

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-47-60>

УДК 622.7:541.6

ПРО ВИБІР ПОКАЗНИКІВ СТУПЕНЯ МЕТАМОРФІЗМУ ВУГІЛЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАХТОПЛАСТУ

Антощенко М.І., Руднєв Є.С., Філатьєва Е.М., Мелконова І.В., Мелконов Г.Л.

ON THE SELECTION OF INDICATORS OF THE DEGREE OF COAL METAMORPHISM FOR THE FORECAST OF DANGEROUS PROPERTIES OF SHAKTOPLAST

Antoshchenko M.I., Rudniew Y.S., Filatyeva E.M, Melkonova I.V., Melkonov H.L.

Ідея роботи полягає у вивченні статистичних моделей окремих показників пилоутворювальної здатності вугільних шахтопластів, відомих з нормативно-довідкових даних за якістю і властивостями викопного вугілля. Зокрема в посібнику [4] наведені дані (каталог) про пилоутворювальні здатності більш ніж для двох тисяч шахтопластів. Чинниками першого блоку, що визначають склад і властивості вугілля є вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря (V^{daf}), вологість вугілля (W), вміст пилу в відбитому вугіллі (N) і питома пилівидільність (q). Крім цих показників першого блоку, при визначенні груп пластів за пиловим фактором враховувалися фактори другого блоку - потужність пласта (m) та кут його падіння (α) з градацією відповідно до 35° і більше 35° [4]. По своїй суті значення застосовуваних показників першого блоку (V^{daf} , W , N , q) є наслідком впливу метаморфічних процесів перетворення вугільних шахтопластів, а другого (α , m) - відносяться до гірничо-геологічними умовами залягання пластів. Статистичні моделі розподілу цих факторів дозволяють встановити зв'язки між ними і можливість їх використання для вдосконалення прогнозу пилоутворення та інших небезпечних властивостей шахтопластів.

Ключові слова: шахтопласт, властивості, пилоутворення, волога, метаморфізм, нормативні документи.

Вступ. До теперішнього часу прогноз виникнення можливих небезпечних явищ при відпрацюванні вугільних пластів і ефективна реалізація профілактичних заходів щодо недопущення аварійних ситуацій в підземних умовах залишається до кінця не вирішеною науково-практичною проблемою для вугільної промисловості України і всіх вугледобувних країн світу. Прояв небезпечних властивостей вугільних шахтопластів полягає у виділенні вибухових газів, раптових викидах вугілля і газу, виникненні вогнищ самозаймання вугілля, підвищеному

виділенні пилу і її вибуховості і деякі інші явища, що відбуваються при веденні гірських робіт.

Аналіз діючої нормативно-правової бази щодо безпечного ведення гірничих робіт у вугільних шахтах [1-7] показує, що всі небезпечні прояви шахтопластів при веденні гірських робіт виникають під впливом, щодо незалежних між собою за своєю природою, трьох блоків факторів, що впливають.

Фактори першого блоку характеризують склад, хімічну активність і фізико-механічні властивості вугілля на різних стадіях метаморфічних перетворень пластів.

До другого блоку факторів, що впливають відносяться гірничо-геологічні умови залягання пластів. Він включає розташування вугільних пластів відносно один одного, глибину їх залягання, потужність і кут падіння, властивості порід, що вміщують, наявність геологічних порушень і інші особливості, що визначають вибір можливих технологічних параметрів ведення гірських робіт.

На підставі інформації про фактори першого і другого блоків на стадіях проектування і експлуатації вугільного підприємства приймаються ті чи інші технічні рішення про способи розтину і підготовки до експлуатації вугільного родовища. Вони визначають технологію проведення гірничих виробок, особливості ведення робіт в очисних і підготовчих вибоях, схеми їх провітрювання, транспорт вугілля і породи, доставку людей і матеріалів і деякі інші операції, необхідні для здійснення нормального функціонування вугільного підприємства.

Рівень безпечної експлуатації вугільного родовища, виходячи з логічних міркувань, повинен визначатися за оптимальними співвідношенням між параметрами всіх трьох блоків факторів, що впливають. В кінцевому підсумку безпеку ведення гірських робіт залежить від параметрів факторів третього

блоку, значення яких закладаються в технологічну схему функціонування вугільного підприємства на підставі даних про фактори першого і другого блоків. Гірничо-геологічні умови, що характеризуються факторами другого блоку, в більшості випадків достовірно відомі на підставі даних геологічної розвідки вугільного родовища. Найменш вивченими на прояви небезпечних властивостей шахтопластів є чинники першого блоку, що характеризують їх перетворення при метаморфічних процесах в надрах Землі. Така ситуація склалася внаслідок відсутності можливості, в більшості випадків, проведення необхідних експериментів безпосередньо при виникненні аварій. В деякій мірі винятком є можливість вивчення факторів, що визначають пилоутворення при веденні гірських робіт.

Пилоутворювальна здатність шахтопластів це практично єдиний негативний і небезпечний їх прояв, який можна оцінити при веденні гірських робіт з використанням безпосередніх чинників до виникнення аварійних ситуацій. Не викликає сумнівів, що пилоутворювальна здатність пов'язана з дробильністю вугілля, а вона, в свою чергу, визначає ендегенну пожежонебезпеку шахтопластів [8]. Аварійність і травматизм на високопродуктивних вугільних шахтах України за останні роки показав, що катастрофічні вибухи метану і вугільного пилу супроводжувалися пожежами [9, 10]. При цьому аварії носили комплексний характер, при якому реалізовувалось кілька небезпечних явищ: газо- і пиловиділення, раптові викиди вугілля і газу, пожежі. З огляду на наведені факти взаємозв'язку прояви небезпечних властивостей шахтопластів і аварій, що відбулися, вивчаючи процеси пилоутворення і встановивши впливаючі на них фактори, можна в цілому судити про можливості прояву інших небезпечних властивостей шахтопластів при веденні гірських робіт.

Мета дослідження - встановити, виходячи з пилоутворювальної здатності вугілля при його відбою, показники ступеня метаморфізму, які необхідні для прогнозу взаємопов'язаних між собою небезпечних властивостей шахтопластів при веденні гірських робіт, тобто виявити впливають фактори першого блоку.

Методика проведення досліджень заснована на вивченні статистичних моделей чинників, що визначають пилоутворювальну здатність шахтопластів згідно каталогу [4].

Результати дослідження. В даний час відомо більше 20 кваліфікаційних показників для встановлення ступеня метаморфічних перетворень вугілля. Для встановлення небезпечних властивостей шахтопластів в нормативних базах, що регламентують їх безпечно відпрацювання, використовується в загальному випадку від одного до трьох показників. Наряду з цим, при визначенні небезпечних властивостей недопустима взаємозамінність застосовуваних показників. Це обумовлено тим, що кожен з класифікаційних показників відображає одну, характерну

тільки для нього сторону перетворення вихідної органічної речовини. Між окремими показниками, як правило, відсутній тісна прямо або обернено пропорційна взаємозалежність [11]. Ця обставина не бралася до уваги при розробці всіх нормативних документів в цілому і, при оцінці пилоутворювальної здатності вугілля зокрема [4, 12]. З цієї причини помилково ставили знак рівності між оцінкою ступеня метаморфізму за марочною приналежності вугілля, виходу летких речовин (V^{daf}), вологою (W^*) і пилоутворювальною здатністю шахтопластів (N, q). В результаті такого підходу до взаємозамінності показників ступеня метаморфізму виникли протиріччя в кількісній оцінці окремих факторів на процеси пилоутворення. Наприклад, стверджується [12], що метаморфізм (марка вугілля) при однофакторній схемі з імовірністю 0,99 на 85% визначає запиленість повітря, а опір різанню на 49,8% і пластова вологість вугілля на 10,6%. Паралельно з цим наведено дані трехфакторного дисперсного аналізу при угрупованні марки вугілля - опору різання - вологість. Згідно з ним вплив марки на запиленість повітря несуттєва, а відмінність запиленості повітря і пилоутворювальної здатності вугілля в ряду метаморфізму визначається їх міцністю і вологістю. Разом з цим при визначенні залежності питомого пиловиділення вироблено групування шахтопластів за значеннями V^{daf} , відповідним певним маркам вугілля. Таке групування не є коректним і науково обгрунтованим з наступних причин:

- згідно ГОСТ [13] марка - це умовне позначення різновидів вугілля, близьких за генетичними ознаками і основним енергетичним і технологічними характеристиками;

- значення V^{daf} однозначно не визначає марку вугілля. Згідно ГОСТ [14] V^{daf} використовується для встановлення марочного складу вугілля тільки в обмеженому діапазоні від 8% до 40% зміни цього показника. При $V^{daf} < 8\%$ цей показник для антрацитів замінений на об'ємний вихід летких речовин (V_v^{daf}), а при $V^{daf} > 40\%$ - на максимальну вологоємність (W_{max}) для розмежування марок на кам'яне і буре вугілля.

З наведених даних випливає, що максимальна вологоємність (W_{max}), як і вихід летючих речовин (V^{daf}), є самостійним показником однієї зі сторін ступеня метаморфізму вугілля. За аналогією до показників метаморфічних перетворень вугілля, очевидно, відносяться вміст пилу в відбитому куті (N) і питоме пиловиділення (q). Вони відображають зовсім інші властивості вугілля в порівнянні з показниками V^{daf} і W_{max} . Крім розглянутих показників першого блоку (V^{daf} , W_{max} , N , q) при складанні каталогу [4] враховувався вплив на пилоутворення потужності пластів (m) і кутів їх падіння (α). По своїй суті ці показники не можуть безпосередньо впливати на схильність шахтопластів до пилоутворення. Вони відносяться до другого блоку чинників, що ха-

рактизують тільки гірничо-геологічні умови, згідно з якими виробляють вибір технології та оснащення вибоїв відповідними засобами відбою вугілля. Таке припущення підтверджується і авторами роботи [12] за результатами оцінки запиленості повітря. Вплив потужності пласта ними оцінено в 4,1%, а кута падіння - в 1,0%. Ця оцінка не суперечить результатам роздільної статистичної обробки даних каталогу [4] залежно N і q від потужності пластів пологого і крутопадаючими залягання (рис. 1).

У всіх випадках помітних кореляційних зв'язків між розглянутими показниками не встановлено, як для пологого залягання пластів ($\alpha < 35^\circ$), так і для крутопадаючих ($\alpha > 35^\circ$). Значення коефіцієнтів кореляції (r) залежностей N та q від потужності пластів складають у всіх випадках менше 0,2. Відсутність реальних залежностей не дозволяють встановити різницю впливу потужності пластів на пилоутворювальну здатність при відпрацюванні як пологих, так і крутопадаючих пластів. Згідно ж зі статистичними моделями (табл. 1) відмінність сукупності пологих пластів згідно каталогу [4] від сукупності пластів крутого падіння істотно відрізняються тільки середньою потужністю пластів ($\bar{m}$). При загальній кількості 1372 пологих шахтопластів їх середня потужність ($\bar{m}$) складає 1,30 м, а крутого падіння - 0,85 м. За іншими параметрами статистичні моделі розподілу потужності шахтопластів для пологого і крутопадаючого залягання мало відрізняються між собою (табл. 1, рис. 2). Це, на додаток до відсутності кореляційних залежностей (рис. 1), не дає підстав вважати гірничо-геологічні чинники m та α , безпосередньо визначальними пилоутворювальну здатність шахтопластів.

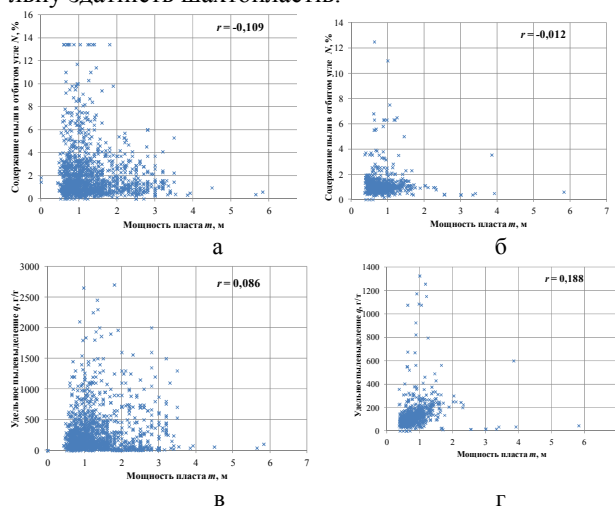


Рис. 1. Залежність змісту пилу у відбитому куті (N) і питомого пиловиділення (q) від потужності пластів (m) відповідно для пологого (а, в) і крутопадаючого (б, г) їх залягання:

× - дані згідно каталогу [4]; r - коефіцієнт кореляції

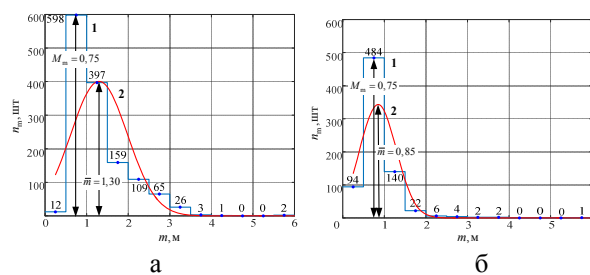


Рис. 2. Гістограми фактичного розподілу і теоретичні криві нормального розподілу випадкової величини потужності шахтопластів для пологого (а) і крутопадаючих (б) їх залягання згідно каталогу [4]:

1 – криві фактичних гістограм розподілу;

2 – теоретичні криві нормального розподілу;

n_m – кількість даних у відповідних інтервалах розподілу шахтопластів по їх потужності (m);

$\bar{m}$ – середня потужність шахтопластів, м;

M_m – мода для гістограм фактичного розподілу

Таке припущення побічно підтверджується схожим характером розподілу по потужності (m) і однаковими їх модами ($M_m = 0,75m$) для шахтопластів пологого і крутопадаючого залягання (рис. 2). Виходячи з порівняння критичних значень критеріїв Пірсона ($\chi^2_{кр}$) і їх величин для зазначених виборок (χ^2_a), в обох випадках розподілу, не підкоряються нормальному закону розподілу (табл. 1). В обох випадках на це вказують співвідношення $\chi^2_a \square \chi^2_{кр}$.

Не встановлені помітні залежності змісту пилу в відбитому куті (N) і питомого пиловиділення (q) і від виходу летких речовин як для пологого (рис. 3, а), так і для крутопадаючого (рис. 3, б) залягання пластів. Коефіцієнти кореляції для пластів пологого падіння становили $r = -0,341 \div -0,345$, а для крутопадаючого залягання вони були близькі до нуля ($r = -0,010 \div 0,040$). Деякі відмінності в коефіцієнтах кореляції для пластів з різними кутами їх залягання пояснюються різними статистичними моделями їх розподілу за показником I^{daf} .

Максимальна кількість шахтопластів (255) пологого падіння знаходилося в інтервалі зміни виходу летючих речовин 40-45% ($M_l = 42,5\%$), що відповідає досить близькій їх розташуванню до максимально можливих значеннях I^{daf} для кам'яного вугілля (рис. 4, а). Поряд з цим в протилежний інтервал від 0 до 5%, відповідним мінімально можливих значенням I^{daf} для кам'яного вугілля і антрацитів, потрапило також істотна кількість шахтопластів (217). Така концентрація значної кількості шахтопластів пологого падіння в протилежних кінцях ряду розподілу істотно відрізняється від фактичної гістограми розподілу крутопадаючих пластів (рис. 4, б). У інтервал значень I^{daf} від 0 до 5% потрапило всього 9 крутопадаючих шахтопластів. Це свідчить про те, що основною відмінністю шахтопластів пологого падіння від крутопадаючих по фактору I^{daf} є істотна

Таблиця 1

**Статистичні моделі розподілу шахтопластів
по їх потужності (m) при визначенні
пілоутворювальної здатності вугілля [4]**

Залегання пластів	сукупність вибірок	Значення m в вибірках, %				Обсяг сукупності даних, шт	Показники математичної статистики рядів розподілу						критерій Пірсона	
		мінімальне	максимальне	середнє	Мода,		Розмах, %	дисперсія	Середнє квадратичне відхилення,	Коефіцієнт варіації, частки	асиметрія	ексцес	критичне значення	вибірки
		$m_{\min}$	$m_{\max}$	$\bar{m}$	M_m		R_m	D_m	σ_m	k_v	A_s	E_K	$\chi^2_{кр}$	χ^2_v
пологе	шахтопластів всіх родовищ	0,31	5,83	1,30	0,75	1372	5,52	0,47	0,683	0,52	1,58	3,39	16,919	$1,56 \times 10^7$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	0,31	3,00	0,99	0,7	984	2,69	0,11	0,332	0,33	1,08	1,51	21,026	516,536
круте	шахтопластів всіх родовищ	0,35	5,83	0,85	0,75	755	5,48	0,19	0,439	0,52	4,17	31,63	16,919	$3,5 \times 10^{24}$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	0,35	4,50	0,82	0,7	745	4,15	0,11	0,332	0,41	2,14	10,9	31,410	$4,4 \times 10^{16}$
Пологе і круте	шахтопластів всіх родовищ	0,31	5,83	1,14	0,6	2127	5,52	0,42	0,646	0,57	1,96	5,62	16,919	$1,53 \times 10^9$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	0,31	4,50	0,92	0,75	1729	4,19	0,12	0,346	0,37	1,38	4,43	23,685	$6,7 \times 10^{13}$

різниця в кількості відпрацьовуваних антрацитових і полуантрацитових шахтопластів. Якщо брати до уваги, що до цієї категорії відносяться шахтопласти при значеннях $V^{daf} < 10\%$, то при пологому залеганні відпрацьовувалось в три рази більше шахтопластів з більш високим ступенем метаморфічних перетворень вугілля в порівнянні з крутопадаючих залеганням. Так в діапазоні V^{daf} від 0 до 10% знаходилося 299 шахтопластів пологого залегання, в кількість крутопадаючих в цьому діапазоні склало тільки 100 (рис. 4).

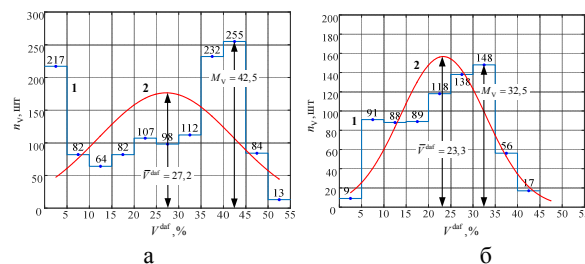


Рис. 4. Гістограми фактичного розподілу і теоретичні криві нормального розподілу випадкової величини виходу летючих речовин (V^{daf}) для пологого (а) і крутопадаючого (б) залегання пластів згідно каталогу [4]:

- 1 – криві фактичних гістограм розподілу;
2 – теоретические кривые нормального распределения;
 n_v – кількість даних у відповідних інтервалах розподілу шахтопластів по їх виходу летючих речовин (V^{daf});
 $\bar{V}^{daf}$ – середній вихід летючих речовин, %;
 M_v – мода для гістограм фактичного розподілу

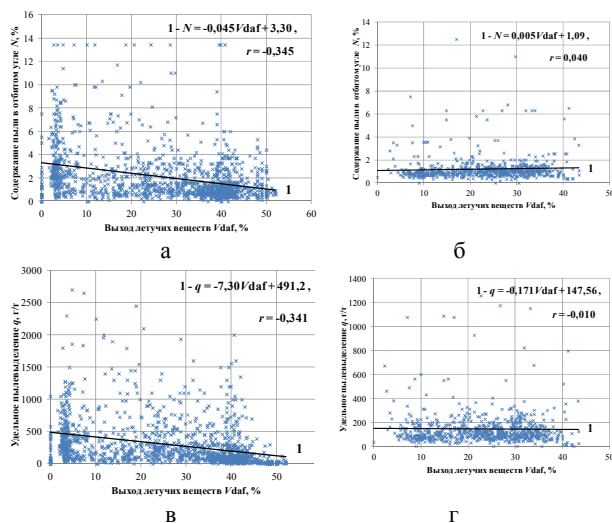


Рис. 3. Залежність змісту илу в відбитому куті (N) і питомого піловідділення (q) від виходу летючих речовин (V^{daf}) відповідно для пологого (а, в) і крутопадаючого (б, г) залегання пластів: $\times$ - дані згідно каталогу [4]; r - коефіцієнт кореляції

Така відмінність наочно видно по розташуванню більшості значень N і q тільки уздовж осі абсцис (V^{daf}) для шахтопластів крутого падіння (рис. 3, б). В обох випадках усереднюються прямі (1) майже паралельні осі абсцис, що зумовлює практичну сталість значень N і q відповідно в діапазонах $0 \div 2\%$ і $0 \div 200 \text{ г/т}$ незалежно від значень V^{daf} , а коефіцієнти кореляції - близькими до нуля.

Аналогічним чином більшість значень N і q групуються уздовж осі абсцис (V^{daf}) і для шахтопластів пологого падіння (рис. 3, а). На відміну від крутопадаючих пластів є значна кількість даних N і q, які розташовуються відповідно уздовж осей ординат

(N і q) при $V^{\text{daf}} < 10\%$. Такий розподіл уздовж осей ординат значень N і q не спостерігалось для крутопадаючих пластів через незначного їх кількості зі значеннями $V^{\text{daf}} < 10\%$. Наявність щодо великої кількості шахтопластів пологого падіння зі значеннями $V^{\text{daf}} < 10\%$ і переважне розташування значень N і q в цьому випадку уздовж осей ординат (рис. 3, а) викликало деякий нахил усереднюючих прямих (1) а осі абсцис (V^{daf}). Негативні і невисокі значення коефіцієнтів кореляції ($-0,341 \div -0,345$) свідчать про незначну тенденцію до зниження пилоутворення (N і q) при збільшенні показника V^{daf} у всьому діапазоні зміни його значень, практично від нуля і до $54,0\%$. Це вказує на те, що показник V^{daf} практично не характеризує пилоутворювальну здатність (N і q) шахтопластів як пологого, так і крутопадаючого залягання. Відмінність між цими сумами полягає в малій кількості шахтопластів крутопадаючими падіння з $V^{\text{daf}} < 10\%$. Це призвело до деяких відмінностей статистичних моделей розподілу шахтопластів по фактору V^{daf} (рис. 4, табл. 2). Зокрема вони полягають в різних середніх значеннях $\bar{V}^{\text{daf}}$ і мод M_V . Для пологого падіння ці показники відповідно рівні $27,2$ і $42,5\%$, а для крутопадаючих пластів - $23,3$ і $32,5\%$ (табл. 2). За співвідношенням критичних величин критерію Пірсона ($\chi^2_{\text{кр}}$) зі значеннями критеріїв розглянутих вибірок ($\chi^2_{\text{в}}$), немає підстав вважати розподіл шахтопластів пологого і крутопадаючого залягання по фактору V^{daf} , підпорядковується законам нормального розподілу.

Основною причиною невідповідності розподілу шахтопластів пологого залягання нормальному закону є групування аномально значної кількості шах-

топластів на початку і кінці ряду ранжирування по фактору V^{daf} .

Для шахтопластів крутопадаючого залягання основна відмінність від нормального закону розподілу полягало тільки в істотному перевищенні модою ($32,5\%$) середніх значень $\bar{V}^{\text{daf}}$. Це відповідає переважному розташуванню фактичної кількості шахтопластів в інтервалах i -х значень, які перевищують $\bar{V}^{\text{daf}}$.

Наведений аналіз статистичних моделей показника V^{daf} також не підтвердив істотних відмінностей пилоутворювальної здатності (N і q) між шахтопластами пологого і крутопадаючого їх залягання. На правомірність такого висновку додатково вказують графіки взаємозалежності між q і N . Вони характеризуються близькими залежностями (прямі 1) для шахтопластів пологого (рис. 5, а) і крутопадаючого залягання (рис. 5, б) і, досить високими коефіцієнтами кореляції (r), відповідно рівними $0,819$ та $0,863$.

Істотні значення r для взаємозалежностей між q і N свідчить про те, що вони визначаються в більшій мірі іншими, приблизно однаково впливають факторами, що не залежать від потужності пластів, кутів їх залягання і виходу летких речовин. На цю обставину вказують також схожі гістограми фактичного розподілу показників N і q як для шахтопластів пологого залягання (рис. 6), так і для крутопадаючого (рис. 7). За критерієм Пірсона розподілу пластів пологого і крутопадаючого залягання за показниками N і q не підкоряються нормальному закону (табл. 3 і 4) через недотримання необхідної умови нерівності $\chi^2_{\text{кр}} > \chi^2_{\text{в}}$.

Таблиця 2

Статистичні моделі розподілу шахтопластів по виходу летких речовин (V^{daf}) при визначенні пилоутворювальної здатності вугілля в залежності від кута залягання пластів [4]

Залягання пластів	Сукупність вибірок	Значення V^{daf} в вибірках, %				Обсяг сукупності даних, шт	Показники математичної статистики рядів розподілу						Критерій Пірсона	
		Мінімальне	Максимальне	Середнє	Мода		Розмах, %	Дисперсія	Середнє квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації, частки	Асиметрія	Експес	критичне значення	вибірки
		$V^{\text{daf}}_{\text{min}}$	$V^{\text{daf}}_{\text{max}}$	$\bar{V}^{\text{daf}}$	M_V		R_V	D_V	σ_V	k_V	A_S	E_K	$\chi^2_{\text{кр}}$	$\chi^2_{\text{в}}$
полого	шахтопластів всіх родовищ	1,3	54,0	27,2	42,5	1346	52,7	231,6	15,22	0,56	-0,37	-1,27	15,507	1021,232
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	1,3	49,0	23,1	32,5	978	47,7	223,5	15,02	0,65	-0,10	-1,57	14,067	982,319
круте	шахтопластів всіх родовищ	2,3	43,4	23,3	32,5	754	41,1	92,2	9,60	0,41	-0,19	-0,98	12,592	113,328
	Шахтопластів Донбасу	2,3	43,4	23,1	32,5	754	41,1	90,14	9,49	0,41	-0,20	-0,99	14,067	124,117
полого і круте	шахтопластів всіх родовищ	1,3	54,0	25,8	37,5	2100	52,7	185,0	13,60	0,53	-0,21	-1,12	15,507	587,269
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	1,3	49,0	23,1	32,5	1723	47,7	166,9	12,91	0,56	-0,12	-1,2	14,067	570,303

Таблиця 3

Статистичні моделі розподілу шахтопластів за змістом пилу (N) в відбитому куті в залежності від кута залягання пластів [4]

Заляган- ня пластів	Сукупність вибірок	Значення N в вибірках, %				Об'єм сукупності даних, шт	Показники математичної статистики рядів розподілу						Критерій Пірсо- на	
		мінімальне	мінімальне	середнє	Мода,		Розмах, %	Дисперсія	Середньоквад- ратичне відхилення,	Коефіцієнт ва- риації, доли	асиметрія,	Екссес,	критичне значення	вибірки
		$N_{\min}$	$N_{\max}$	$\bar{N}$	M_N		R_N	D_N	σ_N	k_N	A_N	E_N	$\chi^2_{\text{кр}}$	χ^2_N
пологе	шахтопластів всіх родовищ	0,09	13,43	2,13	0,50	1363	13,34	4,68	2,164	1,02	2,56	8,20	19,675	$6,7 \times 10^5$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського ба- сейну	0,09	13,43	2,29	0,75	976	13,34	5,76	2,408	1,05	2,37	6,48	36,415	$7,1 \times 10^4$
круте	шахтопластів всіх родовищ	0,17	12,50	1,21	0,50	752	12,33	1,06	1,031	0,85	5,28	38,74	18,307	$4,1 \times 10^{23}$
	шахтопластів Донбасу	0,17	12,50	1,22	0,75	742	12,33	1,07	1,034	0,85	5,29	38,62	33,924	$3,9 \times 10^{22}$
пологе і круте	шахтопластів всіх родовищ	0,09	13,43	1,80	0,5	2115	13,34	3,59	1,894	1,05	3,09	12,10	19,675	$7,3 \times 10^7$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського ба- сейну	0,09	13,43	1,83	0,5	1718	13,34	4,02	2,005	1,10	3,08	11,42	19,675	$1,1 \times 10^7$

Таблиця 4

Статистичні моделі розподілу шахтопластів по питомій пиловиділенням (q) при визначенні пилоутворювальну здатності [4]

Заляган- ня пластів	Сукупність вибірок	Значення N в вибірках, %				Об'єм сукупності даних, шт	Показники математичної статистики рядів розподілу						Критерій Пірсона	
		мінімальне	мінімальне	середнє	Мода,		Розмах, %	Дисперсія	Середнь- оквадратичне відхилення,	Коефіцієнт варіації, доли	асиметрія,	Екссес,	критичне значення	вибірки
		$N_{\min}$	$N_{\max}$	$\bar{N}$	M_N		R_N	D_N	σ_N	k_N	A_N	E_N	$\chi^2_{\text{кр}}$	χ^2_N
пологе	шахтопластів всіх родовищ	1,0	2700	299,	50,0	1364	2699	127007	356,4	1,19	2,52	8,44	36,415	$7,5 \times 10^7$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського ба- сейну	2,5	2700	301,3	50,0	976	2697,5	125952	355	1,18	2,82	10,6	36,415	$1,2 \times 10^8$
круте	шахтопластів всіх родовищ	12,0	2400	144,6	50,0	750	2388	19341	139,1	0,96	4,75	29,63	32,671	$9,6 \times 10^{18}$
	шахтопластів Донбасу	14,0	2400	146,2	50,0	740	2386	19398	139	0,95	4,76	29,6	32,671	$7,8 \times 10^{13}$
пологе і круте	шахтопластів всіх родовищ	1,0	2700	244,2	50,0	2114	2699	94246	307	1,26	3,08	12,70	36,415	$3,2 \times 10^{11}$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського ба- сейну	2,5	2700	234,4	50,0	1716	2697,5	85868	293	1,25	3,54	16,9	36,415	$9,8 \times 10^{12}$

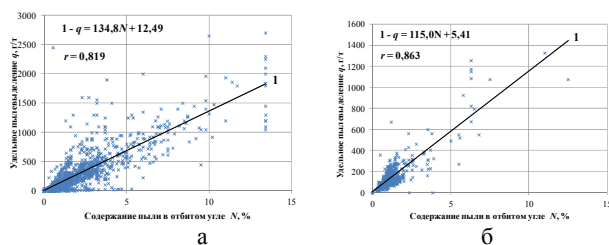


Рис. 5. Взаємозалежність питомого пиловиділення (q) і змісту пилу в відбитому куті (N) для умов пологого (а) і крутопадаючого (б) залягання пластів:
1 – усереднюються прями; × – дані згідно каталогу [4];
 r – коефіцієнти кореляції

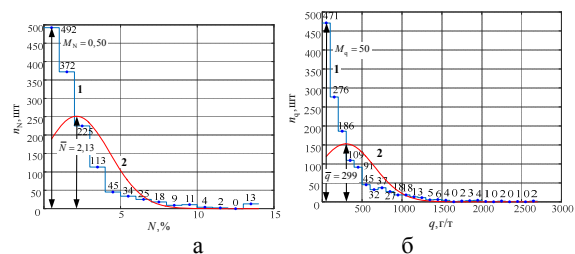
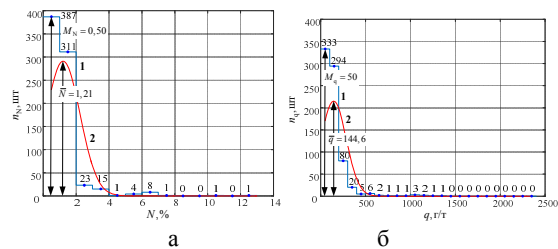


Рис. 6. Гістограми фактичного розподілу і теоретичні криві нормального розподілу випадкової величини вмісту пилу (N) в відбитому куті (а) і питомого (q) пиловиділення (б) для шахтопластів пологого залягання згідно каталогу [4]:
1 – криві фактичних гістограм розподілу; 2 – теоретичні криві нормального розподілу; n_N, n_q – кількість даних в інтервалах розподілу шахтопластів відповідно за показниками (N) і (q); $\bar{N}, \bar{q}$ – відповідно середні значення вміст пилу в відбитому куті (%) і питомого пиловиділення (г/т); M_N, M_q – мода для гістограм фактичного розподілу (N) і (q)



Таблиця 5

**Статистичні моделі розподілу шахтопластів по вологості вугілля (W^A)
при визначенні пилоутворювальну здатності [4]**

Залю- гання пластів	Сукупність вибірок	Значення W^A в виборках, %				Обсяг сукупності даних, шт	Показники математичної статистики рядів розподілу						Критерій Пірсона	
		мінімальне	максимальне	середнє	Мода		Розмах, %	Дисперсія	Середнь- оквадратичне відхилення,	Коефіцієнт варіації, част-	Асиметрія,	Експес,	Критичне значення	виборка
		$W_{\min}^t$	$W_{\max}^t$	$\bar{W}^t$	M_W		R_W	D_W	σ_W	k_W	A_S	E_K	$\chi^2_{кр}$	χ^2_W
пологе	шахтопластів всіх родо- вищ	0,2	34,5	6,3	3,0	1371	34,3	38,9	6,24	0,99	2,98	9,27	24,996	$3,4 \times 10^4$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	0,2	22,5	4,5	3,5	982	22,3	7,7	2,77	0,61	1,88	4,69	31,410	$2,5 \times 10^4$
крутоє	шахтопластів всіх родо- вищ	0,6	14,2	3,1	2,5	755	13,6	3,2	1,78	0,57	2,88	13,13	21,026	$1,5 \times 10^8$
	шахтопластів Донбасу	0,6	12,2	3,0	2,5	745	11,6	2,0	1,41	0,47	1,71	5,94	18,307	$3,4 \times 10^7$
пологеє і крутоє	шахтопластів всех место- рождений	0,2	34,5	5,2	3,0	2126	34,3	28,5	5,34	1,03	3,59	14,59	24,996	$1,3 \times 10^6$
	шахтопластів Донбасса и Львовско-Волынского бассейна	0,2	22,5	3,9	2,5	1727	22,3	5,8	2,41	0,62	2,22	7,15	31,410	$6,1 \times 10^4$

Вода у вугіллі знаходиться в різному стані: у вигляді крапель, плівок, молекул, адсорбованих на поверхні, у вигляді капілярної вологи, а також може входити до складу мінеральної частини вугілля [15]. Ці види вологи не рівноцінні по міцності зв'язку між водою і вугіллем і, відповідно мають різні властивості. Механічно найменш міцно пов'язана з вугіллем вільна волога, що залишається на зовнішній поверхні шматків вугілля після змочування їх водою. Ця волога має властивості звичайної води. Адсорбована волога пов'язана із зовнішньою і внутрішньою поверхнями вугілля силами молекулярної взаємодії і, тому за своїми властивостями вона відрізняється від звичайної води. Найбільш міцно утримується вугіллем хімічно зв'язана гидратная волога, яка не видаляється при визначенні вологості вугілля висушуванням і може бути виділена тільки при розкладанні мінеральної частини. Відсутність чітких меж між окремими видами вологи ускладнює їх кількісне визначення.

Для зручності визначення вологи у вугіллі і відповідно до прийнятих на практиці методами аналізу вологу поділяють на вологу зовнішньою і вологу повітряно-сухого палива [15]. Волога зовнішня - частина загальної вологи палива, яка видаляється при його висушуванні до повітряно-сухого стану. Волога повітряно-сухого палива - частина загальної вологи палива, яка залишається в ньому після висушування до повітряно-сухого стану. Для характеристики вологості вугілля в цілому (вологоміст вугілля) використовують термін «волога загальна» - загальний вміст вологи і вологи повітряно-сухого палива.

На практиці паралельно із загальним змістом вологи використовують показник максимальної вологоємності вугілля. Максимальна вологоємність - зміст загальної вологи у вугіллі в стані повного на-

сичення його водою в встановлених стандартом умовах. Стан вугілля з вологістю, яка дорівнює максимальній вологоємності, імітує стан свіжовидобитого вугілля, насиченого водою, з поверхні якого видалена вільна волога.

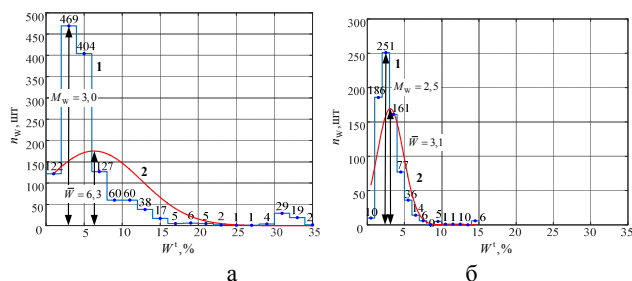


Рис. 9. Гістограми фактичного розподілу і теоретичні криві нормального розподілу випадкової величини вологості (W^A) для пологого (а) і крутопадаючого (б) залюгання пластів згідно каталогу [4]:

1 – криві фактичних гістограм розподілу; 2 – теоретичні криві нормального розподілу; n_W – кількість даних у відповідних інтервалах розподілу шахтопластів по їх вологості (W^A); $\bar{W}^t$ - середня вологість, %;
 M_W – мода для гістограм фактичного розподілу

Використовуючи цю обставину, в каталозі [4] для характеристики пилоутворюючих властивостей шахтопластів (N та q) замість загального вмісту вологи в ряді випадків наведені значення максимальної вологоємності ($W_{\max}$). Данні про $W_{\max}$ для багатьох шахтопластів запозичені з довідника [16]. Можлива похибка спільного використання даних про загальну вологу (W^A) і максимальну вологоємність ($W_{\max}$) вимагає більш детального вивчення підготовки проб вугілля до лабораторних випробувань в обох випадках.

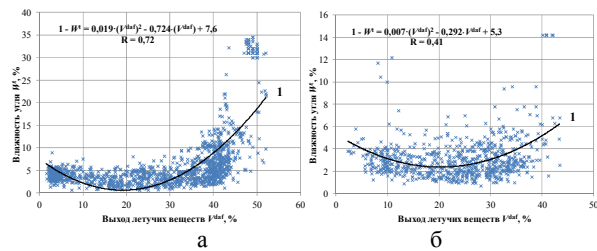


Рис. 10. Графіки взаємозалежності вологості вугілля (W^t) і виходу летких речовин (V^{daf}) для умов пологого (а) і крутопадаючого залягання (б) пластів: 1 – усереднені криві; К – кореляційне відношення; × – експериментальні дані згідно каталогу [4]

Попередньо про можливі відмінності між значеннями W^t [4] та W_{max} [16] можна судити виходячи з графіка взаємозв'язку між цими показниками (рис. 11). Середньоквадратичне відхилення від усереднюються прямий становить 3,54%. Якщо застосовувати для цього випадку правило «трьох сигм», то фактична різниця між W^t та W_{max} може скласти більш ніж 10%. Індивідуальна похибка визначення W^t та W_{max} згідно з відповідними Держстандартам становить не більше 1,5%. Значна різниця в значеннях між W^t і W_{max} , очевидно викликана методиками їх визначення з використанням різних процесів.

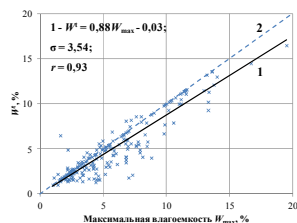


Рис. 11. Взаємозв'язок вологості вугілля W^t [4] і його максимальної вологості W_{max} [16]: 1 – усереднююча пряма; 2 – бісектриса координатної сітки; × – експериментальні дані; σ – середньоквадратичне відхилення; r – коефіцієнт кореляції

Загальну вологу визначають побічно одно- або двоступеневими методами по втраті маси проби при висушуванні в струмі азоту або на повітрі. Висушування в струмі азоту може бути застосовано до всіх видів палива, а висушування на повітрі при 105÷110°C – до палива, стійкого до окислення, яке може відбуватися в умовах визначення. Термін «стійкий до окислення» в даному контексті не має чіткого визначення. Вважається, що вугілля високих стадій метаморфізму стійкі до окислення в процесі сушіння при 105÷110°C. Що стосується бурих і молодого кам'яного вугілля, то їх стійкість або схильність до окислення можна визначити експериментально: якщо в процесі сушіння при 105÷110°C на повітрі маса навішення при контрольних просушування не збільшується, паливо можна віднести до стійким до окислення в цих умовах [15].

Максимальну вологості (W_{max}) визначають після насичення кам'яного вугілля водою і видалення вільної поверхневої вологи фільтруванням і кон-

диціювання вугілля при відносній вологості 96% і температурі 30°C. Максимальну вологості кам'яного вугілля розглядають як масову частку води в кондиційованому вугіллі [15]. Точність відповідності між показниками W^t і W_{max} , при розглянутих методах їх визначення вимагає подальшого вивчення.

Сучасна методика визначення показника V^{daf} розроблена для класифікації вугілля по їх споживчими властивостями [14]. Попередньо проби вугілля готуються до лабораторних випробувань. У підготовку проб вугілля входить його подрібнення, видалення води і збагачення до зольності, як правило, менш 10% [15]. Такий стан проб не відповідає знаходженню вугілля в виробничих умовах при його видобутку. Зокрема зольність пластової проби, яка визначається мінеральними домішками, може становити понад 40%. Її збагачення свідомо призводить до спотворення отриманих результатів визначення V^{daf} на суху беззольну масу. Отримане таким чином значення V^{daf} цілком адекватно характеризує паливо по його споживчим якостям, але воно не відповідає стану вугілля в виробничих умовах. Отже, у багатьох випадках, використовуючи сучасну методику для характеристики споживчих властивостей вугілля, можуть бути отримані однакові значення V^{daf} для шахтопластів з різною зольністю від декількох до сорока і більше відсотків. Можлива зміна зольності пластових проб після збагачення ілюструється графіком (рис. 12). Ці зміни характеризують відмінні ознаки шахтопластів по зольності вугілля. Їх можна розділити на три групи:

- I - шахтопластів з низьким вихідним зольністю вугілля (у багатьох випадках менше 10%). Їх збагачення, як правило, не проводилося;
- II - шахтопластів з такою ж зольністю вугілля, але вони були збагачені;
- III - всі інші шахтопласти з зольністю вугілля від 10 і більше відсотків із збагаченням проб.

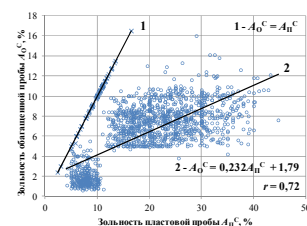


Рис. 12. Залежність зольності збагачених проб вугілля (A_0^C) від зольності пластових проб (A_n^C) для кам'яного вугілля і антрацитів Донецького і Львівсько-Волинського басейнів [16]:

- 1 – усереднююча пряма для незбагачених проб;
- 2 – усереднююча пряма для збагачених проб; × – зольність проб вугілля, збагачення яких не проводилося;
- – зольність збагачених проб; r – коефіцієнт кореляції

Кожна з цих груп шахтопластів характеризується різною точністю визначення V^{daf} через відсутність обліку впливу вихідної зольності проб, а ще

більшою мірою, змісту домішки мінеральних речовин при прогнозуванні небезпечних властивостей шахтопластів.

Тверде паливо всіх видів містить домішка мінеральних речовин, що становить його мінеральну масу. За своїм походженням мінеральні речовини вугілля можна розділити на внутрішні, які були накопичені в процесі освіти пластів вугілля, і зовнішні, що потрапили в паливо при його видобутку з навколишніх порід (покрівлі, ґрунту, прослойков пласта), зміст внутрішніх мінеральних речовин більш-менш постійно для вугілля окремого родовища і мало в порівнянні з зовнішніми мінеральними домішками, зміст яких залежить від способу видобутку вугілля [15].

Мінеральна маса вугілля являє собою суміш різноманітних неорганічних речовин. У більшості випадків її основу складають силікати алюмінію, заліза, кальцію, магнію, натрію, калію. У мінеральній масі вугілля часто зустрічаються дисульфід заліза (нітрит і марказит), карбонати кальцію, магнію (кальцит, доломіт) і заліза (сидерит), сульфати кальцію (гіпс), заліза і алюмінію, оксиди заліза, кальцію, хлориди, а також сполуки рідкісних і розсіяних елементів. В особливу групу виділяють органімінеральні сполуки вугілля - солі гумінових кислот, гумати [15].

При спалюванні палива його органічна маса видаляється у вигляді CO_2 та H_2O , а мінеральні компоненти, піддаючись ряду перетворень, утворюють золу. Зола це неорганічний залишок після повного згоряння вугілля. Маса, що утворюється золи або зольність, залежить від змісту і складу мінеральної маси вугілля, а також умов їх спалювання.

При розгляді реакцій, що відбуваються в мінеральній масі при озоленні вугілля, зроблені загальні висновки [15]:

1. В процесі спалювання вугілля і прожарювання залишку хімічний склад мінеральної маси значно змінюється, тому маса і склад золи ніколи не бувають рівні масі і складу мінеральних речовин. Не можна говорити про зміст золи в паливі, так як зола в паливі не міститься, а утворюється при його спалюванні. Можна говорити тільки про зольності вугілля або виході золи при спалюванні.

2. Серед реакцій, що протікають в мінеральній масі при озоленні вугілля, переважають реакції розкладання, тому зольність вугілля завжди виходить менше, ніж зміст мінеральної маси.

3. Кожна з реакцій протікає на певних стадіях озолення вугілля, в певному інтервалі температур. Відповідно до цього маса і склад золи, отриманої при озоленні одного і того ж вугілля, при різних температурах, будуть відрізнятися один від одного.

4. Зольність вугілля - поняття певною мірою умовне, так як маса і склад золи залежать, в основному, від умов озолення палива і, перш за все, від кінцевої температури прожарювання і швидкості озолення.

Виходячи з принципової відмінності між зольністю і мінеральними домішками слід, що вони характеризують різні властивості вугілля. Зольність є найважливішим показником якості товарного вугілля, від якого багато в чому залежать споживчі властивості і вибір шляхів використання палива. Визначення зольності і виходу летких речовин після збагачення проб вугілля до значень менше 10% призводить до знеособлення небезпечних властивостей шахтопластів при їх відпрацюванні в підземних умовах. За цією причиною показник I^{daf} не може однозначно характеризувати небезпечні властивості шахтопластів, так як він не враховує фактичний склад і властивості мінеральних домішок. Цей показник, опосередковано, в деякій мірі характеризує тільки органічну масу вугілля. Безпосередньо небезпечні властивості шахтопластів можуть характеризуватися тільки спільним складом і властивостями як органічної маси, так і мінеральних домішок вугілля при їх знаходженні в зоні видобутку (очисному забої).

Аналіз методик визначення вологості вугілля (максимальної вологості) і виходу летких речовин на суху беззольну масу багато в чому пояснює значний розкид експериментальних точок щодо усереднюються прямих (1) взаємозалежності I^{A} від I^{daf} (рис. 10). Усунення виявлених причин, що призводять до підвищених погрішностей визначення I^{daf} та I^{A} відповідно до сучасних методик, безсумнівно приведе до зменшення розкиду експериментальних даних по відношенню до усереднюються кривих. Це зайвий раз підтвердить високу кореляційний зв'язок між розглянутими показниками, які описуються неоднозначно змінюється усереднюються кривою (1). Неоднозначність складається, наприклад, в однакових значеннях I^{A} ($\approx 5,0\%$) як для високо метаморфизованих антрацитів ($I^{\text{daf}} < 5,0\%$), так і для кам'яного вугілля, близьких за показником I^{daf} ($\approx 40,0\%$) до бурого вугілля. Обидва показники є класифікаційними для встановлення ступеня метаморфічних перетворень вугілля, але вони характеризують різні окремі сторони перетворення і стану шахтопластів під впливом геологічних процесів.

В даному випадку I^{daf} є тільки непрямим показником змін складу органічної маси, який не визначає однозначно [11] зміст суми основних компонентів (вуглець, кисень, водень, азот, сірка). Крім цього I^{daf} , враховуючи методику його визначення, не має оношення до змісту мінеральних домішок. Загальна волога характеризує тільки фізико-хімічний стан вугільного пласта.

У загальному випадку під метаморфізмом розуміється зміна внутрішньої будови, хімічного складу і фізичних властивостей вугілля під впливом температури і тиску при геологічних процесах [11, 13]. Переважне застосування будь-якого одного класифікаційного показника, в тому числі I^{daf} та I^{A} , не виправдано з позицій класичного визначення поняття метаморфізму. Один показник не може одночасно і всебічно характеризувати склад, структуру,

хімічні та фізико-механічні властивості органічної маси вугілля і їх мінеральних домішок. З огляду на це, при прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів, неприпустима взаємозамінність класифікаційних показників, навіть при високій кореляційній зв'язку між ними [17]. Різні методики визначення класифікаційних показників відображають і різні властивості вугілля, придбані в процесі метаморфізму. Як правило між показниками спостерігається нелінійні залежності [11]. Одним з рідкісних випадків є прямопропорційна залежність між логарифмом питомого електроопору антрацитів ($\lg \rho$) і об'ємним виходом летких речовин V_V^{daf} . Обидва показники служать для оцінки ступеня метаморфізму антрацитів, але вони не є взаємозамінними. При тісним кореляційним зв'язком між ними ($r=0,91$) максимальні відхилення індивідуальних значень від усереднюються прямий досягали більш 200% [17]. Отримані результати свідчать, що при розробці нормативного документа [4] для оцінки пилоутворювальну здатності шахтопластів використано по суті чотири показника метаморфічних перетворень V^{daf} , W^A , N та q , які в різній мірі корелюють між собою. В роботі [12] на додаток до них залучено марки вугілля, але вони, на думку самих же авторів, не чинили істотного впливу на запиленість повітря. Це зайвий раз підтверджує, що при прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів і оцінці ступеня метаморфізму вугілля не можна ставити знак рівності між окремими показниками. Застосування кожного з них має бути обґрунтованим з урахуванням мети застосування і методик його визначення. Наприклад, в промисловій класифікації [14] марки використовуються для умовного позначення різновиду вугілля, близьких за генетичними ознаками і основним енергетичним і технологічними характеристиками, V^{daf} - для встановлення марочного складу тільки кам'яного вугілля, W_{max} - для розмежування бурого і кам'яного вугілля і т.д. Пилоутворювальну здатність (N та q) зв'язана з фізико-механічними властивостями углей, поэтому необхідно розглядати залежності N та q 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].

Механічна міцність вугілля і антрацитів офіційно відноситься до класифікаційних показників ступеня метаморфізму. Це доведено визначенням механічної міцності 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 вугілля різних марок і антрациту в міру зростання метаморфізму (рис. 13). Він цілком

придатний для характеристики пилоутворювальну здатності шахтопластів.

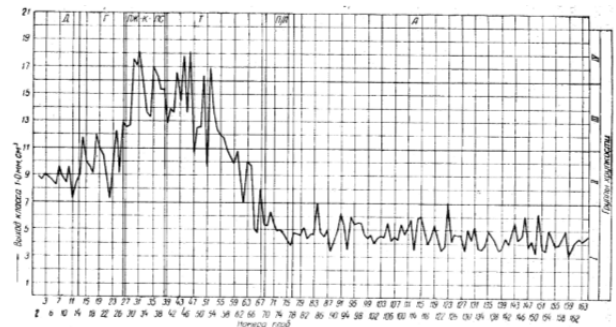


Рис. 13. Розподіл вугілля і антрацитів по крихкості (Виходу класу 1-0 мм / см³) згідно [19]

Слід зазначити, що жоден з показників, що характеризують фізико-механічні властивості не використаний [4] при градації шахтопластів по пилоутворювальну здатності.

При складанні каталогу шахтопластів за пиловим чинником [4] крім показників ступеня метаморфізму (V^{daf} , W^A , N та q) додатково використовували гірничогеологічні фактори другого блоку - кут залягання (α) і потужність пластів (m). Самі по собі показники α та m не можуть впливати на пилоутворювальну здатність шахтопластів. Їх вплив може позначатися в розходженні застосовуваних технологій і обладнання для відбою вугілля при відпрацюванні пологих і крутопадаючих шахтопластів. Для порівнянності пилоутворювальну здатності порівняли статистическі моделі показників шахтопластів пологого і крутопадаючими залягання по кожному фактору (табл. 6).

По фактору потужності пластів (m) фактичний характер розподілу шахтопластів пологого і крутопадаючими залягання мало відрізняються між собою (рис. 2). Єдина істотна відмінність між розглянутими сукупностями є різна середня потужність пластів ($\bar{m}$). За іншими показниками математичної статистики R_m , D_m , σ_m , k_e , A_S , E_K ряди розподілу також мало відрізняються між собою (табл. 1). Більш відчутна різниця між сумами шахтопластів пологого і крутопадаючими залягання спостерігаються за такими чинниками V^{daf} та W^A . За показником V^{daf} значна кількість шахтопластів пологого залягання знаходилося на початку ряду розподілу ($n_v=299$ випадку при $V^{\text{daf}} < 10\%$) і в його кінці ($n_v=352$ випадку при $V^{\text{daf}} > 40\%$). Основна кількість крутопадаючих пластів групувалися в діапазоні $V^{\text{daf}}=20\div35\%$ (404 випадки). При такому розподілі шахтопластів згідно гістограмм (рис. 4) середні значення для порівнюваних вибірок відповідно становили 27,2 та 23,3%. Тобто за середнім показником V^{daf} вугілля шахтопластів пологого падіння були менш метаморфізовані в порівнянні з вугіллям крутопадаючих пластів, незважаючи на наявність значної кількості антрацитових і полуантрацитових пластів (при $V^{\text{daf}} < 10\%$). Вугілля крутопадаючих пластів більш

Таблиця 6

**Відомості про статистичні моделі показників пилоутворювальної здатності (V^{daf} , m , W^t , N та q)
для шахтопластів пологого і крутопадаючого залягання**

залягання пластів	Показники, що визначають пилоутворювальну здатність шахтопластів згідно [4]									
	V^{daf}					m				
	n_V , шт.	$\bar{V}^{daf}$, %	M_V , %	R_V , %	σ_V , %	n_m , шт.	$\bar{m}$, %	M_m , %	R_m , %	σ_m , %
Пологе	1346	27,2	42,5	52,7	15,22	1372	1,30	0,75	5,52	0,683
Крутопадаючі	754	23,1	32,5	41,1	9,49	755	0,85	0,75	5,48	0,439
Вся сукупність вугільних шахтопластів	2100	25,8		52,7	13,60	2127	1,14		5,52	0,646
	W^t					N				
	n_W , шт.	$\bar{W}$, %	M_W , %	R_W , %	σ_W , %	n_N , шт.	$\bar{N}$, %	M_N , %	R_N , %	σ_N , %
Пологе	1371	6,3	3,0	34,3	6,24	1363	2,13	0,50	13,34	2,164
Крутопадаючі	755	3,1	2,5	13,6	1,78	752	1,21	0,50	12,33	1,031
Вся сукупність вугільних шахтопластів	2126	5,2		34,3	5,34	2115	1,80		13,34	1,894
	q									
	n_q , шт.	$\bar{q}$, %	M_q , %	R_q , %	σ_q , %					
Пологе	1364	229,0	50	2699	356,4					
Крутопадаючі	750	144,6	50	2388	139,1					
Вся сукупність вугільних шахтопластів	2114	244,2		2699	307,0					

* - Примітка: різна кількість n_V , n_m , n_W , n_N , та n_q обумовлено різною кількістю даних щодо показників V^{daf} , m , W^t , N та q , наведених в каталозі [4].

ніж в два рази містили в середньому менше вологи (3,1%) в порівнянні з вугіллям пластів пологого залягання (6,3%). Згідно ж запропонованої залежності питомої пиловиділення (q) від V^{daf} та W^t [12] з використанням їх середніх значень не встановлені суттєві відмінності в пилоутворювальну здатністю між пластами пологого і крутопадаючими залягання. Середнє значення $\bar{q}$ відповідно рівні 306 та 331 г/т. Різниця між ними знаходиться в межах точності похибок їх визначення і не відповідають експериментальним даним.

Суперечливі фактичні відмінності між показниками пилоутворювальною здатністю (N та q) між шахтопластів пологого і крутопадаючого залягання не можна пояснити значеннями факторів (α , m , V^{daf} , W^t), застосовуваних для цих цілей в посібнику [4]. З них тільки W^t побічно характеризує фізико-механічний стан вугілля. Для усунення виявлених протиріч в оцінці пилоутворювальної здатності шахтопластів додатково до показника W^t , як і показують автори [12] необхідно враховувати характеристики міцності вугілля і способи його руйнування. Можливо, що після виконання таких побажань відмінності в пилоутворювальної здатності між пластами пологого і крутопадаючого залягання буде обґрунтована різної технологією відбою вугілля. На пластах пологого падіння вона, в основному, пов'язана з використанням комбайнового або стругового виймання, а на крутопадаючих - із застосуванням відбійних молотків.

Висновки. На підставі проведених досліджень зроблено важливий для вдосконалення нормативної бази безпечного відпрацювання вугільних пластів висновок: за сформованою практикою для прогнозу

небезпечних властивостей шахтопластів в нормативних документах [1-3, 5-7], за аналогією з [4], оцінка ступеня метаморфічних перетворень вугілля виробляється по одному-двом показниками без достатнього наукового обґрунтування їх відповідності характеру виникнення небезпечного явища. Таке обґрунтування та патенти у зв'язку з тим, що практично всі класифікаційні показники (їх понад 20) Розробити й подати визначаються за методиками для встановлення споживчих властивостей вугілля. Вони безпосередньо не призначені для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів, так як в більшості випадків характеризують суху беззолу масу. Їх використання без належного обґрунтування і коригування на вміст вологи і мінеральних домішок в ряді випадків призводить до отримання суперечливих результатів

Л і т е р а т у р а

- Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: СОУ 10.1.00174088.011–2005. - [Чинний від 2005-12-01] / О.М. Брюханов, О.В. Агафонов, А.В. Анциферов [та ін.]. - Офіц. вид. - К.: Мінвуглепром України. 2005. - 224 с. - (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
- Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. - К. Основа. - 1994. - 311с.
- Руководство по предупреждению и тушению эндогенных пожаров на угольных шахтах Украины: КД 12.01.402 – 2000. - Донецк : НИИГД. – 2000, 216 с.
- Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. - М.: Недра. – 1979. - 319с.
- Пашковский П.С., Костенко В.К., Заславский В.П., Хорольский А.Т., Заболотный А.Г. [и др.]. КД 12.01.401-96 Эндогенные пожары на угольных шахтах

- Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция. Издание официальное. Донецк: НИИГД, 1997. 68 с.
6. СОУ10.1.0017-4088.011–2004. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. Издание официальное. Минтопэнерго Украины. К. – 2004. 161 с.
 7. Схеми та способи керування газовиділенням на виїмкових дільницях вугільних шахт. Державний департамент промислової безпеки, охорони праці й гірничого нагляду. Державний нормативний акт про охорону праці. К. – 2006. 78 с.
 8. Кошовский Б.И., Пашковский П.С., Карасева В.В. Пути повышения достоверности определения склонности углей к самовозгоранию // Уголь Украины. 2008. №12. С. 45-47.
 9. Ганова С. Д., Скопинцева О. В., Исаев О. Н. К вопросу исследования состава углеводородных газов угольных пластов и пыли с целью возможного прогнозирования их потенциальной опасности / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 6. С. 109-115.
 10. Опарин В. Н. и др. О некоторых особенностях взаимодействия между геомеханическими и физико-химическими процессами в угольных пластах Кузбасса/ Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. №. 2. С. 3-30.
 11. Antoshchenko M., Tarasov V., Zakharova O., Zolotarova O., Petrov A. Analysis of metamorphism and tendency of black coals to spontaneous combustion / Technology audit and production reserves. 2019. Т. 6, N 1(50). pp. 18-25. DOI : 10.15587/2312-8372.2019.191902.
 12. Медведев Э.Н., Саранчук В.И., Качан В.Н. Оценка пылеобразующей способности углей в ряду метаморфизма // Уголь Украины. 1984. №8. С. 32-33.
 13. ГОСТ 17070-2014. Межгосударственный стандарт. Угли. Термины и определения Издание официальное. М.: Стандартинформ. 2015. 15с
 14. ГОСТ 25543-2013. Межгосударственный стандарт. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. Издание официальное. М.: Стандарт-информ. 2014. 19 с.
 15. Августевич И.В., Сидорук Е.И., Броновец Т. М. Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. М.: «Реклама мастер», 2019. 576 с.
 16. Справочник по качеству каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов. Донецкий научно-исследовательский угольный институт. – М.: Недра.–1972. – 168 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., Шикарев Д.А. Петрография и физические свойства углей. М.: Недра. 1980. 263 с.
 19. Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна. Донецкий научно-исследовательский угольный институт (ДонУТИ). Вып. VIII. М.: Углетехиздат. 1954. 432 с.
 - in.]. - Ofits. vyd. - K.: Minvuhleprom Ukrayiny. 2005. - 224 s. - (Normativnyy dokument Minvuhlepromu Ukrayiny. Standart).
 2. Rukovodstvo po proektyrovannyu ventilyatsyy uhol'nykh shakht. – K. Osnova. – 1994. – 311s.
 3. Rukovodstvo po preduprezhdenyuu y tushenyyu endohennykh pozharov na uhol'nykh shakhtakh Ukrayny: KD 12.01.402 – 2000. – Donetsk : NYIHD. – 2000, 216 s.
 4. Rukovodstvo po bor'be s pyl'yu v uhol'nykh shakhtakh. – M.: Nedra.–1979. – 319s.
 5. Pashkovskyy P.S., Kostenko V.K., Zaslavskyy V.P., Khorol'skyy A.T., Zabolotnyy A.H. [y dr.]. KD 12.01.401-96 Endohennyye pozhary na uhol'nykh shakhtakh Donbassa. Preduprezhdenye y tushenye. Ynstruksyya. Yzdanye ofytsyal'noe Donetsk: NYIHD, 1997. 68 s.
 6. SOU10.1.0017-4088.011–2004. Dehazatsyya uhol'nykh shakht. Trebovannya k sposobam y skhemy dehazatsyy. Yzdanye ofytsyal'noe. Myntopenerho Ukrayny. K. – 2004. 161 s.
 7. Skhemy ta sposoby keruvannya hazovydilenniam na vyimkovykh dil'nytyakh vuhil'nykh shakht. Derzhavnyy departament promyslovoyi bezpeky, okhorony pratsi y hirnychoho nahlyadu. Derzhavnyy normativnyy akt pro okhoronu pratsi. K. – 2006. 78 s.
 8. Koshovskyy B.Y., Pashkovskyy P.S., Karaseva V.V. Puty povyshenyya dostovernosti opredelenyya sklonnosti uhley k samovoz'horanyuu // Uhol' Ukrayny. 2008. №12. S. 45-47.
 9. Hanova S. D., Skopyntseva O. V., Ysaev O. N. K voprosu yssledovannya sostava uhlevodorodnykh hazov uhol'nykh plastov y pyly s tsel'yu vozmozhnogo prohnozyrovannya ykh potentsyal'noy opasnosti / Yzvestyya Tomskoho polytekhnycheskoho unyversyteta. Ynzhyntyrnyh heoresurov. 2019. T. 330. № 6. S. 109-115.
 10. Oparyn V. N. y dr. O nekotorykh osobennostyakh vzaymodeystviya mezhdz heomekhanicheskymy y fizyko-khymicheskymy protsessamy v uhol'nykh plastakh Kuzbassa/ Fyzyko-tekhnycheskye problemy razrabotky poleznykh yskopaemykh. 2014. №. 2. S. 3-30.
 11. Antoshchenko M., Tarasov V., Zakharova O., Zolotarova O., Petrov A. Analysis of metamorphism and tendency of black coals to spontaneous combustion / Technology audit and production reserves. 2019. Т. 6, N 1(50). pp. 18-25. DOI : 10.15587/2312-8372.2019.191902.
 12. Medvedev É.N., Saranchuk V.Y., Kachan V.N. Otsenka pylobrazuyushchey sposobnosti uhley v ryadu metamorfyzma // Uhol' Ukrayny. 1984. №8. S. 32-33.
 13. HOST 17070-2014. Mezhhosudarstvennyy standart. Uhly. Termyny y opredelenyya Yzdanye ofytsyal'noe. M.: Standartynform. 2015. 15s
 14. HOST 25543-2013. Mezhhosudarstvennyy standart. Uhly burye, kamennyye y antratsyty. Klassyfykatsyya po henetycheskym y tekhnolohycheskym parametram. Yzdanye ofytsyal'noe. M.: Standart-ynform. 2014. 19 s.
 15. Avhushevykh Y.V., Sydoruk E.Y., Bronovets T. M. Standartnye metody yspytannya uhley. Klassyfykatsyy uhley. M.: «Reklama master», 2019. 576 s.
 16. Spravochnyk po kachestvu kamennykh uhley y antratsytov Donetskoho y L'vovsko-Volynskoho basseynov. Donetskyi nauchno-yssledovatel'skyy uhol'nyy ynstytut. – M.: Nedra.–1972. – 168 s.
 17. Antoshchenko N.Y., Tarasov V.YU., Zayka R.H., Zolotareva E. V., Zakharova O.Y K voprosu opredelenyya klassyfykatsyonnykh pokazateley uhley dlya ustanovlenyya opasnykh svoystv shakhtoplastov /

References

- Heotekhnicheskaya mekhanyka: mezhved. sb. nauch. tr. YHTM NAN Ukrainy. 2020. № 152. S. 149-159.
18. Eremyn Y.V., Lebedev V.V., Shykarev D.A. Petrohrafyya y fizycheskiye svoystva uhley. M.: Nedra. 1980. 263 s.
 19. Heoloho-uhlekhymskaya karta Donetskoho basseyna. Donetskyy nauchno-ysledovatel'skiy uhol'nyy ynstytut (DonUHY). Vyp. VIII. M.:Uhletekhydat. 1954. 432 s.

Antoshchenko M. I., Rudniev Y.S., Filatyeva E. M., Melkonova I. V., Melkonov H. L. On the selection of indicators of the degree of coal metamorphism for the forecast of dangerous properties of shaktoplast

The idea of the work is to study statistical models of individual indicators of dust-forming capacity of coal mines, known from normative-reference data on the quality and properties of fossil coal. In particular, the manual [4] provides data (catalog) on the dust-forming capacity of more than two thousand mines. The factors of the first block that determine the composition and properties of coal are the yield of volatile substances during thermal decomposition of coal without access of air (V^{daf}), humidity of coal (W^d), dust content in the reflected coal (N) and specific dust (q). In addition to these indicators of the first block, when determining the groups of layers by the dust factor, the factors of the second block were taken into account - layer thickness (m) and angle of incidence (α) with gradation of 35° and more than 35° [4]. In essence, the values of the indicators of the first block (V^{daf} , W , N , q) are a consequence of the influence of metamorphic processes of transformation of coal mines, and the second (α , m) - refer to the mining and geological conditions of the strata. Statistical models of distribution of these factors allow to establish connections between them and possibility of their use for improvement of the forecast of dust formation and other dangerous properties of mines. When compiling the catalog of mine shafts by dust factor, in addition to the indicators of the degree of metamorphism (V^{daf} , W^d , N and q), the mining and geological factors of the second block were additionally used - the angle of occurrence (α) and the thickness of the

formations (m). By themselves, the values of α and m can not affect the dust-forming capacity of mines. Their influence can affect in a divergence of the applied technologies and the equipment for a coal shutdown at working off of sloping and steeply falling shafts. For comparability of dust-forming ability compared statistical models of indicators of shafts of shallow and steeply falling deposits on each factor. Based on the research, an important conclusion was made to improve the regulatory framework for safe mining of coal seams: according to the established practice for forecasting the hazardous properties of mines in regulations [1-3, 5-7], by analogy with [4], the degree of metamorphic transformations of coal on one or two indicators without sufficient scientific substantiation of their compliance with the nature of the dangerous phenomenon.

Key words: : coal seams, properties, dust formation, moisture, metamorphism, regulatory documents.

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

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

Філатєва Е.М. – к.т.н., старший викладач кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля elafilatyeva@gmail.com

Мелконова І.В. – к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, melkonova@snu.edu.ua

Мелконов Г.Л. – к.т.н., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, g.melkonov78@snu.edu.ua

Стаття подана 22.08.2021.