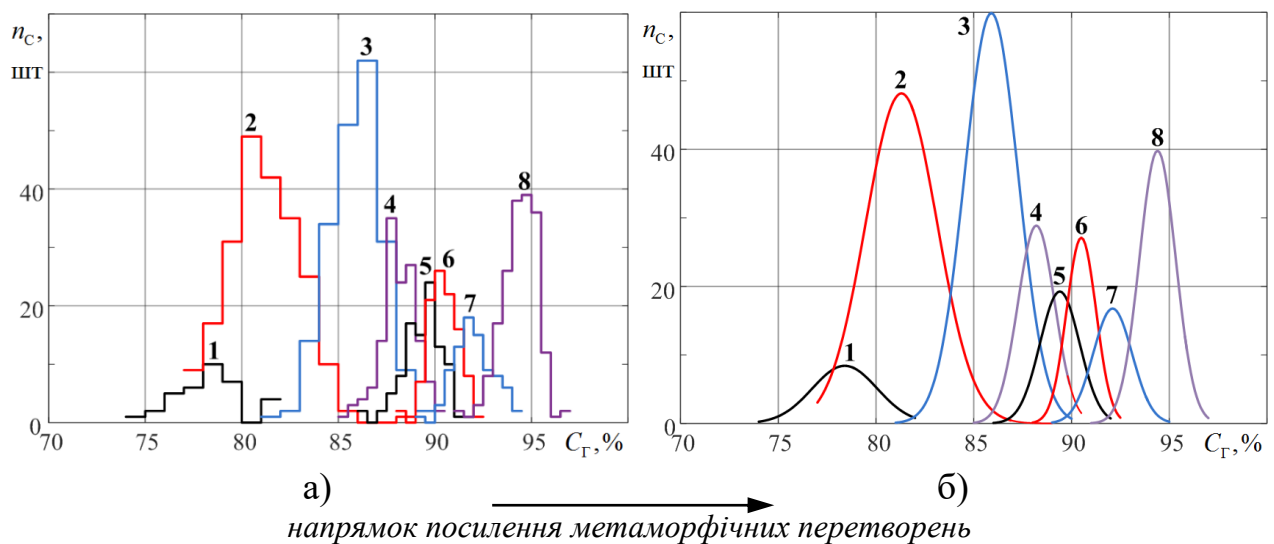


Рис. 2. Гістограми розподілу шахтопластів з вугіллям різних марок за вмістом вуглецю в горючій масі (а) та відповідні їм криві нормального розподілу (б) згідно з даними [3]. 1,2,3,4,5,6,7,8 – гістограми та криві нормального розподілу шахтопластів за вмістом вуглецю в горючій масі відповідно для марок Д, Г, Ж, К, ОС, Т, ПА, А

Кожен із цих показників по-різному відображає одну зі сторін зміни елементного складу горючої маси. Середнє значення вмісту водню (\bar{H}_r) від 5,2÷5,5% у вугіллі марок Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж знижується до 1,7% в антрацитових пластах. Скорочення ж $\sum \bar{N}_r, \bar{O}_r$ відбувається плавно від 13,4% у вугіллі марок Д, до 2,0% в антрацитах. Зменшення вмісту сірки \bar{S}_r з посиленням метаморфічних перетворень несуттєве. Для вугілля марок Д $\bar{S} = 2,8\%$, а антрацитів – 1,9% (табл.2).

Таблиця 2

Статистичні моделі марок вугілля для шахтопластів згідно з вихідними даними про елементний склад горючої маси [3]

№ з/п	Марка	Обсяг вибірки	Відомості про елементний склад горючої маси шахтопластів							Марки, що відповідають одному значенню показника
			вміст, %			Розмах, $R_E, \%$	$\Delta E_{n+1} = E_{\max}^n - E_{\min}^{n+1}, \%$	$\frac{\Delta E_{n+1}}{R_E}$, долі		
			E_{\min}^*	E_{\max}^*	\bar{E}^*					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
вуглецю, C										
1	Д	35	75,0	81,8	78,4	6,8	3,0**	0,44	Г, Ж	
2	Г	221	77,1	88,9	81,3	11,8	4,7	0,40	Д, Ж, К, ОС, Т	
3	ЖГ	10	81,2	85,2	83,6	4,0	7,7	1,93	Д, Г, ГЖ, Ж	
4	ГЖ	15	83,0	85,5	84,2	2,5	2,2	0,88	Г, ЖГ, Ж, К	
5	Ж	206	81,6	89,5	85,9	8,1	3,9	0,48	Д, Г, ЖГ, ГЖ, К, ОС, Т, ПА	
6	К	137	85,3	90,4	88,2	5,1	4,2	0,82	Г, ГЖ, Ж, ОС, Т, ПА	
7	ОС	98	86,1	91,6	89,4	5,5	4,3	0,78	ЖГ, ГЖ, Ж, К	
8	Т	103	88,2	92,2	90,5	4,0	3,4	0,85	Г, ЖГ, ГЖ, ПА, А	
9	ПА	84	89,4	94,2	92,1	4,8	2,8	0,58	Ж, К, ОС, Т, А	
10	А	185	91,4	96,9	94,4	5,5	2,8	0,51	ОС, Т, ПА	
водню, H										
1	Д	35	4,3	5,6	5,2	1,3	–	–	Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, Т	
2	Г	221	4,5	5,8	5,3	1,3	1,1	0,85	Д, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, Т	
3	ЖГ	10	5,0	5,5	5,3	0,5	0,8	1,60	Д, Г, ГЖ, Ж, К, ОС	
4	ГЖ	15	5,0	5,9	5,5	0,9	0,5	0,56	Д, Г, ЖГ, Ж, К, ОС	
5	Ж	206	3,8	5,7	5,2	1,9	2,1	1,11	Д, Г, ЖГ, ГЖ, К, ОС, Т, ПА	
6	К	137	4,2	5,3	4,8	1,1	1,3	1,18	Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, ОС, Т	
7	ОС	98	3,7	5,0	4,4	1,3	1,6	1,23	Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, Т, ОС, ПА	
8	Т	103	3,2	4,6	3,9	1,4	1,8	1,29	Д, Г, Ж, К, ОС, ПА, А	
9	ПА	84	2,3	4,0	3,2	1,7	2,3	1,35	Ж, ОС, Т, А	
10	А	185	1,2	3,2	1,7	2,0	2,8	1,40	Т, ПА	
сірки, S										
1	Д	35	1,0	5,1	2,8	4,1	–	–	Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, Т, ПА, А	

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Г	221	0,7	6,0	3,0	5,3	4,4	0,83	Д, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, Т, ПА, А
3	ЖГ	10	1,0	1,7	1,3	0,7	5,0	7,14	Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, Т, ПА, А
4	ГЖ	15	2,0	6,1	3,3	4,1	-0,3	-0,07	Д, Г, ЖГ, Ж, К, ОС, Т, ПА, А
5	Ж	206	0,7	6,3	3,2	5,6	5,4	0,96	Д, Г, ЖГ, ГЖ, К, ОС, Т, ПА, А
6	К	137	0,6	6,0	2,7	5,4	5,7	1,06	Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, ОС, Т, ПА, А
7	ОС	98	0,6	6,2	2,5	5,6	5,4	0,96	Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, Т, ПА, А
8	Т	103	0,7	4,8	2,5	4,1	5,5	1,34	Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, ПА, А
9	ПА	84	0,8	4,2	1,9	3,4	4,0	1,18	Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, Т, А
10	А	185	0,8	4,2	1,9	3,4	3,4	1,00	Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, Т, ПА
азоту та кисню $N+O$									
1	Д	35	4,2	16,4	13,4	12,2	–	–	Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, Т, ПА, А
2	Г	221	3,8	14,2	10,4	10,4	12,6	1,21	Д, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, Т, ПА, А
3	ЖГ	10	8,2	12,1	9,8	3,9	6,0	1,54	Д, Г, ГЖ, Ж
4	ГЖ	15	5,1	8,7	7,0	3,6	7,0	1,94	Д, Г, ЖГ, Г, Ж, К, ОС
5	Ж	206	2,3	10,2	5,7	7,9	6,4	0,81	Д, Г, ЖГ, ГЖ, К, ОС, Т, ПА, А
6	К	137	1,8	6,1	4,2	4,3	8,4	1,95	Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, Т, ПА, А
7	ОС	98	1,4	5,9	3,7	4,5	4,7	1,04	Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, Т, ПА, А
8	Т	103	1,5	5,0	3,1	3,5	4,4	1,26	Д, Г, Ж, К, ОС, ПА, А
9	ПА	84	1,5	4,2	2,8	2,7	3,5	1,30	Г, Ж, К, ОС, Т, А
10	А	185	0,3	4,4	2,0	4,1	3,9	0,95	Г, Ж, К, ОС, Т, ПА

Примітка: * E_{\min} , E_{\max} , \bar{E} - умовне позначення кожного з основних компонентів (E) та його вміст відповідно до мінімального, максимального і середнього значення; ** - в один діапазон зміни вмісту вуглецю для марок Д потрапляє буре вугілля при $C''_{\max} = 78,0\%$.

Різний характер зміни середніх значень основних показників (рис.1) і різне співвідношення між діапазонами основних компонентів (рис.3), очевидно, по-різному повинні характеризувати як споживчі властивості вугілля за марковою їх приналежністю, так і прояв небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт.

За вмістом водню в одну сукупність з конкретною маркою вугілля потрапляють шахтопласти з вугіллям інших марок. Аналогічна ситуація спостерігається за показником $\Sigma N_{\Gamma}, O_{\Gamma}$. Можливість однакового вмісту сірки характерно для всіх розглянутих марок вугілля (табл.2), цей показник очевидно, з цієї причини не можна вважати критерієм оцінки ступеня метаморфічних перетворень вугілля. З іншого боку, присутність сірки впливає на зміну співвідношення між іншими основними компонентами органічної (горючої) маси і, крім цього, вміст сірки сам по собі може провокувати прояв небезпечних властивостей шахтопластів. Наприклад, підвищений її вміст сприяє виникненню самозаймання вугілля [5]. До цього часу вплив окремих основних компонентів горючої (органічної) маси вугілля на прояв небезпечних властивостей шахтопластів практично не вивчався. Кожен із основних компонентів горючої маси ($H_{\Gamma}, S_{\Gamma}, O_{\Gamma}$) може провокувати (сприяти) прояв будь-якої небезпечної властивості шахтопласту.

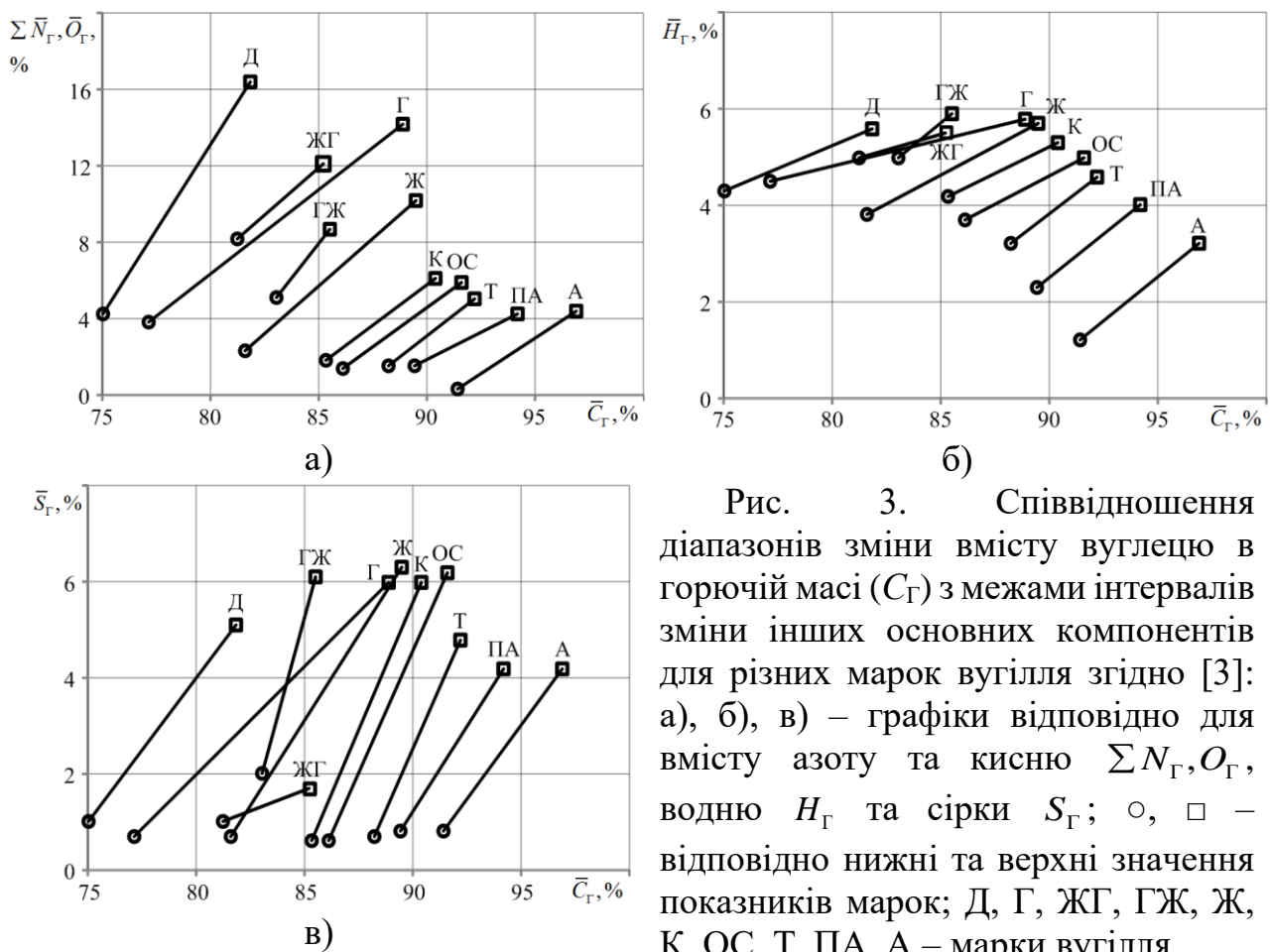


Рис. 3. Співвідношення діапазонів зміни вмісту вуглецю в горючій масі (C_{Γ}) з межами інтервалів зміни інших основних компонентів для різних марок вугілля згідно [3]: а), б), в) – графіки відповідно для вмісту азоту та кисню $\Sigma N_{\Gamma}, O_{\Gamma}$, водню H_{Γ} та сірки S_{Γ} ; \circ , \square – відповідно нижні та верхні значення показників марок; Д, Г, ЖГ, ГЖ, Ж, К, ОС, Т, ПА, А – марки вугілля

За вмістом водню для більшості шахтопластів з вугіллям марок Д, Г та Ж такі властивості встановити практично неможливо. В цьому випадку вугілля трьох марок характеризується, по суті, однаковим середнім вмістом водню 5,2-5,3% (табл. 2, рис. 4). Тенденція до послідовного скорочення середнього вмісту водню, по мірі посилення метаморфічних перетворень, спостерігається для ма-

рок К, ОС, Т, ПА, А. Для цих марок вміст водню може бути додатковим критерієм оцінки небезпечних властивостей шахтопластів. Особливо низький вміст водню притаманно більшості антрацитових шахтопластів (рис. 4). Згідно з марками К, ОС, Т, ПА виділити будь-які небезпечні властивості шахтопластів неможливо, оскільки за вмістом водню вони здебільшого перебувають у одних інтервалах.

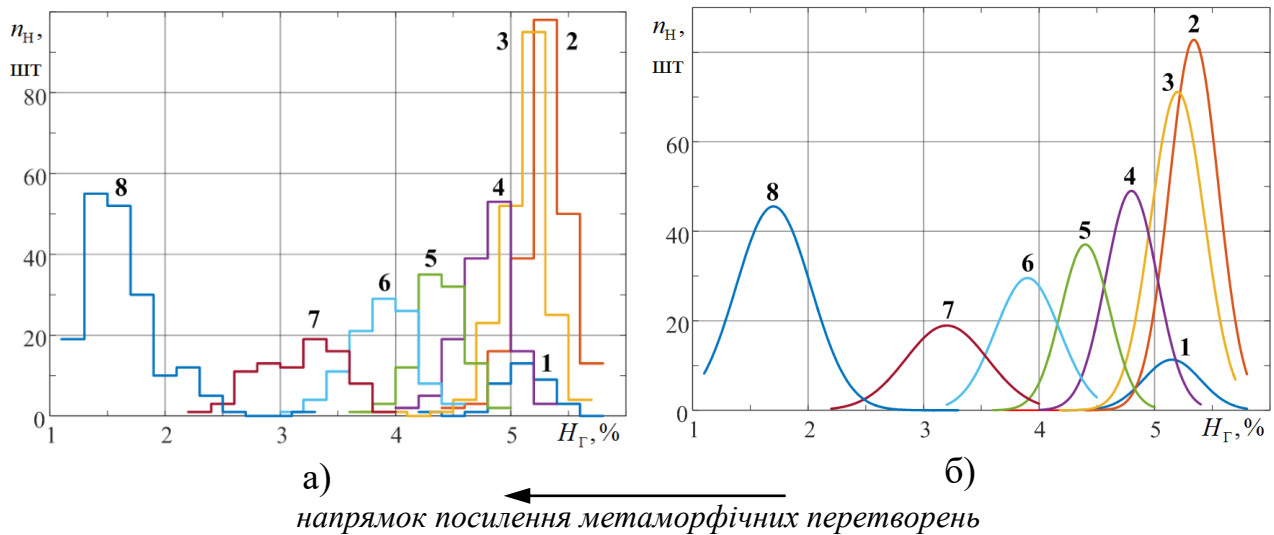


Рис. 4. Гістограми розподілу шахтопластів з вугіллям різних марок за вмістом водню в горючій масі (а) та відповідні їм криві нормального розподілу (б) згідно з даними [3]. 1,2,3,4,5,6,7,8 - гістограми та криві нормального розподілу шахтопластів за вмістом водню в горючій масі відповідно для марок Д, Г, Ж, К, ОС, Т, ПА, А

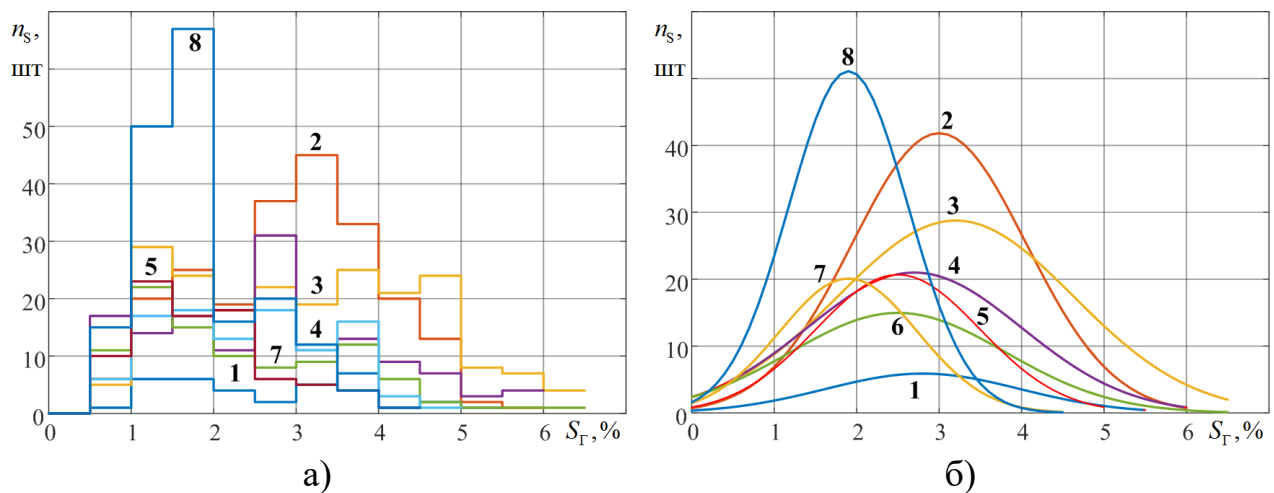


Рис. 5. Гістограми розподілу шахтопластів з вугіллям різних марок за вмістом сірки в горючій масі (а) та відповідні їм криві нормального розподілу (б) згідно з даними [3]. 1,2,3,4,5,6,7,8 – гістограми та криві нормального розподілу шахтопластів за вмістом сірки в горючій масі відповідно для марок Д, Г, Ж, К, ОС, Т, ПА, А

Вміст сірки в горючій (органічній) масі вугілля всіх марок не підпорядковується будь-якій тенденції до закономірної її зміни. Для більшості марок середній вміст сірки знаходиться в діапазоні 2,5-3,2%, а у напівантрацитів та антрацитів вона знижується до 1,9% (табл. 2). Гістограми розподілу шахтопластів за марками вугілля та криві нормального розподілу (рис. 5) не дозволяють встановити навіть напрямок можливого посилення метаморфічних перетворень шахтопластів за показником вмісту сірки. Це вказує на те, що при визначенні небезпечних властивостей необхідно враховувати кількісну присутність сірки у вугіллі кожного шахтопласту, а не використовувати для цього марки вугілля.

Кисень є найбільш хімічно активним елементом, а азот відноситься до найбільш пасивних. З цієї причини маючи експериментальні значення сумарного вмісту в горючій (органічній) масі, зміни їх суми по мірі посилення метаморфічних перетворень можна віднести, в основному, за рахунок скорочення кисню (рис. 6).

Скорочення кисню, як і збільшення вмісту вуглецю (рис. 1), в односторонньому порядку характеризує посилення метаморфічних перетворень шахтопластів. Проте, самотійно, без допоміжних критеріїв цей показник не може достовірно характеризувати небезпечні властивості шахтопластів. Причиною цього є можливість однакового вмісту кисню для вугілля кількох марок (рис. 6). Спостерігається істотне скорочення середнього вмісту кисню під час переходу від марок Д до Г, а потім до Ж. Гістограми розподілу шахтопластів та криві їх нормального розподілу для марок К, ОС, Т, ПА характеризуються близькими кривими, що вказує на високу ймовірність однакового вмісту кисню у вугіллі цих чотирьох марок.

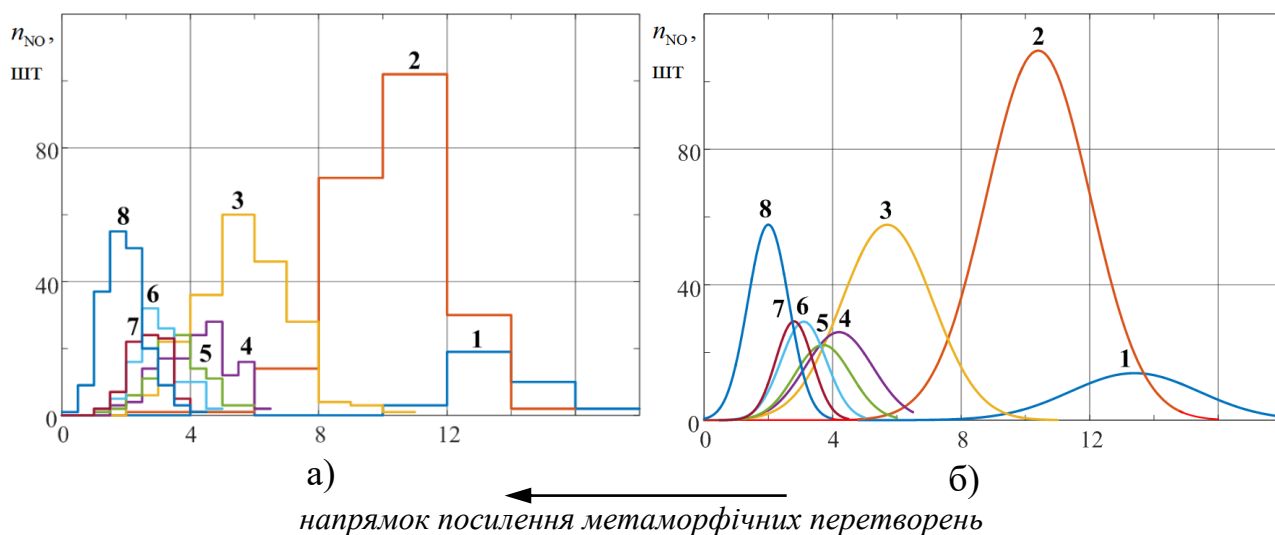


Рис. 6. Гістограми розподілу шахтопластів з вугіллям різних марок за сумарним вмістом азоту та кисню в горючій масі (а) та відповідні їм криві нормального розподілу (б) згідно з даними [3]. 1,2,3,4,5,6,7,8 – гістограми та криві нормального розподілу шахтопластів за сумарним вмістом азоту та кисню в горючій масі відповідно для марок Д, Г, Ж, К, ОС, Т, ПА, А

Висновки. Проведені дослідження показали, що жоден з основних компонентів горючої (органічної) маси не може самостійно і достовірно характеризувати умови прояву небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт. Це підтверджується результатами аналізу статистичних моделей основних компонентів горючої (органічної) маси вугілля різних марок. Між окремими марками відсутні чіткі межі за вмістом будь-якого з основних компонентів органічної (горючої) маси, що унеможлиблює практичне використання показника маркової приналежності вугілля для достовірного прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів.

Для вдосконалення нормативної бази безпечного відпрацювання вугільних шахтопластів необхідно враховувати отримані результати та зроблені висновки:

– вугілля однієї марки може суттєво відрізнятися між собою різним індивідуальним співвідношенням основних компонентів горючої (органічної) маси при однаковому значенні їх загальної суми, що відповідає конкретному вмісту вуглецю. Така ситуація виключає можливість використання маркової приналежності вугілля для достовірного прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів;

– посиленню метаморфічних перетворень відповідає одностороннє збільшення вмісту вуглецю та зниження суми інших основних компонентів горючої (органічної) маси. Така закономірність односторонньої зміни з посиленням метаморфічних перетворень не відноситься до індивідуального вмісту сірки у вугіллі конкретного шахтопласту, що може призводити до різних наслідків прояву небезпечних властивостей при однаковому вмісті вуглецю та суми інших компонентів;

– вміст кожного з основних компонентів горючої (органічної) маси по-різному відображає одну зі сторін зміни елементного складу, тому індивідуальний вміст вуглецю, кисню, водню та азоту належать до метаморфічних показників перетворення органічної маси. При прогнозуванні небезпечних властивостей шахтопластів додатково до них необхідно враховувати вміст сірки;

– підвищений індивідуальний вміст кисню, водню, сірки або їх деяке поєднання можуть провокувати прояв однієї з небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт.

Перелік посилань

1. ГОСТ 17070-2014. Межгосударственный стандарт. Угли. Термины и определения Издание официальное. (2015). Москва: Стандартинформ.
2. ГОСТ 25543-2013. Межгосударственный стандарт. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. Издание официальное. (2014). Москва: Стандартинформ.
3. Справочник по качеству каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов. Донецкий научно-исследовательский угольный институт. (1972). Москва: Недра.
4. Августевич, И.В., Сидорук, Е.И., & Броневец, Т.М. (2019). Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. Москва: «Реклама мастер».
5. Tarasov, V., Antoshchenko, M., Rudniev, Ye., & Galchenko A. (2020). Forecasting propensity method of mine layers to endogenous fire hazard by metamorphic signs of coals transformation. *Österreichisches Multiscience Journal*, 67-74.

АННОТАЦИЯ

Цель. Установить точность соответствия марочной принадлежности углей их элементному составу органической (горючей) массы.

Методикой исследования предусмотрено использование официальных данных по элементному составу горючей массы более тысячи угольных шахтопластов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов. Эти сведения позволили разработать статистические модели основных компонентов горючей массы угля для каждой марки и провести анализ изменения границ рассматриваемых компонентов. По взаимному расположению этих границ делали выводы о точности определения марочной принадлежности угля по элементному составу их горючей массы.

Результаты исследований. Содержание углерода функционально контролирует сумму содержания других основных компонентов угля (водорода, серы, азота и кислорода), но это не касается изменения содержания отдельных компонентов горючей массы под влиянием метаморфических преобразований шахтопластов. Угли одной марки при одинаковом содержании углерода могут иметь разные свойства, что по-разному может характеризовать как их потребительские особенности, так и проявление опасных свойств шахтопластов при ведении горных работ. Содержание каждого из основных компонентов горючей (органической) массы по-разному отражает одну из сторон изменения элементного состава, поэтому индивидуальное содержание углерода, кислорода, водорода и азота относятся к метаморфическим показателям преобразования органической массы. При прогнозировании опасных свойств шахтопластов дополнительно к ним необходимо учитывать содержание серы. Повышенное индивидуальное содержание кислорода, водорода, серы или их некоторое сочетание могут провоцировать проявление одного из опасных свойств шахтопластов при ведении горных работ.

Научная новизна. Впервые на основе статистических моделей исходя из изменения средних значений водорода, азота, кислорода и их нелинейных зависимостей по мере усиления степени метаморфизма (рост содержания углерода) доказана необходимость их рассматривать при прогнозе опасных свойств шахтопластов в качестве показателей степени метаморфических преобразований. Содержание серы нельзя считать критерием оценки степени метаморфических преобразований, но содержание серы влияет на изменение соотношения между другими основными компонентами органической (горючей) массы и, кроме того, сера сама по себе может провоцировать проявление опасных свойств шахтопластов.

Практическое значение. Результаты исследований позволяют разработать предложения по совершенствованию нормативной базы в части прогноза опасных явлений, возникающих при ведении горных работ.

Ключевые слова: марка, уголь, шахтопласты, метаморфизм, показатель, определение, погрешность, свойства, опасность, горные работы, нормативная база, совершенствование.

ABSTRACT

Purpose. To establish the accuracy of the correspondence between the grade identity of coals and their elemental composition of the organic (combustible) mass.

Methodology. The research methodology provides for the use of official data on the elemental composition of the combustible mass of more than a thousand coal seams of the Donetsk and Lvov-Volyn basins. This information made it possible to develop statistical models of the main components of the

combustible mass of coal for each grade and to analyze the changes in the boundaries of the considered components. Based on the relative position of these boundaries, conclusions were drawn about the accuracy of determining the grade of coal by the elemental composition of their combustible mass.

Findings. The carbon content functionally controls the sum of the content of other main components of coal (hydrogen, sulfur, nitrogen and oxygen), but this does not apply to changes in the content of individual components of the combustible mass under the influence of metamorphic transformations of coal mines. Coals of the same grade with the same carbon content can have different properties, which in different ways can characterize both their consumer characteristics and the manifestation of the hazardous properties of coal seams during mining. The content of each of the main components of the combustible (organic) mass in different ways reflects one of the sides of the change in the elemental composition, therefore, the individual content of carbon, oxygen, hydrogen and nitrogen refers to the metamorphic indicators of the transformation of organic matter. When predicting the hazardous properties of coal seams, in addition to them, it is necessary to take into account the sulfur content. An increased individual content of oxygen, hydrogen, sulfur, or some combination of them, can provoke the manifestation of one of the dangerous properties of coal seams during mining operations.

Originality. For the first time, on the basis of statistical models based on the change in the average values of hydrogen, nitrogen, oxygen and their nonlinear dependences as the degree of metamorphism increases (increase in carbon content), it is proved that they should be considered when predicting the hazardous properties of coal seams as indicators of the degree of metamorphic transformations. The sulfur content cannot be considered a criterion for assessing the degree of metamorphic transformations, but the sulfur content affects the change in the ratio between other main components of the organic (combustible) mass and, in addition, sulfur itself can provoke the manifestation of the hazardous properties of coal seams.

Practical implications. The research results make it possible to develop proposals for improving the regulatory framework in terms of forecasting hazardous phenomena that arise during mining operations.

Keywords: *grade, coal, coal seams, metamorphism, indicator, definition, error, properties, hazard, mining, regulatory framework, improvement.*