

© Є.С. Руднєв<sup>1</sup>, М.І. Антощенко<sup>1</sup>, Е.М. Філатьєва<sup>1</sup>, М.В. Філатьєв<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Сєверодонецьк, Україна

## ВПЛИВ ВМІСТУ КИСНЮ НА ПРОЯВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГІЛЬНИХ ШАХТОПЛАСТІВ

© Ye. Rudniev<sup>1</sup>, M. Antoshchenko<sup>1</sup>, E. Filatieva<sup>1</sup>, M. Filatiev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

## INFLUENCE OF OXYGEN CONTENT ON THE MANIFESTATION OF HAZARDOUS PROPERTIES OF COAL SEAMS

**Мета.** Для вдосконалення нормативної бази з безпечного ведення гірничих робіт встановити вплив мінеральних домішок та вологи на точність визначення вмісту кисню в умовах, наближених до умов відпрацювання вугільних шахтопластів.

**Методика дослідження** заснована на тому, що практично для всіх шахтопластів Донбасу та Львівсько-Волинського басейну встановлено показники споживчих якостей твердого палива, але вони характеризують лише одну органічну (горючу) частину на сухий беззолний стан. В даному випадку не враховується вплив мінеральних домішок (їх вміст для багатьох пластів перевищує 30-40%) та вологи на зміну вмісту кисню. Від співвідношення вмісту кисню з іншими компонентами органічної маси та мінеральних домішок залежить прояв багатьох небезпечних властивостей шахтопластів. Для приведення показників якості вугілля до стану, близького до умов ведення гірничих робіт, проведено їх перерахунок для кожного пласту з урахуванням фактичного виходу золи та загальної вологи.

**Результати дослідження.** Застосовуваний у нормативних документах щодо безпечного ведення гірничих робіт показник виходу легких речовин для оцінки метаморфічних перетворень шахтопластів не встановлює тип вугілля за його відновленістю. Відновленість визначає властивості органічної маси на підставі співвідношення кисню з іншими її основними компонентами. Крім органічної маси на сухий беззолний стан до складу твердого палива входять мінеральні домішки та волога. Вони суттєво впливають на зміну співвідношення між основними компонентами. Вміст вуглецю в органічній (горючій) масі є більш інформативним порівняно з виходом легких речовин, показником. Він функціонально контролює суму інших компонентів - водню, азоту, сірки та кисню. У меншій мірі, але досить висока тіснота кореляційної взаємозалежності встановлена між вмістом кисню та вуглецю на сухий беззолний стан палива. Така взаємозалежність повністю усувається при розгляді палива на його робочий стан, що свідчить про випадковий характер співвідношення між основними компонентами органічної маси та мінеральних домішок, у тому числі і вологи для кожного шахтопласту.

**Наукова новизна.** Вперше на підставі статистичної обробки експериментальних даних про якість вугілля практично для всіх шахтопластів Донбасу та Львівсько-Волинського басейнів встановлено можливі межі вмісту кисню на робочий стан палива, що дозволяє індивідуально розглядати для кожного шахтопласту співвідношення між основними компонентами органічної маси та мінеральних домішок.

**Практичне значення.** Результати досліджень дозволяють розробити пропозиції щодо вдосконалення нормативної бази у частині прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів при веденні гірничих робіт.

**Ключові слова:** вугілля, метаморфізм, відновленість, кисень, маса, органічна, мінеральні домішки, сухе, беззолне, робоче, шахтопласти, безпека, нормативна база, удосконалення.

**Вступ.** Згідно з офіційно прийнятим визначенням [1] метаморфізмом є перетворення бурого вугілля послідовно на кам'яне вугілля та антрацит внаслідок зміни хімічного складу, структури та фізичних властивостей вугілля у надрах переважно під впливом температури та тиску. Близькою до такої характеристики є загальний науковий опис геологічних процесів перетворення гірських порід. В цьому випадку [2] під метаморфізмом передбачається зміна осадових та магматичних гірських порід (перекристалізація, мінералізація та хімічні перетворення), в результаті якої вони перетворюються на метаморфічні гірські породи. Ендогенний метаморфізм відбувається під впливом на породи тепла, флюїдів, а також тиску шарів Землі, що лежать вище.

При складанні геолого-хімічної карти Донецького басейну [3] визнавалося одностороннє збільшення вмісту вуглецю та зниження інших основних компонентів у елементному складі вугілля при посиленні впливу метаморфічних процесів. Незважаючи на це, при розробці, промислових класифікацій в якості показника ступеня метаморфізму, був прийнятий вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря ( $V^{daf}$ ). Залежно від виходу летких речовин також було встановлено максимальні та мінімальні значення вуглецю, кисню, товщини пластичного шару, виходу нафталінового екстракту, теплоти згоряння та механічної міцності по копру. При тому самому виході летких речовин значення інших показників змінювалися в широких межах. На цій підставі зроблено висновок, що показник  $V^{daf}$  є наближеним показником метаморфізму та виявлено існування типів вугілля, що відрізняються між собою за відновленістю з комплексом властивих їм якостей [3]. Відновленість встановлює відмінності у хімічних, фізичних та спікаючих властивостях вугілля однакового ступеня вуглефікації та петрографічного складу, зумовлені характером вихідної рослинності та умовами її перетворення на початкових стадіях вуглефікації. Відновлене вугілля характеризується підвищеним вмістом вуглецю та зниженим вмістом кисню, вищим виходом летких речовин і кращім спіканням, більшою теплоотою згоряння, високим виходом смол коксування, вищим вмістом сірки та основних оксидів, мінеральних домішок, зниженою механічною міцністю [4].

Приналежність вугілля до типу їх відновленості, крім  $V^{daf}$ , врахована ще дев'ятьма показниками для характеристики споживчих якостей вугілля сучасною промисловою класифікацією [5]. До них відносяться: показник відбиття вітриніту; найвища теплота згоряння на вологий беззольний стан палива; сума фюзенізованих компонентів; максимальна вологоємність на беззольний стан; вихід смоли напівкоксування на сухий беззольний стан; товщина пластометричного шару; показник (індекс) вільного спучування; об'ємний вихід летких речовин на сухий беззольний стан палива; показник анізотропії відбиття вітриніту. Усе ці показники успішно підібрані експериментальним шляхом виходячи з їх кореляції з найважливішими технологічними властивостями вугілля. Жоден із наведених показників безпосередньо не характеризує зміну складу органічної речовини та мінеральних домішок на різних стадіях перетворення шахтоплас-

тів. Усі прийняті у промисловій класифікації показники, зокрема і  $V^{daf}$ , характеризують не вугілля загалом, а лише його органічну масу [6]. Розглянута органічна маса в промисловій класифікації [5] наведена, як правило, на сухий беззольний її стан (daf), що не відповідає робочому стану вугілля під час гірничих робіт. Незважаючи на такі обставини у чинній нормативній базі України з безпечного ведення гірничих робіт [7-16] для прогнозу прояву небезпечних властивостей шахтопластів із раніше розроблених промислових класифікацій, без достатнього наукового обґрунтування, запозичен показник  $V^{daf}$  для характеристики метаморфічних перетворень шахтопластів. Необґрунтованість застосування показника  $V^{daf}$  для встановлення небезпечних властивостей шахтопластів полягає в тому, що він характеризує лише деяку органічну (горючу) частину палива і при цьому не враховується вміст мінеральних домішок та вологи. Крім цього він не відповідає загальноприйнятому визначенню метаморфізму [1,2], оскільки безпосередньо не характеризує зміну складу вугілля при геологічних процесах.

Якщо для промислової класифікації розгляд показників на сухий беззольний стан палива є необхідною умовою визначення якості вугілля, то для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів такий стан не відповідає умовам ведення гірничих робіт.

З розглянутого аналізу слідує, що наведені у довідниках [17, 18] показники, враховуючи методики їх визначення, не мають безпосереднього відношення до прояву небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт у підземних умовах. Вони характеризують лише одну частину сухої беззольної органічної (горючої) складової вугілля. Частка мінеральних домішок, судячи з виходу золи, у ряді випадків може перевищувати 40% [17, 18], що безсумнівно, може відображатися на прояві небезпечних властивостей шахтопластів. Показники елементного складу органічної (горючої) маси визначаються без розгляду вмісту вологи, від якої багато в чому залежать фізико-механічні та фізико-хімічні властивості вугільних шахтопластів. Одним із основних елементів, що може впливати на прояв небезпечних властивостей шахтопластів, є кисень. Він міститься як в органічній, так й в мінеральній масі палива та багато в чому визначає відношеність вугілля.

**Ідея** полягає у розгляді можливості використання експериментальних даних про вміст кисню на сухий беззольний стан [17, 18] для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів після перерахунку значень вмісту кисню з поправками на вміст мінеральних домішок та загальної (пластової) вологи.

**Мета** – для вдосконалення нормативної бази з безпечного ведення гірничих робіт встановити вплив мінеральних домішок та вологи на точність визначення вмісту кисню в умовах, наближених до умов відпрацювання вугільних шахтопластів.

**Методика** заснована на тому, що споживчі якості твердого палива визначені на підставі аналітичних проб, доведених до повітряно-сухого стану (аналітичний стан). Результати, виражені на інші стани палива є розрахунковими. Перерахунок проводять виходячи із зольності, вологості та вмісту мінеральної маси [6, 19].

У даному випадку формулами для перерахунку є:  
– із сухого беззольного стану:

$$O^r = O_{\Gamma} \cdot \frac{100 - (W_t^r + A^r)}{100}, \% ; \quad (1)$$

– з органічної маси:

$$O^r = O_{\Gamma} \cdot \frac{100 - (W_t^r + MM^r)}{100}, \% ; \quad (2)$$

де  $O_{\Gamma}$  – вміст кисню у горючій масі, %;  $O^r$  – вміст кисню для робочого стану палива, %;  $W_t^r$  – загальна волога для робочого стану палива, %  $A^r$  – зольність проби, %;  $MM^r$  – мінеральна маса для робочого стану, %.

Загальну вологу для робочого стану палива для кожного шахтопласту наведено в довідниках [17, 18]. Там же є відомості про зольність пластової ( $A_{\Pi}^r$ ) і збагаченої ( $A_0^r$ ) проб.

Перерахунок вмісту кисню на робочий стан палива ( $O^r$ ) за рівнянням (2) затруднений через відсутність надійного методу визначення у вугіллі вмісту мінеральних домішок [6].

Для всіх шахтопластів, наведених у довіднику [17], використовуючи дані про зольність збагачених ( $A_0^r$ ) та пластових ( $A_{\Pi}^r$ ) проб, і вміст загальної вологи ( $W_t^r$ ), за рівнянням (1) розраховували вміст кисню, відповідно для збагачених ( $O_0^r$ ) та пластових ( $O_{\Pi}^r$ ) проб. Аналогічні розрахунки зроблено для шахтопластів, зазначених у довіднику [18], але тільки суми вмісту кисню і азоту, відповідно для збагачених ( $\Sigma O_0^r, N_0^r$ ) та пластових ( $\Sigma O_{\Pi}^r, N_{\Pi}^r$ ) проб.

**Основна частина.** Ступінь впливу збагачення вугілля та використання аналітичних проб на зміни показників вмісту кисню на робочий стан палива, встановили шляхом порівняння графіків, що характеризують відповідно результати для збагачених (рис. 1, а) та пластових (рис. 1, б) проб.

Процес збагачення сприяє видаленню деякої кількості мінеральних домішок, що підвищує якість споживчих властивостей вугілля. Ідеальним гіпотетичним варіантом збагачення є видалення практично всіх (100%) мінеральних домішок. Цьому випадку відповідає ( $O_0^r = O_{\Gamma}$ ) бісектриса (2) координатної сітки (рис. 1, а). Взаємне розташування бісектриси (2) та усереднюючої прямої (1), а також коефіцієнт регресії (0,93) та вільний член (0,04) рівняння (1) свідчать, що залишок мінеральних домішок після збагачення викликає відносне зниження вмісту кисню в середньому від 3 до 7,0%. Таке відносне зниження збільшується по мірі збільшення вмісту кисню у горючій масі. При абсолютному значенні  $O_0^r = 1,0\%$  середнє відносне значення кисню знижується на 3%, а при  $O_0^r = 15,0\%$

– на 6,7%. При абсолютному вмісті кисню [17] у горючій масі від 0,3 до 14,6% у більшості випадків максимальне його зниження в абсолютних цифрах для окремих шахтопластів перебуває у межах  $0,02 \div 0,98\%$ . Ці цифри отримані виходячи з розташування бісектриси (2), усереднюючої прямої (1) та середньоквадратичних відхилень індивідуальних даних ( $\sigma=0,27\%$ ) від усереднюючої прямої за правилом "трьох сигм" (рис. 1, а). Така точність визначення вмісту кисню цілком влаштовує при встановленні елементного складу органічної (горючої) маси на сухий беззолний стан для з'ясування споживчих властивостей вугілля.

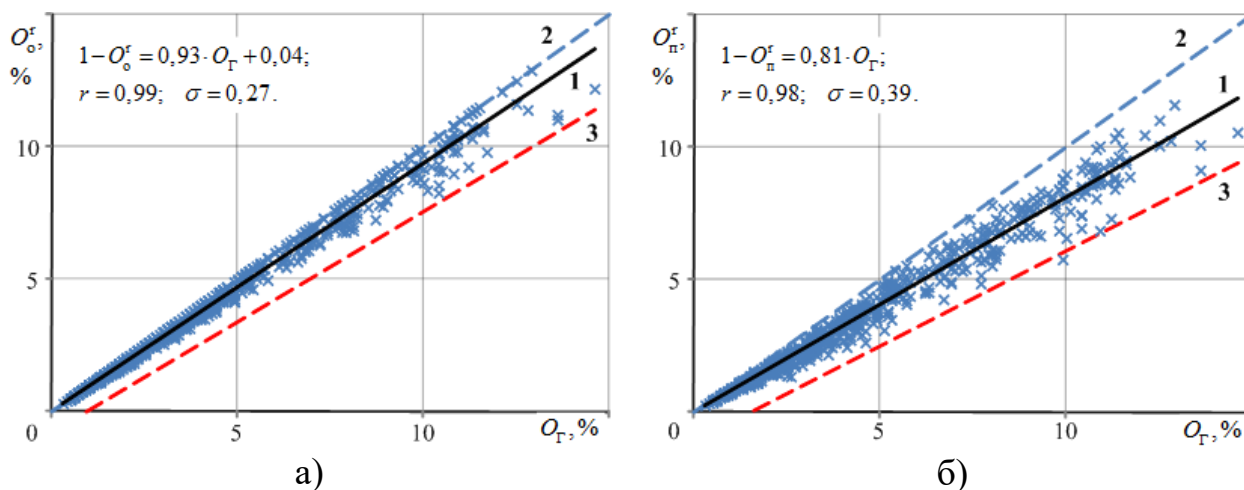


Рис. 1. Результати перерахунку вмісту кисню у горючій масі на робочий стан палива для збагачених  $O_o^r$  (а) та пластових  $O_n^r$  (б) проб вугілля: 1 – усереднюючі прямі; 2 – бісектриси координатних сіток; 3 – криві, що визначають можливу межу максимальних відхилень індивідуальних значень від усереднюючих прямих (1) за правилом "трьох сигм";  $r$ ,  $\sigma$  – відповідно коефіцієнти кореляції та середньоквадратичні відхилення;  $\times$  – експериментальні дані [17] о горючій масі кисню ( $O_G$ ), що перераховані на робочий стан за методикою [6, 19]

Цілком інші похибки отримані при перерахунку вмісту кисню, на стан близький до виробничих (робочий  $r$ ) умов, за яких відбуваються прояви небезпечних властивостей шахтопластів. Для цього випадку усереднююча пряма (1) також характеризується високим значенням коефіцієнта кореляції (0,98), але вона розташована на значно більшому віддаленні від бісектриси (2) координатної сітки (див. рис. 1, б). Це слідує із значень коефіцієнта регресії рівняння 1 (0,81) та відсутність вільного члена.

Вплив природного вмісту мінеральних домішок та загальної вологи на відносне середнє зниження вмісту кисню при перерахунку на стан вугілля в середньому оцінюється в 19,0%. Для аналізованої кількості вибірки шахтопластів (734) абсолютний вміст кисню в горючій масі перебував у межах  $0,3 \div 14,6\%$ . Зниження його вмісту при перерахунку на робочий стан, з урахуванням фактичного виходу золи та загальної вологи у вугіллі кожного шахтопласту, в абсолютних цифрах знаходиться в інтервалі  $0,00 \div 10,66\%$ . Це свідчить з отриманої залежності (1) та відповідних графіків (див. рис. 1, б).

З порівняння графіків (див. рис. 1, а) та (див. рис. 1, б) слідує, що попереднє збагачення та розгляд елементного складу на сухий беззольний стан проб вугілля визначає практично функціональну залежність вмісту кисню. Видалення деякої випадкової кількості мінеральних домішок та повністю зовнішньої вологи значною мірою систематизувало співвідношення між вмістом кисню в горючій масі та перерахованими його значеннями на робочий стан. Однак прийняті до розрахунку вихідні стани проб не відповідають природному стану вугілля в зоні ведення робіт, тому що не враховується фактичний вміст мінеральних домішок та вологи. З цієї причини, незважаючи на практично функціональну залежність (1) та незначні значення середньоквадратичних відхилень (рис. 1, а), перераховані результати для цього випадку немає підстав використовувати для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів.

Наявність у пластових пробах природного вмісту мінеральних домішок та загальної вологи суттєво впливають на результати перерахунку на робочий стан (див. рис. 1, б). У першу чергу це викликало значні відхилення індивідуальних значень від усереднюючої прямої (1), що не дозволяє використовувати усереднені значення вмісту кисню, перераховані на робочий стан вугілля для визначення небезпечних властивостей конкретного шахтопласту.

Вміст загальної вологи є одним із основних показників ступеня метаморфізму вугілля, але він, як правило, не використовується в нормативних документах для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів [20]. Залежність вмісту мінеральних домішок від ступеня метаморфічних перетворень загалом не встановлена, та їх присутність у пластових пробах вугілля окремого шахтопласту носить закономірний характер [6]. Це вказує на можливість індивідуальної характеристики окремого шахтопласту за вмістом кисню, перерахованого на робочий стан з урахуванням значень загальної вологи та загальної золи.

Вміст кисню в органічній (горючій) масі на сухий беззольний стан є допоміжним показником однієї зі сторін метаморфічних перетворень. Вміст же вуглецю в органічній (горючій) масі належить до одного з основних показників метаморфічних перетворень [20], оскільки він функціонально контролює суму інших основних компонентів (кисень, водень, азот, сірка). Залежність окремих компонентів органічної маси від вуглецю не так однозначна. Зокрема це стосується й вмісту кисню в органічній (горючій) масі (рис. 2, а). Ця залежність є суто нелінійною та характеризується високим значенням коефіцієнта детермінації ( $R^2=0,87$ ). Тіснота залежності вмісту кисню від вуглецю, стан яких перерахований на робочий по вихідному виходу золи та вмісту загальної вологи в збагачених пробах, суттєво нижчий (рис. 2, б). Для цього випадку  $r=-0,64$  і вдвічі збільшилося середньоквадратичне відхилення індивідуальних значень від усереднюючої прямої ( $\sigma = 2,21$ ).

Про наявність конкретної залежності вмісту кисню від вуглецю не доводиться констатувати для випадку їх приведення до робочого стану на підставі даних пластових проб (рис. 2, в). Вона характеризується практичною відсутністю кореляційної залежності ( $r=-0,34$ ) і великим середньоквадратичним відхиленням індивідуальних значень ( $\sigma=2,39$ ) від усереднюючої прямої (1).

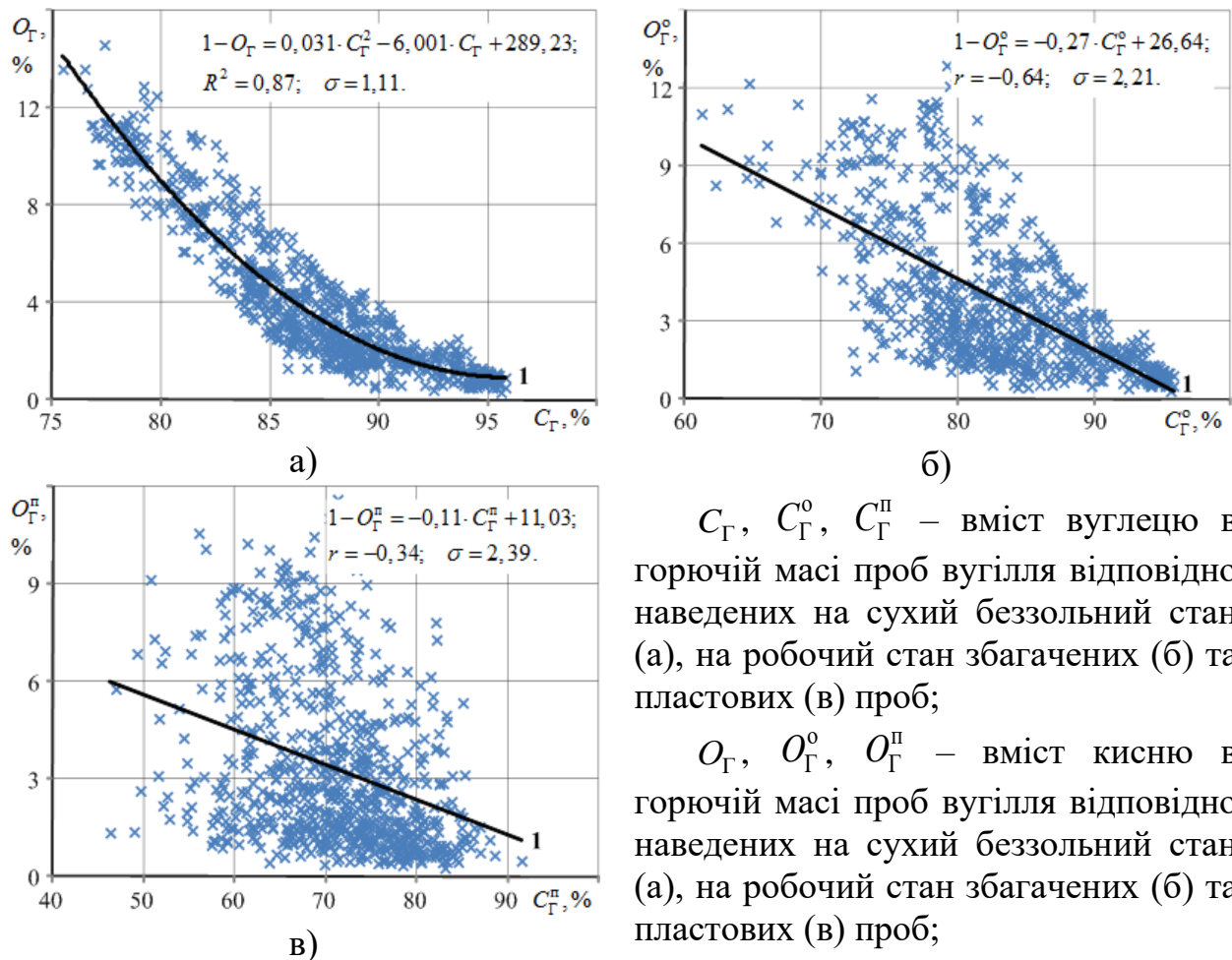


Рис. 2. Залежність вмісту кисню від вуглецю на сухий беззольний стан горючої маси (а) і перерахований відповідно на їх робочий стан збагачених (б) та пластових (в) проб: 1 – усереднюючі криві (прямі);  $R^2$  і  $r$  – відповідно коефіцієнти детермінації та кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичні відхилення;  $\times$  – значення вмісту кисню та вуглецю, наведені в нормативно-довідковому документі [17] на сухий беззольний стан горючої маси (а) та перераховані на робочий стан згідно до [6, 19] відповідно збагачених (б) та пластових (в) проб

Графік (див. рис. 2, а) свідчить про безперечну нелінійну залежність вмісту кисню від вуглецю на сухий беззольний їхній стан в органічній речовині з чітко вираженим зниженням вмісту кисню при посиленні впливу метаморфічних процесів (збільшення  $C_{\Gamma}$ ). Зниження вмісту мінеральних домішок ( $A^r < 10\%$ ) після збагачення вугілля та його спільного розгляду із пластовою вологою призвели до істотного зниження кореляційної залежності між розглянутими компонентами при перерахунку на робочий стан (див. рис. 2, б). Ослаблення цього зв'язку викликано частковим збагаченням вугілля (наявністю випадкової залишкової кількості мінеральних домішок) та присутністю загальної вологи, які індивідуально відрізняються для кожного шахтопласту.

Розгляд зв'язку між компонентами після їх приведення до робочого стану на підставі фактичної пластової зольності та загальної вологості викликав непередбачуваний перерозподіл ступеня впливу факторів на вміст кисню (див. рис. 2, в).



Природна випадкова присутність мінеральних домішок та різне значення загальної вологи у пластових пробах усунули монопольну метаморфічну залежність вмісту кисню в органічній сухій беззольній масі від вуглецю. Внаслідок цього стався перерозподіл ступеня впливу факторів на компоненти  $O^r$  та  $C^r$ . Розгляд пластових проб вугілля за участю вмісту мінеральних домішок та загальної вологи розширив кількість впливаючих факторів.

Аналогічні результати перерахунку вмісту суми кисню та азоту в горючій масі на робочий стан палива для збагачених та пластових проб вугілля отримані на підставі вихідних даних [18] (рис. 3). Наявність вмісту азоту при спільному розгляді з киснем дещо призвело до зменшення коефіцієнтів регресії рівняння (1) порівняно з результатами (див. рис. 1) обробки даних згідно [17]. Для вмісту кисню на горючий стан коефіцієнт регресії рівняння 1 становив 0,84 (рис. 3, а), а для робочого - 0,70 (рис. 3, б). За іншими статистичними показниками  $r = 0,997$ ,  $\sigma = 0,26$  (рис. 3, а) та  $r = 0,98$ ,  $\sigma = 0,58$  (рис. 3, б) аналізовані залежності були близькі до значень (рис. 1), отриманим при обробці даних [17]. Це свідчить про основну частку впливу результати перерахунку кисню і у меншій мірі азоту.

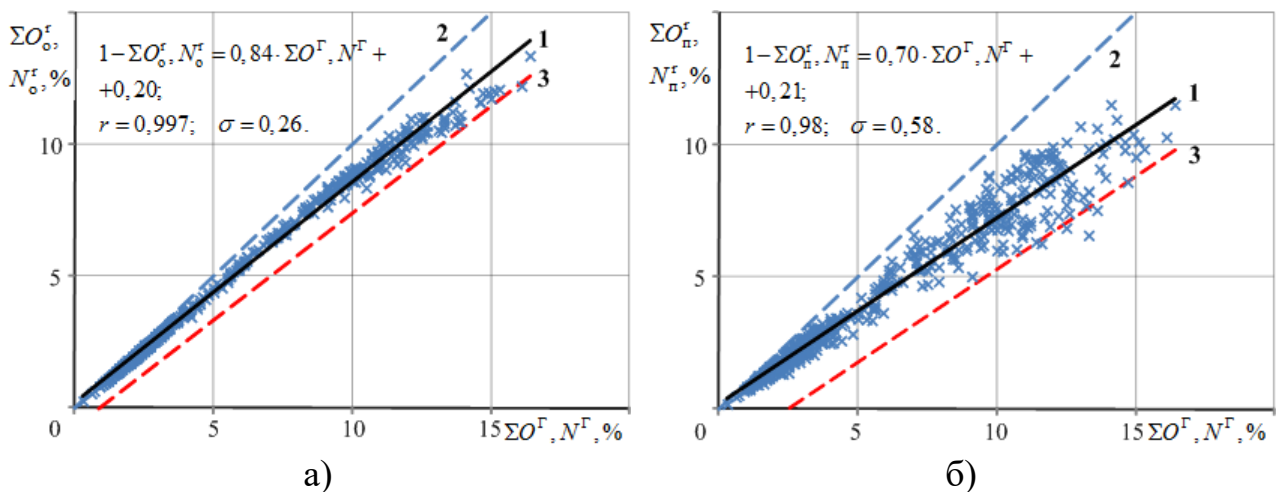
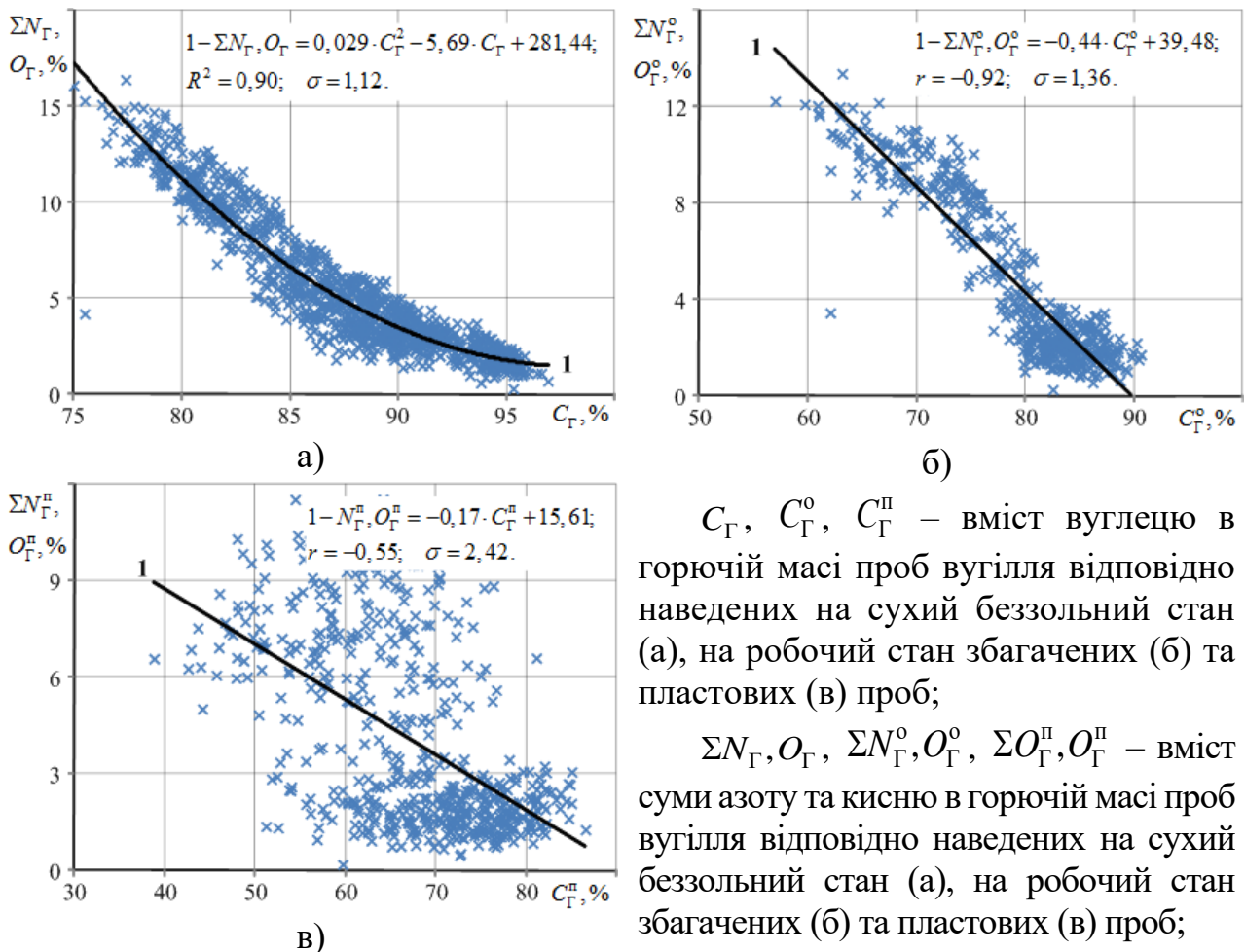


Рис. 3. Результати перерахунку вмісту суми кисню та азоту у горючій масі на робочий стан палива для збагачених (а) та пластових (б) проб вугілля: 1 – усереднюючі прямі; 2 – бісектриси координатних сіток; 3 – прямі, що визначають можливу межу максимальних відхилень індивідуальних значень від усереднюючих прямих (1) за правилом "трьох сигм";  $r$ ,  $\sigma$  – відповідно коефіцієнти кореляції та середньоквадратичні відхилення;  $\times$  – експериментальні дані [18] про горючу масу суми кисню та азоту ( $\Sigma O^r, N^r$ ), перераховані на робочий стан за методикою [6, 19]

Підтвердженням цьому є близькі, практично однакові, емпіричні залежності (1) кисню (див. рис. 2, а) і суми азоту та кисню (рис. 4, а) від вмісту вуглецю в горючій масі. Значною мірою близькість цих залежностей пояснюється низьким вмістом азоту ( $0,7 \div 1,8\%$ ) та незначною його зміною на всіх стадіях метаморфічного перетворення пластів (рис. 5). Вміст же кисню на цих стадіях піддається значному активному скорочення з 14,6 до 0,3% [17].





$C_{\Gamma}$ ,  $C_{\Gamma}^{\circ}$ ,  $C_{\Gamma}^{\Pi}$  – вміст вуглецю в горючій масі проб вугілля відповідно наведений на сухий беззолний стан (а), на робочий стан збагачених (б) та пластових (в) проб;

$\Sigma N_{\Gamma}, O_{\Gamma}$ ,  $\Sigma N_{\Gamma}^{\circ}, O_{\Gamma}^{\circ}$ ,  $\Sigma O_{\Gamma}^{\Pi}, O_{\Gamma}^{\Pi}$  – вміст суми азоту та кисню в горючій масі проб вугілля відповідно наведений на сухий беззолний стан (а), на робочий стан збагачених (б) та пластових (в) проб;

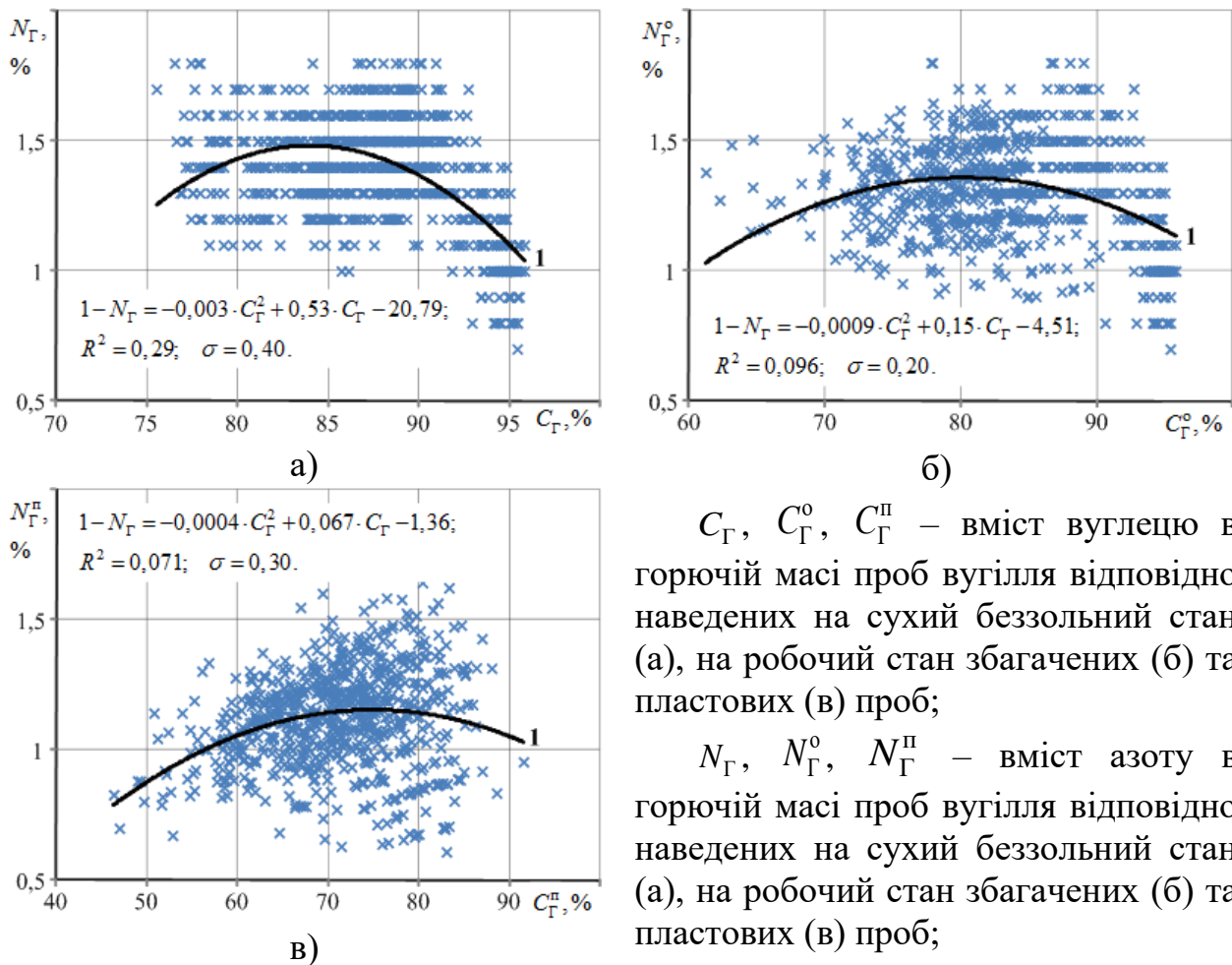
Рис. 4. Залежність вмісту суми азоту та кисню від вуглецю на сухий беззолний стан горючої маси (а) і перерахований відповідно на їх робочий стан збагачених (б) та пластових (в) проб: 1 – усереднюючі криві (прямі);  $R^2$  и  $r$  – відповідно коефіцієнти детермінації та кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичні відхилення;  $\times$  – значення вмісту суми азоту і кисню та вуглецю, наведені в нормативно-довідковому документі [18] на сухий беззолний стан горючої маси (а) та перераховані на робочий стан згідно до [6, 19] відповідно збагачених (б) та пластових (в) проб

Вміст азоту в горючій масі на ранніх та середніх стадіях метаморфічного перетворення шахтопластів ( $C_{\Gamma} < 90\%$ ) залишається практично постійним у вузькому діапазоні зміни (1,0 ÷ 1,8%). Тільки після досягнення значень вуглецю в горючій масі понад 90% для деяких шахтопластів значення  $N_{\Gamma}$  знижується до 0,7% (рис. 5 а).

**Висновки.** Для вдосконалення нормативної бази щодо безпечного ведення гірничих робіт необхідно враховувати висновки, отримані на підставі проведених досліджень. Вони зводяться до наступного:

1. За показником виходу летких на сухий беззолний стан палива при термічному його розкладанні без доступу повітря неможливо визначити тип вугілля по відновленості, який передбачає встановлення співвідношення між вмістом кисню та іншими основними компонентами органічної маси. Прояв небезпечних

властивостей вугільних шахтопластів під час гірничих робіт значною мірою залежить від співвідношення основних компонентів як в органічній масі, так й у мінеральних домішках. Методики визначення виходу летких речовин унеможливають з його допомогою оцінювати вплив основних компонентів органічної маси та мінеральних домішок на прояв небезпечних властивостей вугільних шахтопластів. Вихід летких речовин відображає лише суму газів термічного розкладання: - водню, метану, окису вуглецю та вуглекислого газу без розгляду співвідношення між ними.



$C_{Г}, C_{Г}^0, C_{Г}^{\Pi}$  – вміст вуглецю в горючій масі проб вугілля відповідно наведений на сухий беззолний стан (а), на робочий стан збагачених (б) та пластових (в) проб;

$N_{Г}, N_{Г}^0, N_{Г}^{\Pi}$  – вміст азоту в горючій масі проб вугілля відповідно наведений на сухий беззолний стан (а), на робочий стан збагачених (б) та пластових (в) проб;

Рис. 5. Залежність вмісту азоту від вуглецю на сухий беззолний стан горючої маси (а) і перерахований відповідно на їх робочий стан збагачених (б) та пластових (в) проб: 1 – усереднюючі криві;  $R^2$  – коефіцієнти детермінації;  $\sigma$  – середньоквадратичні відхилення;  $\times$  – значення вмісту азоту та вуглецю, наведені в нормативно довідковому документі [17] на сухий беззолний стан горючої маси (а) та перераховані на робочий стан згідно до [6, 19] відповідно збагачених (б) та пластових (в) проб

2. Вміст вуглецю в органічній (горючій) масі є більш інформативним, порівняно з виходом летких речовин, показником ступеня метаморфічних перетворень вугілля, оскільки він функціонально контролює суму інших компонентів - водню, азоту, сірки та кисню.

3. У меншій мірі встановлено тісноту кореляційної взаємозалежності, але досить висока між вмістом кисню та вуглецю на сухий беззолний стан палива. Така взаємозалежність повністю усувається при розгляді палива на його робочий стан, що свідчить про випадковий характер співвідношення між основними компонентами органічної маси та мінеральних домішок, у тому числі і вологи для кожного шахтопласту.

4. Встановлення прояву небезпечних властивостей за фактором метаморфічних перетворень має містити індивідуальний розгляд для кожного шахтопласту співвідношення між основними компонентами як органічної, так й мінеральної частин палива, включаючи вміст вологи.

#### Перелік посилань

1. ГОСТ 17070-2014. Межгосударственный стандарт. Угли. Термины и определения. Издание официальное. (2015). Стандартинформ.
2. Козловский, Е.А. (1987). Горная энциклопедия. Т.3: Кенган-Орт. Советская энциклопедия.
3. Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна. (1954). Углетехиздат.
4. Козловский, Е.А. (1984). Горная энциклопедия. Т.1: Аа-лава-Геосистема. Советская энциклопедия.
5. ГОСТ 25543-2013. Межгосударственный стандарт. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. Издание официальное. (2014). Стандартинформ.
6. Авгушевич, И.В., Сидорук, Е.И., & Броневец, Т.М. (2019). Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. «Реклама мастер».
7. Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. (1979). Недра.
8. СОУ 10.1.00174088.011–2005. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: [Чинний від 2005-12-01]. Видання офіційне. (2005). Мінвуглепром України.
9. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. (1994). Основа.
10. КД 12.01.402–2000. Руководство по предупреждению и тушению эндогенных пожаров на угольных шахтах Украины. (2000). НИИГД.
11. Инструкция по прогнозу и предупреждению внезапных прорывов метана из почвы горных выработок. (1987). МакНИИ.
12. СОУ-П 10.1.00174088.016:2009. Правила визначення ефективності випереджального захисту пластів, схильних до газодинамічних явищ. Видання офіційне. (2009). Мінвуглепром України.
13. Каталог динамических разломов горных пород на угольных шахтах. (1983). М-во угольной промышленности СССР, ВНИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела.
14. КД 12.01.401-96. Эндогенные пожары на угольных шахтах Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция. Издание официальное. (1997). НИИГД.
15. СОУ 10.1.0017-4088.011-2004. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. Издание официальное. (2004). Минтопэнерго Украины.
16. Схеми та способи керування газовиділенням на виїмкових дільницях вугільних шахт. Державний нормативний акт про охорону праці. (2006). Державний департамент промислової безпеки, охорони праці й гірничого нагляду.
17. Справочник по качеству и обогатимости каменных углей и антрацитов Украинской ССР (Донбасс в границах УССР, Львовско-Волынский бассейн). Характеристика качества каменных углей и антрацитов Украинской ССР. (1965). Недра.
18. Справочник по качеству каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов. Донецкий научно-исследовательский угольный институт. (1972). Недра.

19. 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. (2003). Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.
20. Antoshchenko, M., Tarasov, V., Zaika, R., Zakharova, A., & Kukota O. (2020). Moisture and organic mass components as indicators of metamorphism and dangerous properties of coal seams. *Modern engineering and innovative technologies*, 13 (3), 60-75.

#### **ABSTRACT**

**Purpose.** To improve the regulatory framework for the safe conduct of mining operations, to establish the effect of mineral impurities and moisture on the accuracy of determining the oxygen content, under conditions close to those of coal seams.

**Methodology** is based on the fact that practically for all coal seams of Donbass and the Lvov-Volyn basin indicators of consumer qualities of solid fuels have been established, but they characterize only one organic (combustible) part per dry ash-free state. In this case, the effect of mineral impurities (their content for many reservoirs exceeds 30-40%) and moisture on the change in oxygen content is not taken into account. The manifestation of many hazardous properties of coal seams depends on the ratio of oxygen content with other components of the organic mass and mineral impurities. To bring the quality indicators of coals to a state close to the conditions of mining operations, they were recalculated for each coal seams, taking into account the actual yield of ash and total moisture.

**Findings.** The indicator of the release of volatile substances used in the normative documents for the safe conduct of mining operations for assessing the metamorphic transformations of coal seams does not determine the type of coal by their reduction. Restorability determines the properties of the organic mass based on the ratio of oxygen to its other main components. In addition to the organic mass in the dry ash-free state, the composition of solid fuels includes mineral impurities and moisture. They significantly affect the change in the ratio between the main components. The carbon content in the organic (combustible) mass is more informative in comparison with the yield of volatile substances, an indicator. It functionally controls the sum of the remaining components - hydrogen, nitrogen, sulfur and oxygen. To a lesser extent, but rather high, the closeness of the correlation interdependence was established between the content of oxygen and carbon in the dry ash-free state of the fuel. Such interdependence is completely eliminated when considering the fuel for its working condition, which indicates the random nature of the relationship between the main components of the organic mass and mineral impurities, including moisture, for each considered coal seams.

**Originality.** For the first time, on the basis of statistical processing of experimental data on the quality of coals for almost all coal seams of the Donbass and the Lviv-Volyn basins, the possible limits of the oxygen content for the working state of the fuel were established, which makes it possible to individually consider for each coal seam the ratio between the main components of the organic mass and mineral impurities, including the presence of moisture.

**Practical implications.** The research results make it possible to develop proposals for improving the regulatory framework in terms of predicting the hazardous properties of coal seams during mining operations.

**Keywords:** coal, metamorphism, reduction, oxygen, mass, organic, mineral impurities, dry, ashless, working, coal seams, safety, regulatory framework, improvement.