

Руднев Є.С., Антощенко М.І., Філатьєва Е.М., Романченко Ю.А.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПОКАЗНИКІВ СТУПЕНЯ МЕТАМОРФІЗМУ ВУГІЛЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАХТОПЛАСТІВ

Розглянуто залежність прояви будь якої небезпечної властивості вугільних шахтопластів при веденні гірничих робіт від впливаючих факторів трьох блоків. У загальному випадку до найбільш небезпечних властивостей вугільних пластів відносяться виділення вибухових та легкозаймистих газів, раптові викиди вугілля і газу, схильність до самозаймання і виникнення ендегенних пожеж, підвищене пилоутворення, вибуховість вугільного пилу та інші негативні явища. Для запобігання виникнення аварійних ситуацій при веденні гірничих робіт необхідно в комплексі враховувати вплив факторів всіх трьох блоків.

Фактори першого блоку визначають генетичну схильність шахтопластів до появи небезпечних властивостей під впливом геологічних процесів і метаморфічного перетворення вихідної речовини. До факторів другого блоку належить гірничо-геологічні умови залягання вугільних шахтопластів. На підставі даних про параметри перших двох блоків на стадіях проектування і експлуатації вугільного підприємства закладаються гірничотехнічні показники третього блоку чинників.

На відміну від гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов другого блоку найменш вивченими і не завжди достовірно встановленими є чинники першого блоку. Вони повинні визначати під впливом метаморфізму зміни хімічного складу, структури і фізичних властивостей вугілля в надрах Землі, переважно під впливом підвищеної температури та тиску.

На даний час відомо більш тридцяти факторів, які з різних боків характеризують метаморфічні перетворення вихідної речовини. Склалася практика коли у нормативних документах для характеристики ступеня метаморфічних перетворень пластів в переважній більшості випадків використовується один показник - вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря. Один показник не може одночасно і з усіх боків характеризувати вміст, структуру, хімічні і фізико-механічні властивості органічної маси вугілля і мінеральних домішок. Необхідно виходити з положення, що кожна небезпечна властивість шахтопласта залежить від певного впливу декількох чинників метаморфізму.

Дослідження показали, що вміст вуглецю та показник відбиття вітриніту в ряду ранжирування вугілля по їх ступеню метаморфічних перетворень мають достовірне кількісне визначення, що дозволяє використовувати їх при встановленні небезпечних властивостей шахтопластів в якості основних класифікаційних показників. В цьому випадку вміст вуглецю безпосередньо контролює в цілому зміну суми основних складових органічної маси (водень, азот, сірка, кисень), а показник відбиття вітриніту - відображає структурні зміни у петрографічному складі. На хімічну активність вугілля також впливають присутність вологи в різному стані, склад і властивості мінеральних домішок. Застосування кожного допоміжного показника повинно бути обґрунтовано з урахуванням мети застосування і методики його визначення. Це дозволяє на основі вмісту вуглецю та показника відбиття вітриніту розробити загальні принципи наукового обґрунтування методу прогнозу небезпечних властивостей вугільних шахтопластів у сукупності з гірничо-геологічними та гірничотехнічними умовами ведення робіт.

Ключові слова: властивості, шахтопласти, аварійні ситуації, впливаючі фактори, геологічні процеси, метаморфізм, умови, гірничо-геологічні, гірничотехнічні, нормативна база, показники, вміст вуглецю, відбиття вітриніту, волога, мінеральні домішки, метод, прогноз.

Вступ. Для достовірного прогнозу прояву одного з багатьох небезпечних властивостей вугільних шахтопластів при веденні гірничих робіт і розробки ефективних профілактичних заходів щодо його запобігання необхідно розглядати три блоки впливаючих факторів [1].

У першому блоці пропонується розглядати і встановлювати стадії метаморфічних перетворень шахтопластів, при яких формуються умови для виникнення небезпечних властивостей. У загальному випадку до найбільш небезпечних властивостей вугільних пластів відносяться виділення вибухових та легкозаймистих газів, раптові викиди вугілля і газу, схильність до самозаймання і виникнення ендегенних пожеж, підвищене пилоутворення, вибуховість вугільного пилу і інші негативні явища.

До факторів другого блоку належать гірничо-геологічні умови залягання вугільних шахтопластів: глибина ведення гірничих робіт, потужність пластів, що розробляються, кути їх залягання, наявність геологічних порушень і близьких пластів-супутників, властивості порід (покрівлі та підшоши), значення геотермічного градієнта і т.д.

На підставі даних про параметри факторів перших двох блоків на стадіях проектування і експлуатації вугільного підприємства закладаються гірничотехнічні показники третього блоку чинників. Вони пов'язані зі схемами розтину і підготовки шахтного поля, системами розробки, способами керування гірничим тиском, схемами провітрювання шахти, виїмкових дільниць і окремих виробок, технологією відбою вугілля в очисних вибоях, способом руйнування порід при спорудженні виробок та іншими технічними рішеннями.

Ефективність експлуатації гірничого підприємства залежить, в кінцевому підсумку, від вдалих інженерних рішень, прийнятих на підставі факторів третього блоку та їх параметрів. Оптимальність таких рішень залежить від достовірності визначення як переліку впливаючих факторів перших двох блоків, так і кількісних їх показників, що характеризують умови можливого виникнення небезпечних явищ.

Впливаючі фактори другого блоку, що характеризують гірничо-геологічні умови ведення гірничих робіт, достовірно встановлюються при обґрунтуванні доцільності відпрацювання вугільного родовища.

На відміну від гірничо-геологічних і гірничотехнічних факторів другого блоку найменш вивченими і не завжди достовірно встановленими є чинники першого блоку. Показники цього блоку визначають генетичну схильність шахтопластів до появи небезпечних властивостей під впливом геологічних процесів і метаморфічного перетворення вихідної речовини. Під загально визнаним поняттям метаморфізму мається на увазі зміна хімічного складу, структури і фізичних властивостей вугілля в надрах Землі, переважно під впливом підвищеної температури і тиску [2]. Ступінь метаморфізації вугілля характеризує зміну складу і властивостей, досягнуту при вугілляутворенні та визначає його в генетичному ряду: буре вугілля - кам'яне вугілля - антрацит.

В даний час склалася практика коли в нормативних документах [3-10], що регламентують безпеку ведення гірничих робіт, для характеристики ступеня метаморфічних перетворень пластів в переважній більшості випадків використовується один показник - вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря (V^{daf}). Іноді в якості критерію ступеня метаморфічних перетворень паралельно з V^{daf} застосовують марки вугілля. Марка вугілля - це умовне позначення різновидів вугілля, близьких за генетичними ознаками і основними енергетичними і технологічними характеристиками [2]. За своєю суттю обидва цих показника безпосередньо не характеризують ні склад, ні структуру копалин вугілля. Попри це паралельне їх використання передбачає однозначну оцінку ними ступеня метаморфічних перетворень, пов'язану зі зміною складу і властивостями вугілля.

Таке припущення не підтверджується якісними показниками для шахтопластів кам'яного вугілля і антрацитів [11]. По фактору V^{daf} частина напівантрацитових шахтопластів (ПА) розглядається спільно з кам'яними вугіллям. Друга частина напівантрацитових шахтопластів спільно з шахтопластами, які містять вугілля марок Т і віднесені по їхніх споживчих властивостях в один розділ з антрацитовими шахтопластами. Це свідчить про те, що між марками вугілля по фактору V^{daf} немає чітких меж і вони відображають різні властивості вкопного вугілля, що з'явилися в процесі метаморфічних перетворень.

Максимальна кількість класифікаційних показників ступеня метаморфізму одночасно використано при встановленні викидонебезпечності пластів [3]. Викидонебезпечність шахтопластів кам'яного вугілля встановлюється окремо по фактору V^{daf} в діапазонах його зміни 9÷29% та більше 29%. Додатково до V^{daf} для зазначених цілей залучені значення товщини пластичного шару (ν).

Викидонебезпечність антрацитових шахтопластів прогнозується [3] і з використанням показників об'ємного виходу летких речовин при термічному розкладанні вугілля (V_v^{daf}) та логарифму питомого електроопору ($lg\rho$). Додаткове використання показників V_v^{daf} і $lg\rho$ обумовлено високою відносною похибкою визначення V^{daf} при малих його значеннях.

При прогнозі газовиділення значення V^{daf} використовується спільно з V_v^{daf} [4], а при складанні «Каталогу шахтопластів СРСР за пиловим чинником» V^{daf} розглядається [6] спільно з вологістю (W). Пилоутворювальна здатність пов'язана з дробильністю вугілля, а вона в свою чергу, визначає ендегенну пожежонебезпечку шахтопластів [12]. Імовірність же виникнення ендегенної пожежі розраховується [5] з урахуванням змісту загальної сірки у вугіллі (S^t) і дифузійного опору (H_g).

Наведений аналіз показує, що в даний час відсутні методики наукового обґрунтування застосування класифікаційних показників ступеня метаморфізму для прогнозу конкретної небезпечної властивості шахтопласта.

У всіх нормативних документах [3-10] відсутній системний підхід до використання показників безпосереднього зміни, в першу чергу, складу органічної та мінеральної частин, а також структурного перетворення і фізико-механічних властивостей вихідної речовини. З цієї причини наукове обґрунтування загальних підходів до розробки методу для прогнозу прояву різноманітних небезпечних властивостей шахтопластів при веденні гірничих робіт є актуальною проблемою. Її рішення дозволить об'єднати в єдиний логічний ланцюжок наукове обґрунтування використання факторів трьох блоків, які в сукупності визначають безпеку гірничих робіт.

Ідея полягає в тому, що кожної небезпечної властивості шахтопласта відповідає певне поєднання декількох критеріїв оцінки ступеня метаморфізму, а різні небезпечні властивості, в деяких випадках, можуть характеризуватися однаковими показниками складу і властивостями вугілля.

Методика заснована на вивченні взаємозалежності між показниками ступеня метаморфізму вугілля, які характеризують різні аспекти його перетворення при геологічних процесах.

Результати дослідження. Якщо дотримуватися принципу, що один показник складу або властивості вугілля характеризує одну із сторін метаморфічних перетворень, то таких критеріїв можна нарахувати більше тридцяти. Найбільш досконалою в даний час є класифікація вугілля за генетичними і технологічними параметрами [13], в якій використано десять класифікаційних показників: теплота згоряння на вологий безпопільний стан (Q_s^{af}), товщина пластичного шару (ν), вихід смоли напівкоксування (T_{sk}^{daf}), масовий вихід летких речовин (V^{daf}), об'ємний вихід летких речовин (V_v^{daf}), максимальна вологоємність (W_{max}), індекс Рога (RI), зміст фюзенізованих компонентів на чисте вугілля (ΣOK), показник відбиття вітриніту (R_{or}), анізотропія відбиття вітриніту (A_R), показник вільного спучування (SI). Таке вибір поєднання показників обумовлений поставленою метою - зробити градацію вугілля по їх споживчим властивостям.

Всі кваліфікаційні показники [13], крім відбиття вітриніту (R_{or}), в ряду ранжирування вугілля по їх ступеню метаморфічних перетворень мають достовірне кількісне визначення тільки в окремих його діапазонах. Вони служать для уточнення характерних властивостей вугілля в цих діапазонах. Наприклад, за допомогою додаткових показників Q_s^{af} та V^{daf} проведена градація вугілля на їх види (табл. 1). Використовуючи принцип різного поєднання показників згідно [13] все вугілля розділене на види, марки, групи, підгрупи, типи і підтипи. За споживчими властивостями виділено 81 різновид вугілля.

З цих відомостей виходить, що навіть такий універсальний показник R_{or} , що має достовірне кількісне визначення в усьому ряду метаморфізму, не може без допоміжних показників досить надійно характеризувати окремі споживчі властивості вугілля. Це видно з відсутності однозначних меж між марками вугілля по фактору R_{or} . По фактору V^{daf} межі між марками вугілля відповідно до [13], розмиті ще більшою мірою. Це вказує на високу ймовірність отримання значних похибок визначення марочної приналежності вугілля по фактору V^{daf} в нормативних документах [3-10] при розробці заходів щодо безпечного ведення гірничих робіт.

Для отримання більш точної оцінки ступеня метаморфічних перетворень, при зміні елементного складу вихідної речовини підходить вміст вуглецю в органічній (горючій) масі (C_o). Показник C_o безпосередньо контролює зміну суми інших компонентів органічної маси - водню (H_o), сірки (S_o), азоту (N_o) та кисню (O_o). З похибкою близько одного відсотка $\Sigma H_o, S_o, N_o, O_o = 100 - C_o, \%$ (табл. 2). Така точність цілком влаштовує при прогнозуванні небезпечних властивостей вугільних шахтопластів.

Таблиця 1

Розподіл викопного вугілля на види згідно [13]

Вид вугілля	Середній показник відбиття вітриніту, $R_{or}, \%$	Вища теплота згоряння на вологий безпопільний стан $Q_{s_{af}}^{af}, \text{МДж/кг}$	Вихід летких речовин на сухий безпопільний стан $V^{daf}, \%$
Буре вугілля	менш 0,60	менш 24	—
Кам'яне вугілля	від 0,40 до 2,59 включно	24 та більше	8 та більше
Антрацит	від 2,20 та більше	—	менш 8

Показник C_o , як і R_{or} , має високу точність кількісного визначення у всьому ряду ранжирування вугілля за ступенем їх метаморфічних перетворень. У промисловій класифікації [13] показник C_o не використовується для виявлення споживчих властивостей, в тому числі і для встановлення марочного складу вугілля. Значення C_o і марки вугілля для шахтопластів Донецького та Львівсько-Волинського басейнів наведені в довіднику [11]. До розробки промислової класифікації [13] все кам'яне вугілля і антрацити за споживчими властивостями ділилися на десять марок Д, Г, ЖГ, ГР, Ж, К, ОС, Т, ПА, А. Така їх градація приведена і в довіднику [11]. Кількість марок в класифікації [13] збільшено до 17 за рахунок використання допоміжних показників, а проміжна марка ПА замінена іншими. В цілому в обох джерелах [11, 13] основні марки залишилися однаковими (табл. 2).

Це дало можливість порівнювати діапазони зміни показників C_o та R_{or} для марок по мірі посилення ступеню метаморфізму (рис. 1). У всіх випадках за фактором показника C_o , як і за критерієм R_{or} , відсутні конкретні межі між окремими марками. Крім цього розміри діапазонів зміни C_o та R_{or} по мірі посилення ступеня метаморфізму ні в одному випадку не збігаються між собою. Це свідчить, з одного боку, що показники C_o та R_{or} характеризують різні сторони метаморфічних перетворень вугілля, а з іншого - з використанням різних показників для

встановлення марок вугілля. З цих причин немає підстав марочний склад вугілля використовувати для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів в нормативних документах щодо безпечного ведення гірничих робіт.

Між показниками C_o та R_{or} згідно [11, 13-16] тісна кореляційна залежність (рис. 2). Вона характеризується високим кореляційним відношенням ($R=0,94$), що дозволяє C_o та R_{or} використовувати при встановленні небезпечних властивостей шахтопластів в якості основних класифікаційних показників.

Таблиця 2.

Діапазони зміни середнього показника відбиття вітриніту (R_{or}) та вмісту вуглецю (C_o) для марок вугілля відповідно згідно [13] і [11]

№ п/п	Марка вугілля відповідно до [13]		Діапазон зміни	Діапазон зміни	Марка вугілля відповідно до [11]		Діапазон зміни	Діапазони зміни суми компонентів органіч. маси
	найменування	позначення	R_{or} , %	V^{daf} , %	найменування	позначення	C_o , %	$H_o, S_o, N_o, O_o, 100 - C_o$, %
1	Буре	Б	0,20÷0,59	—	—	—	—	—
2	Довгополумєневе	Д	0,40÷0,79	більше 40	Довгополумєневе	Д	75,0÷81,8	25,0÷18,2
3	Довгополумєневе газове	ДГ	0,50÷0,79	30 і вище	—	—	—	—
4	Газове	Г	0,50÷0,99	30÷38 і вище	Газове	Г	77,1÷88,9	22,9÷11,1
5	Газове жирне пісне	ГЖ О	0,60÷0,99	30÷38 і вище	Жирне газове	ЖГ	81,2÷85,2	18,2÷14,8
6	Газове жирне	ГЖ	0,50÷1,19	30÷36 і вище	Газове жирне	ГЖ	83,0÷85,5	17,0÷14,5
7	Жирне	Ж	0,80÷1,19	28÷36 і вище	Жирне	Ж	81,6÷89,5	18,4÷10,5
8	Коксівне жирне	КЖ	0,90÷1,29	24÷30	—	—	—	—
9	Коксівне	К	1,00÷1,69	24÷30 і менше	Коксівне	К	85,3÷90,4	14,7÷9,6
10	Коксівне пісне	КО	0,80÷1,39	16÷30	—	—	—	—
11	Коксівне слабо-спікливе нізкометаморфізоване	КС Н	0,80÷1,09	28 і вище	—	—	—	—
12	Коксівне слабо-спікливе	КС	1,19÷1,69	24÷28 і вище	—	—	—	—
13	пісне спікливе	ОС	1,30÷1,70 і вище	20 і нижче	пісне спікливе	ОС	86,1÷91,6	13,9÷8,4
14	Тонке спікливе	ТС	1,40÷1,99	16÷20 і нижче	—	—	—	—
15	Слабо-спікливе	СС	0,70÷1,79	16-30	—	—	—	—
16	Худе	Т	1,50÷2,59	8÷18	Худе	Т	88,2÷92,2	11,8÷7,8
17	Антрацит	А	2,20÷4,50 і вище	менше 8	Антрацит*	А	91,4÷96,9	8,6÷3,1

Примітка: * - для полуантрацитів (марка ПА) діапазон зміни C_o згідно [11] дорівнює 89,4-95,5%. Така марка ДСТУ [13] не передбачена.

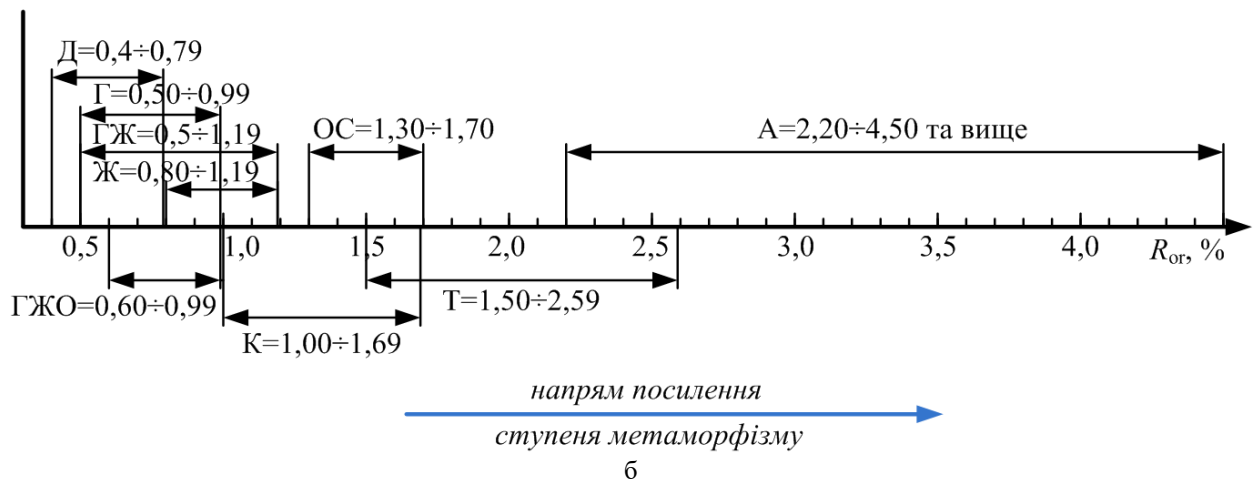
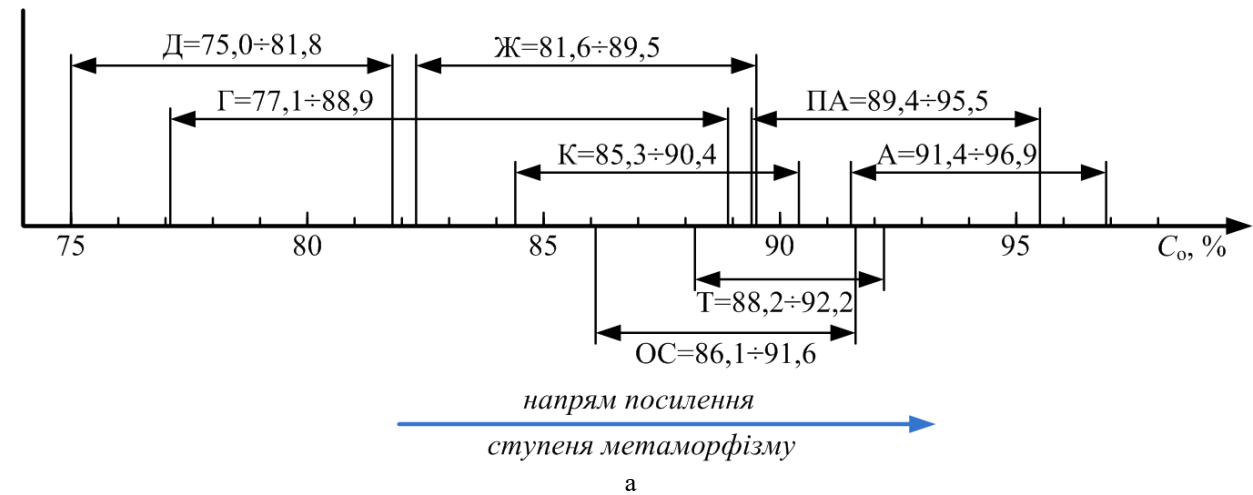


Рисунок 1 – Діапазони зміни класифікаційних показників ступеня метаморфізму вугілля і антрацитів при визначенні марок вугілля за змістом вуглецю (а) і середнього показника відбиття вітриніту (б) відповідно згідно [11] і [13]:
 C_o – вміст вуглецю в органічній масі,%; R_{or} – середній показник відбиття вітриніту,%;
 Д, Г, ГЖО, ГР, Ж, К, ОС, Т, А – марки вугілля й кількісні значення параметрів C_o та R_{or} в ряду ранжирування по мірі посилення ступеня метаморфізму (див. табл. 2).

В цьому випадку C_o безпосередньо характеризує в цілому зміну елементного складу вугілля, а R_{or} – відображає їх структурні зміни в процесі метаморфічних перетворень.

Для більш точного встановлення змін вуглецю в складі органічної маси кожного шахтопласта, на додаток до C_o необхідно розглядати індивідуальне співвідношення між іншими складовими H_o , S_o , N_o , і O_o . Їх сума практично функціонально контролюється значенням C_o . Співвідношення між H_o , S_o , N_o , і O_o визначає хімічну активність органічної складовою при вмісті вуглецю C_o . На хімічну активність також впливає присутності води в різному стані, склад і властивості мінеральних домішок. Вплив цих факторів на прояв небезпечних властивостей шахтопластів вимагає додаткового вивчення.

Переважає застосування одного з будь-яких класифікаційних показників, в тому числі C_o та R_{or} , не виправдану з позицій класичного визначення метаморфізму. Один показник не може одночасно і всебічно характеризувати склад, структуру, хімічні та фізико-механічні властивості органічної маси вугілля і його мінеральних домішок. При прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів, неприпустима взаємозамінність класифікаційних показників, навіть при високому кореляційному зв'язку між ними [17]. Різні методики визначення цих показників відображають і різні властивості вугілля, що з'явилися в процесі метаморфічних перетворень. Застосування кожного показника повинно бути обґрунтовано з урахуванням мети застосування і методики його визначення. Наприклад, в промисловій класифікації [13] марки використовуються для умовного позначення видів вугілля. Застосування V^{daf} обмежено характеристикою тільки кам'яного вугілля, максимальна вологоємність W_{max} і зовнішня теплота згоряння Q_s^{af} служать для встановлення відмінностей між кам'яним та бурим вугіллям, об'ємний вихід летких речовин V_V^{daf} для розмежування антрацитів на групи, підгрупи, типи і підтипи та ін.

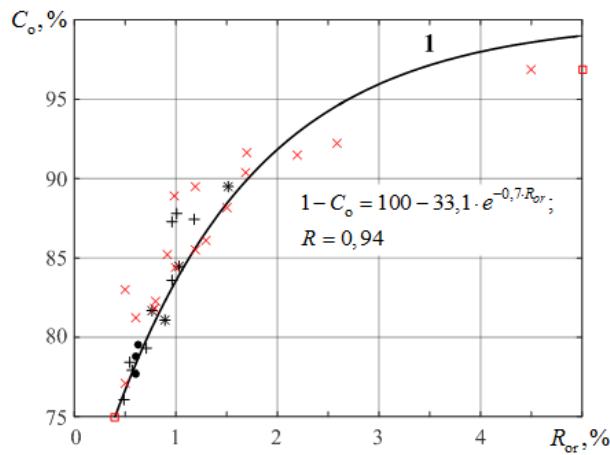


Рисунок 2 – Взаємозалежність змісту вуглецю (C_o) в органічній масі вугілля і середнього показника відбиття вітриніту (R_{or}):

1 – усереднююча крива; R – кореляційне відношення;

+, •, * – експериментальні дані згідно [14, 15, 16];

□ – точки, положення яких визначаються мінімальними і максимальними значеннями C_o (75,0 і 96,9%) відповідно до [11] та аналогічними показниками R_{or} (0,4 і 5,0%) відповідно до [13];

× – точки, положення яких визначаються межами діапазонів зміни C_o [11] і показником відбиття вітриніту R_{or} [13] для конкретних марок вугілля (табл. 2).

Небезпечні властивості вугільних шахтопластів багато в чому визначаються фізико-механічними характеристиками вугілля, тому їх необхідно розглядати в залежності від відповідних показників. До них відносяться структура, щільність, міцність, твердість, пластичність, пружність, крихкість, дробильність. Фізико-механічні властивості вугілля також взаємопов'язані між собою і обумовлені хімічним складом і структурними особливостями органічної та мінеральної частин [18]. Такі показники в незначній мірі характеризують споживчі властивості вугілля, тому вони не розглядаються в промисловій класифікації [13]. Їх ігнорування при оцінці небезпечних властивостей шахтопластів неприпустимо, так як вони відносяться до безпосередніх класифікаційних показників ступеня метаморфізму. Це доведено визначенням механічної міцності кам'яного вугілля і антрацитів випробуванням в копрі. Вихід класу 1-0 мм характеризує крихкість випробувального матеріалу, тобто дає величини, зворотні механічній міцності і, отже, вугілля тим міцніше, чим менше у них вихід цього класу, і навпаки [19]. Вихід класу 1-0 мм, взятий за обсягом, досить добре диференціює кам'яне вугілля і антрацит по мірі посилення впливу метаморфізму (рис. 3). Він цілком придатний для характеристики пилоутворювальної здатності шахтопластів.

Слід зазначити, що жоден з показників, що характеризує фізико-механічні властивості, не використаний при складанні «Каталогу ...» [6] для градації шахтопластів по їх пилоутворювальній здатності, а також для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів у інших нормативних документах. Використання R_{or} та C_o замість марок вугілля дає можливість кількісної оцінки як виходу пилу, так і крихкості вугілля (табл. 3). Ці показники при строгому науковому обґрунтуванні можуть характеризувати відразу кілька небезпечних властивостей шахтопластів. До них попередньо можна віднести пилоутворювальну здатність, вибуховість вугільного пилу, схильність до виникнення вогнищ ендегенних пожеж і викидів вугілля та газу.

Ламаний характер усереднюючої лінії (1) та неоднозначна зміна виходу пилу по мірі посилення ступеня метаморфізму (збільшенні R_{or} та C_o) свідчить про суттєвий вплив на пилоутворювальну здатність інших, що відрізняються між собою, факторів (рис. 3). На ранніх стадіях метаморфізму (діапазон I¹) вплив інших факторів, як і R_{or} та C_o , істотним чином не впливало на вихід пилу. Коливання виходу пилу були незначними ($7,3 \div 9,5 \text{ см}^3$) і в середньому становили близько $8,8 \text{ см}^3$ (табл. 3). З посиленням ступеня метаморфізму (діапазон II¹) спостерігалось зростання виходу пилу від $8,8$ до $16,3 \text{ см}^3$. При цьому відбувалося одночасне збільшення вмісту C_o приблизно до 88% та зниження суми інших компонентів в органічній масі (H_o , S_o , N_o , і O_o) до 12%. Паралельно з такими змінами в елементному складі органічної маси відбувається зменшення пластової вологи до мінімальних значень (рис. 4). Вважається [11], що пластова волога не робить істотного впливу на якість споживчих властивостей антрацитів. З цієї причини в даному довідково-нормативному документі не наведено відомості про вологу для антрацитових шахтопластів, а для кам'яного вугілля такі відомості вказані частково.

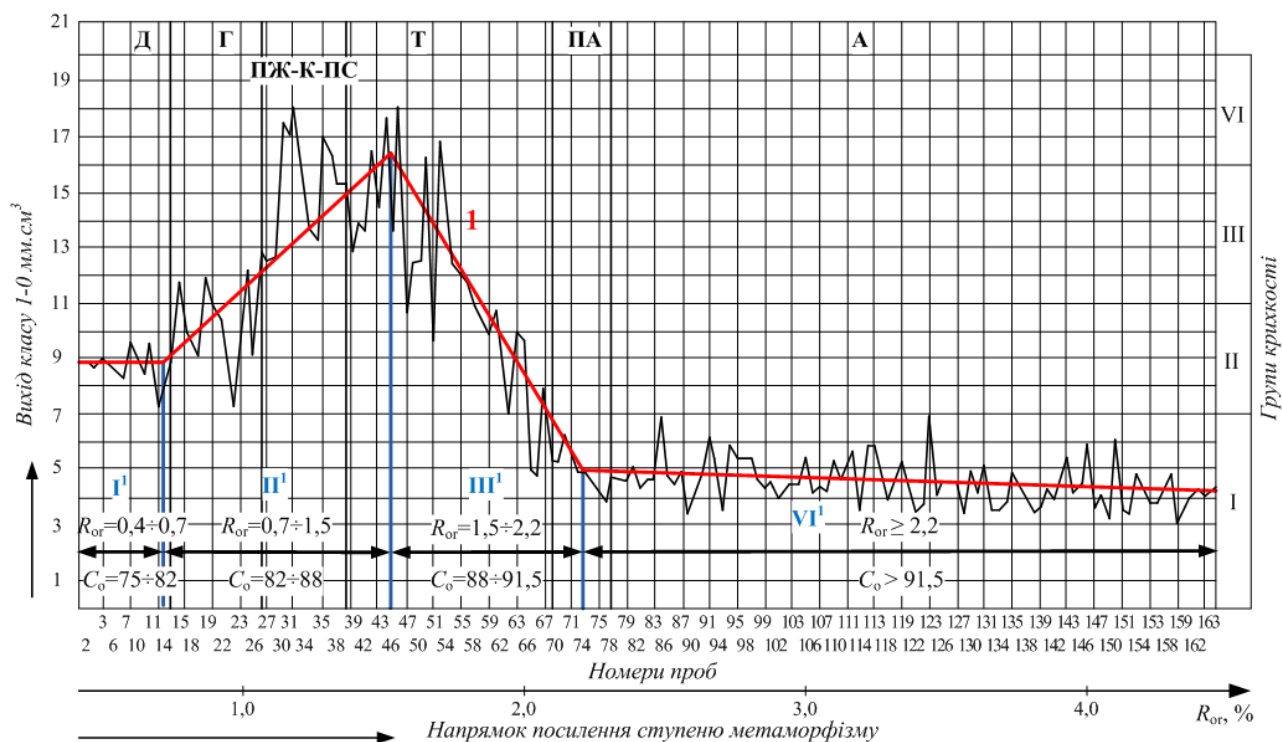


Рисунок 3 – Розподіл кам'яного вугілля та антрацитів по крихкості (виходу пилу класу 1-0 мм.см³) згідно [19] і її відповідність посиленню ступеня метаморфізму за показниками R_{or} [13] і C_o [11].

Д, Г, ПЖ, К, ПС, Т, ПА, А та I, II, III, IV – відповідно марки вугілля та групи крихкості згідно [19];

R_{or} – значення середнього показника відбиття вітриніту в усьому інтервалі ступеня метаморфізму кам'яного вугілля і антрацитів [13];

C_o – вміст вуглецю, що відповідає його взаємозалежності з показником R_{or} (рис. 2).

1 – усереднююча ламана лінія зміни виходу пилу класу 1-0 мм.см³ згідно [19] по мірі посилення ступеня метаморфізму в усьому ряду ранжирування з використанням показника R_{or} [13];

I¹, II¹, III¹, IV¹ – діапазони значень R_{or} та C_o , в яких по різному змінюється характер залежності виходу пилу від ступеня посилення метаморфізму.

У «Каталозі ...» [6] для більшості кам'яних і антрацитових шахтопластів є дані про пластову вологу, тому при побудові графіка (рис.4) їх використовували спільно з даними про C_o довідника [11].

В діапазоні вмісту вуглецю 82÷88% відбувається збільшення виходу пилу (рис. 3) і зменшення пластової вологи (рис. 4). Це свідчить про те, що зростання пилоутворення сприяє як збільшення вмісту вуглецю в діапазоні 82÷88%, так і зниження пластової вологи в цьому інтервалі до мінімальних значень.

Після досягнення максимального значення виходу пилу (18 см³) в діапазоні II¹ (рис. 3) спостерігається неоднозначне зниження пилоутворення при подальшому посиленні ступеня метаморфізму.

Таблиця 3

Градація шахтопластів по виходу пилу класу 1-0 мм (крихкості) та за класифікаційними показниками (марок вугілля R_{or} та C_o)

Сукупності шахтопластів по метаморфічним ознакам перетворення вугілля								
Групи крихкості [19]			По значенням R_{or} і C_o					
№ групи	Вихід пилу, см ³	Марки вугілля	№ групи	за вихідним і пробами	по усереднюючій ламаній	R_{or} , % [13]	C_o , % [11]	$\Sigma H_o, S_o, N_o, O_o = 100 - C_o$, %
I	3,2÷2,0	А, ПА	I ¹	7,3÷9,5	8,8	0,4÷0,7	75÷82	25÷18
II	7,0÷11,0	Т, ПЖ, ГД	II ¹	7,2÷18,0	8,8÷16,3	0,7÷1,5	82÷88	18÷12
III	11,0÷16,0	Т, ПС, К, Г	III ¹	18,0÷4,9	16,3÷5,0	1,5÷2,2	88÷91,5	12÷8,5
IV	16,0÷20,0	Т, ПС, К, ПЖ	VI ¹	7,0÷3,2	5,0÷4,5	2,2÷4,5	91,5÷96,9	8,5÷3,1

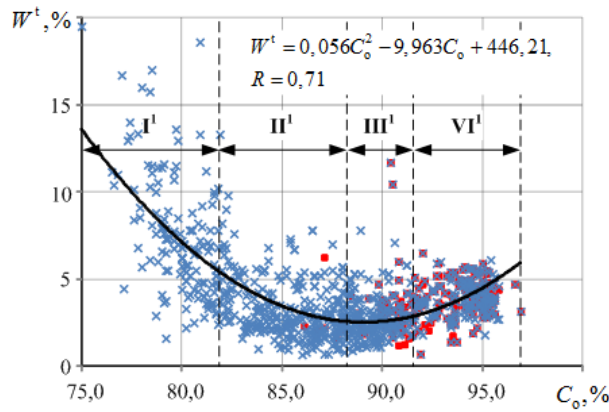


Рисунок 4 – Залежність пластової вологи W^t [6] від вмісту вуглецю C_0 [10].

- ×, ■ – експериментальні дані відповідно для кам'яних та антрацитових шахтопластів;
- R – кореляційне відношення;
- I^1, II^1, III^1, IV^1 – діапазони значень C_0 , по виходу пилу класу 1-0 мм [19].

В діапазоні III^1 ($C_0=88\div91,5\%$) відбувається різке зниження виходу пилу з 18 до 5 cm^3 , а в діапазоні IV^1 ($C_0=91,5\div96,9\%$) скорочення відбувається більш плавно з 5 до 4,5 cm^3 .

Наведений приклад неоднозначної зміни виходу пилу при посиленні метаморфізму в усьому його ряду ($R_{or}=0,4\div4,5\%$, $C_0=75\div96,9\%$) свідчить про наявність як додаткових факторів, що впливають, так і зміни їх ступеня впливу в окремих діапазонах (I^1, II^1, III^1, IV^1) метаморфічних перетворень. Логічно припустити, що аналогічні діапазони зміни факторів, що впливають, можуть спостерігатися при розгляді інших небезпечних властивостей шахтопластів. При прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів використання в якості показника вмісту вуглецю (C_0) дозволяє встановити рівень впливу як суми інших компонентів органічної маси (H_0, S_0, N_0, O_0), так і роздільний їх вплив.

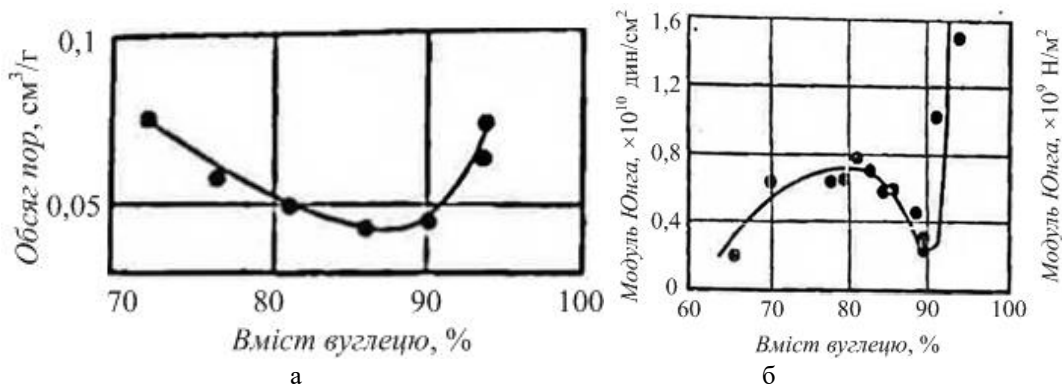


Рисунок 5 – Зміна обсягу мікропор (а) і модуля Юнга (б) в залежності вмісту вуглецю [18]

До складу органічної маси входить також вологість W^t , але розроблені сучасні методи її визначення [20] не передбачають спільний розгляд W^t в комплексі з іншими основними компонентами C_0, H_0, S_0, N_0, O_0 органічної маси. Така ситуація виникла через визначення основних компонентів органічної маси на сухий безпопільний стан палива. При прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів необхідно зміст основних компонентів (C_0, H_0, S_0, N_0, O_0) вугілля призводити до його природного стану. Для таких розрахунків розроблений спеціальний ДСТУ [21]. Після приведення частки змісту всіх компонентів органічної маси до одного (близькому до природного) стану, вміст вуглецю, практично функціонально (з похибкою $1\div2\%$), контролюватиме суму основних компонентів (C_0, H_0, S_0, N_0, O_0) в комплексі з вологою. Щоб максимально наблизити стан вугілля до виробничих умов, необхідно враховувати також мінеральні включення та їх склад. У всіх випадках міститься певна кількість мінеральних домішок, які тісно пов'язані з органічною масою і не можуть бути відокремлені механічним способом від органічної речовини. Вирішення цієї проблеми можливе за допомогою методу визначення петрографічного складу вугілля. Суть методу полягає у визначенні мацералів й мінеральних включень в вугіллі під мікроскопом у відбитому світлі в аншліф-брикетах і в кількісному визначенні їх змісту. Згідно [22] мацералів (різновиди мінералів) об'єднані в групи по їх показнику відображення, кольору, структурі та мікрорельєфу, які виявляються в результаті порівняння окремих мацералів між собою. За еталон показника відображення і рельєфу для кожного вугілля приймають мацерали групи вітриніту (R_0). Усі мацерали об'єднані в окремі групи: вітриніт (V^1), семівітриніт (S_V), інергініт (I), ліптініт (L) та мінеральні домішки (M).

Мінеральні включення в вугіллі і антрацитах представлені глинистими мінералами, сульфідами заліза, карбонатними оксидами кремнію та іншими мінералами. Крім петрографічного складу показник відбиття

вітриніту (R_o) характеризує й деякі фізико-механічні властивості вугілля. До таких, наприклад при встановленні небезпечних властивостей шахтопластів, можна віднести обсяг пор в вугіллі різній стадії метаморфізму [18]. Зміст вуглецю, крім контролю суми компонентів органічної маси, додатково також характеризує і деякі фізико-механічні властивості вугілля (рис. 5).

З наведеного аналізу випливає, що показники C_o та R_{or} в сукупності досить достовірно характеризують елементний склад кам'яного вугілля та антрацитів і деякі фізико-механічні властивості. Це дозволяє на основі класифікаційних показників C_o та R_{or} розробити загальні принципи наукового обґрунтування методу прогнозу небезпечних властивостей вугільних шахтопластів. Вони повинні враховувати вплив факторів всіх трьох блоків.

Висновки. При встановленні факторів метаморфічного перетворення шахтопластів (перший блок) на підставі проведених досліджень необхідно враховувати такі особливості:

- класифікаційні показники марочного складу і вихід летких речовин безпосередньо не відображають елементний та петрографічний склад вкопного вугілля. Методики їх визначення розроблені для класифікації вугілля за споживчими властивостями на підставі аналізу проб, наведених до сухого та безпопільного стану органічної маси (daf). Таке визначення показників марочного складу і виходу летких речовин не відповідає стану вугілля в шахтопластах при веденні гірничих робіт й призводить до істотних погрішностей при оцінці ступеня метаморфічних перетворень. Використання в нормативних документах показників марок вугілля і виходу летких речовин не є достатньо науково обґрунтованим для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів;

- вміст вуглецю в органічній масі, наведений до сухого безпопільного стану, надійно контролює суму інших основних компонентів. Методики сучасних ДСТУ дозволяють розрахувати співвідношення між основними складовими органічної речовини з урахуванням фактичної вологості та мінеральних домішок. Це дає можливість аналізувати результати оброблення проб вугілля, приведених до умов, близьким до виробничих;

- середній показник відбиття вітриніту характеризує петрографічний склад вугілля, в тому числі й наявність мінеральних домішок;

- показники вмісту вуглецю і середнього відбиття вітриніту контролюють відповідно елементний і петрографічний склад вкопного вугілля. Їх значення достовірно визначені у всьому ряду метаморфічних перетворень кам'яного вугілля та антрацитів. Крім того вони характеризують хімічну активність і фізико-механічні властивості вугілля. Ці особливості показників вмісту вуглецю й відбиття вітриніту дозволяють їх рекомендувати в якості основних показників для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів;

- в даний час відомо більше тридцяти показників, які характеризують одну зі специфічних сторін метаморфічних перетворень шахтопластів. Кожен з цих показників або їх комплекс, в сукупності з основними, досить вірогідно можуть характеризувати конкретну небезпечну властивість окремого шахтопласта. Підбір допоміжних показників повинен бути обґрунтований відповідними методиками їх визначення і характером прогнозованої небезпечної властивості шахтопласта.

Запропонована схема визначення ступеня метаморфічних перетворень дозволяє всебічно охарактеризувати елементний і петрографічний склад вугілля, хімічні, фізико-механічні та технологічні властивості вугілля практично для кожного шахтопласта Донбасу і Львівсько-Волинського басейну на підставі відповідних каталогів. Свого часу вони були складені на підставі досвіду й даних геологорозвідувальних робіт та експлуатації вугільних підприємств, встановлення якості продукції після збагачення вугілля на фабриках та ін.

Комплекс таких відомостей про фактори першого блоку для кожного вугільного шахтопласта й достовірне знання факторів другого блоку про гірничо-геологічні умови залягання і властивості порід дають реальну можливість проектувати оптимальні технологічні процеси, пов'язані з веденням гірничих робіт та забезпеченням їх безпеки. Властивості вугільного пласта, що впливають на прояв небезпечних властивостей, можуть змінюватися навіть у межах невеликого району, тому всі раціональні заходи щодо забезпечення безпечних умов ведення гірничих робіт повинні розроблятися для конкретного шахтопласта в межах його кордонів.

Література

1. Tarasov V., Antoshchenko M., Rudniev Ye., Levadnyi O. On subject to determine fire hazard groups of coal seams. / Norwegian Journal of development of the International Science. 2020. VOL.1. №47 2020. PP. 16-27.
2. ГОСТ 17070-2014. Межгосударственный стандарт. Угли. Термины и определения Издание официальное. М.: Стандартинформ, 2015. 17 с.
3. СОУ 10.1.00174088.011–2005. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ.: нормативний документ, чинний від 2005-12-01 / Брюханов О.М., Агафонов О.В., Анциферов А.В. та ін. К., 2005. 224 с. (Стандарт Мінвуглепрому України).
4. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. К.: Основа, 1994. 311с.
5. Руководство по предупреждению и тушению эндогенных пожаров на угольных шахтах Украины: КД 12.01.402 – 2000. Донецк: НИИГД, 2000. 216 с.
6. Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. М.: Недра, 1979. 319с.
7. Инструкция по прогнозу и предупреждению внезапных прорывов метана из почвы горных выработок. МакНИИ, 1987. 29 с.
8. СОУ-П 10.1.00174088.016:2009. Правила визначення ефективності випереджального захисту пластів, схильних до газодинамічних явищ. Видання офіційне. Мінвуглепром України. Київ, 2009. 36 с. (Стандарт Мінвуглепрому України).

9. Каталог динамических разломов горных пород на угольных шахтах. М-во угольной промышленности СССР, ВНИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела. Л., 1983. 120 с.
10. Справочник по качеству каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов. Донецкий научно-исследовательский угольный институт. М.: Недра, 1972. 168 с.
11. КД 12.01.401-96 Эндогенные пожары на угольных шахтах Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция. Издание официальное / Пашковский П.С., Костенко В.К., Заславский В.П. и др. Донецк: НИИГД, 1997. 68 с.
12. Кошовский Б.И., Пашковский П.С., Карасева В.В. Пути повышения достоверности определения склонности углей к самовозгоранию / Уголь Украины, 2008. №12. С. 45-47.
13. ГОСТ 25543-2013. Межгосударственный стандарт. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. Издание официальное. М.: Стандартинформ, 2014. 19 с.
14. Бутузова Л.Ф., Шакир Ш.М., Кулакова В.О., Колбаса В.А. Взаимосвязь между технологическими свойствами углей и составом экстрактов / Вестник Донецкого национального технического университета, 2016. №1. С. 13-20.
15. Федорова Н.И., Заостровский А.Н., Исмагилов З.Р. Физико-химические свойства низкометаморфизованных длиннопламенных углей Кузбасса / Вестник Кузбасского государственного технического унив-та, 2015. №5(111). С. 126-129.
16. Эттингер И.Л., Шульман Н.В. Распределение метана в порых ископаемых углей. М.: Наука, 1975. 112 с.
17. Антощенко Н.И., Тарасов В.Ю., Заика Р.Г., Золотарева Е.В., Захарова О.И. К вопросу определения классификационных показателей углей для установления опасных свойств шахтопластов / Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины, 2020. №152. С. 149-159.
18. Еремин И.В., Лебедев В.В., Шикаров Д.А. Петрография и физические свойства углей. М.: Недра, 1980. 263 с.
19. Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна / ДонУГИ. Вып. VIII. М.: Углетехиздат, 1954. 430 с.
20. Августевич И.В., Сидорук Е.И., Броневец Т.М. Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. М.: «Реклама мастер», 2019. 576 с.
21. ГОСТ 27313-95 (ИСО 1170-77) Межгосударственный стандарт. Топливо твердое минеральное. Обозначения показателей качества и формулы пересчета результатов анализа для различных состояний топлива. Издание официальное. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 2003. 15 с.
22. ГОСТ 9414-74 (СТ СЭВ 5431-85) Межгосударственный стандарт. Угли бурые, каменные и антрациты. Метод определения петрографического состава (с изменениями № 1, 2). Издание официальное. Государственный комитет СССР по стандартам. М.: Издательство стандартов, 1987. 22 с.

References

1. Tarasov V., Antoshchenko M., Rudniev Ye. and Levadnyi O. (2020), "On subject to determine fire hazard groups of coal seams", / *Norwegian Journal of development of the International Science*, vol.1., №47 2020, pp. 16-27.
2. Standardinform (2015), *GOST 17070-2014. Mezghosudarstvennyj standart. Ugli. Terminy i opredelenija Izdanie oficial'noe*. [GOST 17070-2014. Interstate standard. Coals. Terms and definitions Official edition], Standardinform, Moscow, Russia.
3. Ukraine Ministry of Coal Industry (2005), *SOU 10.1.00174088.011–2005 Pravila vedennja girnichih robit na plastah, shil'nih do gazodinamichnih javishh*, [SOU 10.1.00174088.011–2005 Rules for conducting mining operations on formations prone to gas-dynamic phenomena], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kiev, Ukraine.
4. Yanko, S.V., and Tkachuk, S.P. (1994), *Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyacii ugol'nyh shaht* [Coal Mine Ventilation Design Guide], Osnova, Kiev, Ukraine.
5. Minpalyvenergo Ukrainy (2000), *KD 12.01.402-2000 Rukovodstvo po preduprezhdeniiu i tusheniiu endogennykh pozharov na ugol'nykh shakhtakh Ukrainy*, [KD 12.01.402-2000 Guidance from prevention and extinguishing of endogenous fires on the coal mines of Ukraine], NIIGD „Respirator", Donetsk, Ukraine.
6. USSR Ministry of the Coal Industry (1979), *Rukovodstvo po bor'be s pyl'ju v ugol'nyh shahtah* [Coal Mine Dust Guide], Nedra, Moscow, Russia.
7. State Makeevka Research Institute (1987), *Instrukcija po prognozu i preduprezhdeniju vnezapnyh proryvov metana iz pochvy gornyh vyrabotok* [Instructions for predicting and preventing sudden outbursts of methane from the soil of mine workings], State Makeevka Research Institute, Makeevka, Ukraine.
8. Ukraine Ministry of Coal Industry (2009), *SOU-P 10.1.00174088.016:2009: Pravila viznachennja efektyvnosti viperedzhal'nogo zahistu plastiv, shil'nih do gazodinamichnih javishh*, [SOU-P 10.1.00174088.016:2009: Rules for determining the effectiveness of advanced protection of formations prone to gas-dynamic phenomena], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kiev, Ukraine.
9. USSR Ministry of the Coal Industry (1983), *Katalog dinamicheskikh razlomov gornyh porod na ugol'nyh shahtah* [Catalog of dynamic rock faults in coal mines], Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying, Leningrad.
10. Donetsk Research Coal Institute (1972), *Spravochnik po kachestvu kamennyh uglej i antracitov Doneckogo i L'vovsko-Volynskogo bassejnov*, [Handbook on the quality of coal and anthracite of the Donetsk and Lvov-Volyn basins], Nedra, Donetsk, Ukraine.

11. Pashkovskiy, P.S., Kostenko, V.K. (et al.) (1997), KD 12.01.401-96 *Endogennyye pozhary na ugol'nykh shakhtakh Donbassa. Preduprezhdeniye i tusheniye. Instruksiya. Izdaniye ofitsial'noye* [KD 12.01.401-96 Endogenous fires in the coal mines of Donbass. Prevention and suppression. Instructions. Official publication], NIIGD, Donetsk, Ukraine.
12. Koshovskij, B.I., Pashkovskij, P.S. and Karaseva V.V. (2008) "Ways to improve the reliability of determining the propensity of coal to spontaneous combustion", *Coal of Ukraine*, №12, pp. 45-47.
13. Standartinform (2014), *GOST 25543-2013 Mezhhgosudarstvennyj standart. Ugli burye, kamennye i antracity. Klassifikacija po geneticheskim i tehnologicheskim parametram*, [GOST 25543-2013 Interstate standard. Brown coals, hard coals and anthracites. Classification according to genetic and technological parameters], Moscow, Russia.
14. Butuzova, L.F., Shakir, Sh.M., Kulakova, V.O. and Kolbasa, V.A. (2016) "The relationship between the technological properties of coal and the composition of technical extracts", *Vestnik Doneckogo tekhnicheskogo universiteta*, №1(1), pp. 13-20.
15. Fedorova, N.I., Zastrovskij, A.N. and Ismagilov, Z.R. (2015) "Physicochemical properties of low-metamorphosed long-flame coals of Kuzbass", *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, №5(111), pp. 126-129.
16. Èttinger, I.L. and Shul'man, N.V. (1975), *Raspredelenie metana v porah iskopaemyh uglej* [Distribution of methane in the pores of fossil coals], Nauka, Moscow, Russia.
17. Antoshhenko, N.I., Tarasov, V.Ju., Zaika, R.G., Zolotareva, E.V. and Zaharova, O.I. (2020) "On determining coal classification indicators for establishing dangerous properties of mines", *Geo-Technical Mechanics Collected of Scientific Papers*, №152, pp. 149-159.
18. Eremin, I.V., Lebedev, V.V. and Shikarov D.A. (1980), *Petrografija i fizicheskie svojstva uglej* [Petrography and physical properties of coals], Nedra, Moscow, Russia.
19. Donetsk Research Coal Institute (1954), *Geologo-uglehimicheskaja karta Doneckogo bassejna*, [Geological and coal-chemical map of the Donetsk basin], Ugletehizdat, Moscow, Russia.
20. Avgushevich, I.V., Sidoruk, E.I. and Bronovec, T.M. (2018) *Standartnye metody ispytaniya uglej. Klassifikacii uglej* [Standard Test Methods for Coals. Coal classification], Reklama master, Moscow, Russia.
21. Euro-asian council for standardization, metrology and certification (2003), *GOST 27313-95 (ISO 1170-77): Mezhhgosudarstvennyj standart. Toplivo tverdoe mineral'noe. Oboznachenija pokazatelej kachestva i formuly perescheta rezul'tatov analiza dlja razlichnyh sostojanij topliva. Izdanie oficial'noe* [GOST 27313-95 (ISO 1170-77) Interstate standard. Solid mineral fuel Designations of quality indicators and formulas for recalculating analysis results for various conditions of fuel. Official edition], Euro-asian council for standardization, metrology and certification, Minsk, Belarus.
22. USSR State Committee for Standards (1987), *GOST 9414-74 (ST SEV 5431-85) Mezhhgosudarstvennyj standart. Ugli burye, kamennye i antracity. Metod opredelenija petrograficheskogo sostava (s izmenenijami № 1, 2). Izdanie oficial'noe* [GOST 9414-74 (ST SEV 5431-85) Interstate standard. Brown coals, stone and anthracite. Method for determining the petrographic composition (with amendments No. 1, 2). Official edition], Publishing house of standards, Moscow, Russia.

The dependence of the manifestation of any dangerous property of coal mines during mining operations on the influencing factors of the three blocks is considered. In the general case, the most dangerous properties of coal seams include the release of explosive and flammable gases, sudden emissions of coal and gas, the tendency to spontaneous combustion and the occurrence of endogenous fires, increased dust formation, explosiveness of coal dust and other negative phenomena. To prevent emergencies during mining operations, it is necessary to take into account the influence of factors of all three units.

Factors of the first block determine the genetic predisposition of mine shafts to the appearance of dangerous properties under the influence of geological processes and metamorphic transformation of the source material. The factors of the second block include mining and geological conditions of coal mines. On the basis of data on parameters of the first two blocks at stages of designing and operation of the coal enterprise mining indicators of the third block of factors are put. In contrast to the mining-geological and mining conditions of the second block, the factors of the first block are the least studied and not always reliably established. They must determine under the influence of metamorphism changes in the chemical composition, structure and physical properties of coal in the bowels of the Earth, mainly under the influence of elevated temperature and pressure.

Currently, more than thirty factors are known, which in different ways characterize the metamorphic transformations of the starting material. There is a practice when in normative documents for the characteristic of degree of metamorphic transformations of layers in the vast majority of cases one indicator is used - an exit of volatile substances at thermal decomposition of coal without access of air. One indicator can not simultaneously and on all sides characterize the content, structure, chemical and physical and mechanical properties of the organic mass of coal and mineral impurities. It is necessary to proceed from the position that each dangerous property of mine layers depends on a certain influence of several factors of metamorphism.

Studies have shown that the carbon content and the reflection index of vitrinite in the ranking of coal by their degree of metamorphic transformations have a reliable quantitative definition, which allows their use in establishing the dangerous properties of mines as the main classification indicators. In this case, the carbon content directly controls the overall change in the sum of the main components of the organic mass (hydrogen, nitrogen, sulfur, oxygen), and the reflection index of vitrinite - reflects structural changes in the petrographic composition. The chemical activity of coal is also affected by the presence of moisture in different states, composition and properties of mineral impurities. The use of each auxiliary indicator must be justified taking into account the purpose of application and the method of its determination.

This allows to develop general principles of scientific substantiation of the method of forecasting dangerous properties of coal mine layers in combination with mining-geological and mining conditions of works on the basis of carbon content and vitrinite reflection index.

Keywords: *properties, coal mine layers, emergencies, influencing factors, geological processes, metamorphism, conditions, mining-geological, mining, regulatory framework, indicators, carbon content, reflection of vitrinite, moisture, mineral impurities, method, forecast.*

Руднєв Є.С. – к.т.н., доцент, завідувач кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, rudnev_es@snu.edu.ua

Антощенко М. І. – д. т. н., професор, професор кафедри фармації, виробництва та технологій Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, antoschenko@snu.edu.ua

Філатєва Е. М. – старший викладач кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля filateva@snu.edu.ua

Романченко Ю.А. – к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, romanchenko_ja@snu.edu.ua