

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-282-2-66-69>

УДК 622.8

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ УЯВНОЇ ГУСТИНИ ВУГІЛЛЯ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ШАХТОПЛАСТІВ

Руднєв Є.С., Філатєва Е.М., Попович В.А., Антощенко М.І.

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE ACCURACY OF THE APPARENT DENSITY OF COALS TO ESTABLISHING THE OUTBURST HAZARD OF COAL SEAMS

Rudniev Y.S., Filatieva E.M., Popovich V.A., Antoshchenko M.I.

В статті розглянуто можливість визначення уявної густини для прогнозу схильності вугільних пластів до прояву раптових викидів з використанням емпіричної залежності, яка отримана на підставі статистичної обробки показників технічного аналізу вугілля.

Методика заснована на порівняльному аналізі для кожного шахтопласта відповідності розрахункових значень уявної густини вугілля зі значеннями, які встановлені стандартним методом.

За результатами досліджень спостерігається практична відсутність кореляційної взаємозалежності між розрахунковими значеннями уявної густини та її величинами, які експериментально визначені за методикою загальноприйнятих стандартів. Це вказує на повну невідповідність точності визначення уявної густини вугілля відповідно до емпіричної залежності її значенням, встановленим стандартним методом. Близькість отриманих розрахункових значень уявної густини вугілля відповідно до емпіричних залежностей, з використанням відповідно одного показника виходу летких речовин (V^{daf}) і трьох (виходу летких, вологи та виходу золи) впливаючих факторів, дає підставу аналізувати уявну густину вугілля тільки від V^{daf} . В залежності від V^{daf} , поліном ступеня другого порядку досить з високою тісністю кореляційного зв'язку характеризує уявну густину вугілля визначену стандартним методом.

Достовірне визначення уявної густини вугілля можливе тільки стандартними методами, виключивши використання емпіричних залежностей із застосуванням показників технічного аналізу, що підтверджується значним середньоквадратичним відхиленням, яке перевищує в 1,5 рази точність визначення.

Вперше на підставі статистичної обробки експериментальних даних про уявну густину вугілля та показників технічного аналізу для

шахтопластів Донбасу та Львівсько-Волинського басейнів доведена неприпустимість використання розрахункових значень відповідно до емпіричних рівнянь для прогнозування схильності шахтопластів до раптових викидів вугілля та газу при веденні гірничих робіт.

Результати досліджень дозволяють розробити пропозиції щодо вдосконалення нормативної бази у частині прогнозу викидонебезпечності вугільних пластів.

Ключові слова: вугілля, уявна густина, стандартний метод, викидонебезпечність, шахтопласти, нормативна база, удосконалення.

Вступ. Густина є одним із найважливіших фізичних характеристик викопного вугілля. Для дисперсних і пористих тіл, до яких належить вугілля, розрізняють дійсну та уявну. Їх значення використовують при обчисленні запасів вугілля в надрах, при встановленні кількості видобутого палива, а також для розрахунку пористості вугілля [1]. Зокрема пористість вугілля необхідна для контролю визначення природної газоносності шахтопластів [2], яка значною мірою визначає їх схильність до раптових викидів вугілля та газу при веденні гірничих робіт [3]. До теперішнього часу природа виникнення раптових викидів вугілля та газу не розкрита повною мірою. З цієї причини науково-дослідні роботи, спрямовані на вирішення цієї проблеми, є актуальними для промисловості всіх вугледобувних країн світу. Точність встановлення густини викопного вугілля багато в чому може сприяти успішному вирішенню проблеми безпечного відпрацювання вугільних пластів схильних до

прояву раптових викидів. До таких робіт належить, розроблений свого часу, каталог колекторських властивостей кам'яного вугілля та антрацитів Донецького та Львівсько-Волинського басейнів [2]. У цьому нормативно-довідковому документі наведено відомості про категорійну небезпеку шахт щодо виділення вибухонебезпечного газу (метану) та зазначено схильність до раптових викидів вугілля та газу для 779 шахтопластів. Для більшої частини сукупності з 592 шахтопластів уявна густина вугілля була визначена згідно зі стандартом, який діяв у той період часу (ГОСТ 2160-82). Основні його положення залишилися незмінними й вони наведені у сучасному нормативному документі [4].

Для другої частини шахтопластів зі 184 сукупностей уявна густина d_a^r визначалася відповідно до емпіричної залежності:

$$d_a^r = 1,325 - 0,003V^{\text{daf}} + 0,01(A^r + W_t^r), \text{ г/см}^3. \quad (1)$$

де V^{daf} – масовий вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря на сухий беззольний стан проби, %. Визначався згідно зі стандартом (ГОСТ 6382-80), який діяв у той період часу, нині це нормативний документ [5]; W_t^r – волога вугілля (пластова), %, визначалася згідно зі стандартом (ГОСТ 11014-81), який діяв на час складання каталогу [2]; A^r – середній вихід золи (пластової), %, встановлюється відповідно до ГОСТу 9815-75.

У каталозі [2] наведено значення, визначені принципово різними методами. Найбільш достовірними є експериментальні дані для 592 шахтопластів, які були визначені відповідно до вимог стандарту [4]. Згідно з цими вимогами, незалежно від методу випробувань (насичення пор й тріщин водою або з парафінуванням шматків) межа повторюваності (точність визначення) становить $0,03 \text{ г/см}^3$ або 2% від середнього результату.

Для 184 шахтопластів показники тісноти кореляційних зв'язків розрахункових значень уявної густини $d_a^{r(p)}$, встановлених із застосуванням емпіричного рівняння 1, в каталозі [2] не наведені. З цієї причини для сукупності цих шахтопластів не встановлено достовірність визначення уявної густини вугілля.

Мета статті. Встановити можливість визначення уявної густини для прогнозу схильності вугільних пластів до прояву раптових викидів з використанням емпіричної залежності 1, яка отримана на підставі

статистичної обробки показників технічного аналізу вугілля.

Методика досліджень заснована на порівняльному аналізі для кожного шахтопласта відповідності розрахункових значень уявної густини вугілля $d_a^{r(p)}$ і значеннями $d_a^{r(ct)}$ встановленими стандартним методом.

Результати дослідження. У каталозі [2] наведено сукупність із 592 шахтопластів, для яких визначено значення $d_a^{r(ct)}$ стандартним методом. Для переважної більшості цих шахтопластів (519) вказані технічні параметри вугілля (V^{daf} , W_t^r і A^r). Це дало можливість, маючи експериментальні дані, які визначені $d_a^{r(ct)}$ стандартним методом, паралельно розрахувати відповідно до рівняння 1 значення $d_a^{r(p)}$. Співвідношення між значеннями $d_a^{r(p)}$ та $d_a^{r(ct)}$ для аналізованої сукупності зі 519 шахтопластів наведено на графіку (рис. 1).

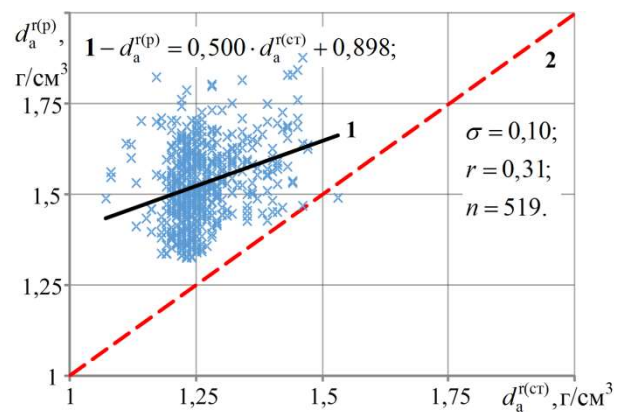


Рис. 1. Взаємозалежність між розрахунковими значеннями уявної густини ($d_a^{r(p)}$) та її величинами

($d_a^{r(ct)}$), які експериментально визначені за методикою загальноприйнятих стандартів:

× – встановлене співвідношення для кожного шахтопласту між значеннями $d_a^{r(p)}$ та $d_a^{r(ct)}$;

1 – усереднена пряма; 2 – бісектриса координатної

сітки; σ – середньоквадратичне відхилення;

r – коефіцієнт кореляції; n – кількість пар даних.

У розглянутому випадку спостерігається практична відсутність кореляційної взаємозалежності ($r=0,31$). Розташування точок, що визначають співвідношення між $d_a^{r(p)}$ та $d_a^{r(ct)}$, вище бісектриси координатної сітки (2), свідчить про наявність систематичної похибки визначення $d_a^{r(p)}$. Середньоквадратичне відхилення ($\sigma=0,10 \text{ г/см}^3$) від усередненої прямої (1) більш ніж у три рази перевищує точність визначення ($0,03 \text{ г/см}^3$) стандартними

методами [4]. Це вказує на повну невідповідність точності визначення уявної густини вугілля відповідно до емпіричної залежності (1) її значенням, встановленим стандартним методом.

Виходячи зі структури побудови емпіричних залежностей (1), головним впливаючим фактором, що визначає уявну густину є ступінь метаморфічних перетворень вугілля. В якості основного та єдиного критерія таких перетворень прийнятий вихід летких речовин (V^{daf}). Аналіз розрахункових значень $d_a^{r(p)}$ для 184 шахтопластів, наведених у каталозі [2], показав незначний вплив інших факторів (W_t^r та A^r). Підтвердженням цього є практично функціональна залежність лише від V^{daf} значень $d_a^{r(p)}$, які розраховані згідно з рівнянням 1 з додатковим залученням показників W_t^r та A^r (рис. 2).

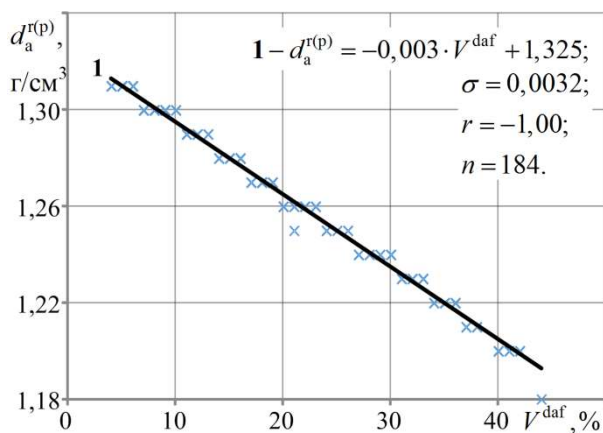


Рис. 2. Залежність розрахункових значень уявної густини вугілля ($d_a^{r(p)}$) згідно з рівнянням 1 тільки від одного параметра (V^{daf}): \times – розрахункові значення $d_a^{r(p)}$ згідно з рівнянням 1; 1 – усереднена пряма; σ – середньоквадратичне відхилення; r – коефіцієнт кореляції; n – кількість оброблених пар даних.

Близькість отриманих розрахункових значень $d_a^{r(p)}$ відповідно до емпіричних залежностей, з використанням відповідно одного (V^{daf}) і трьох (V^{daf} , W_t^r та A^r) впливаючих факторів, дає підставу аналізувати уявну густину вугілля тільки від V^{daf} .

Зміна експериментально визначених значень уявну густину вугілля стандартним методом $d_a^{r(ct)}$ для 592 шахтопластів ілюструється графіком їх залежності від V^{daf} (рис. 3). Для цього випадку значення $d_a^{r(ct)}$ встановлено незалежно від застосовуваного

методу [4] (з насиченням пор й тріщин водою або з парафінуванням шматків) з межею повторюваності (точність визначення) не більше $0,03 \text{ г/см}^3$.

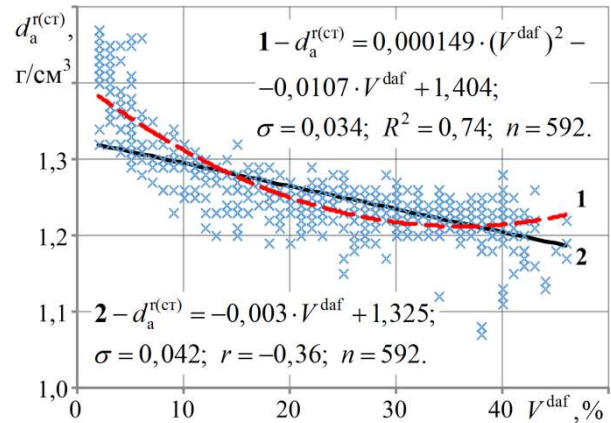


Рис. 3. Залежність уявної густини вугілля ($d_a^{r(ct)}$), яка визначена за методикою загальноприйнятих стандартів, від виходу летких речовин (V^{daf}): \times – експериментальні дані визначення уявної густини вугілля стандартним методом для сукупності з 592 шахтопластів; 1 – емпірична усереднена крива полінома ступеня другого порядку, встановлена методом найменших квадратів для сукупності із 592 шахтопластів; 2 – усереднена пряма розрахункових значень уявної густини вугілля для 184 шахтопластів (рис. 2, пряма 1); σ – середньоквадратичне відхилення; r – коефіцієнт кореляції; n – кількість оброблених пар даних.

В залежності від V^{daf} , поліном ступеня другого порядку (рис. 3, крива 1) досить з високою тісністю кореляційного зв'язку характеризує уявну густину вугілля визначену стандартним методом. Показники тісноти кореляційного зв'язку (R^2 та σ) для аналізованої сукупності із 592 шахтопластів відповідно дорівнюють 0,74 та $0,034 \text{ г/см}^3$. Слід зазначити близькі значення встановлених меж повторюваності згідно [4] та отриманого середньоквадратичного відхилення від усередненої кривої, що гарантує деяку достовірність встановлення уявної густини вугілля для розглянутої сукупності шахтопластів.

Усереднена пряма 2 (рис. 3) відображає, за своєю суттю, результати, які отримані при використанні емпіричного рівняння 1. Вона, як й рівняння 1, характеризується низьким коефіцієнтом кореляції ($r=-0,36$). Значне середньоквадратичне відхилення від усередненої прямої 2 (рис. 3, $\sigma=0,042 \text{ г/см}^3$), що перевищує в 1,5 рази точність визначення

(0,03 г/см³) $d_a^{r(ст)}$ стандартним методом, виключає практичну можливість використання розрахункових значень відповідно до рівняння 1 для прогнозу схильності шахтопластів до прояву їхньої викидонебезпечності.

Висновки. На підставі отриманих результатів слідує висновок, що достовірне визначення уявної густини вугілля можливе тільки стандартними методами, виключивши використання емпіричних залежностей із застосуванням показників технічного аналізу.

Література

1. James G. Speight. Handbook of coal analysis. A John Wiley & Sons, Inc. 2005. 240 p.
2. Каталог коллекторских свойств каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов / Р.М. Кривицкая та ін. Макеевка-Донбасс. МакНИИ, 1985. 48 с.
3. СОУ 10.1.00174088.011-2005. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ. [Чинний від 2005-12-01]. Вид. офіц. Київ : Мінвуглепром України, 2005. 224 с.
4. ISO 5072:2013 Brown coals and lignites. Determination of true relative density and apparent relative density. International Organization for Standardization. 2013. 6 p.
5. ДСТУ 9220:2023 Паливо тверде мінеральне. Методи визначення виходу летких речовин. 2023. ДП «УкрНДНЦ».

References

1. James G. Speight. Handbook of coal analysis. A John Wiley & Sons, Inc. 2005. 240 p.
2. Katalog kolektorских свойств kamennyh uglej i antracitov Doneckogo i L'vovsko-Volynskogo bassejnov. Makeevka-Donbass. MakNII, 1985. 48 s.
3. SOU 10.1.00174088.011-2005. Pravyla vedennia hirnychykh robit na plastakh, skhylnykh do hazodynamichnykh yavyshch. (2005). Kyiv, Minvuhleprom Ukrainy. 224 s.
4. ISO 5072:2013 Brown coals and lignites. Determination of true relative density and apparent relative density. International Organization for Standardization. 2013. 6 p.
5. DSTU 9220:2023 Palyvo tvrde mineralne. Metody vyznachennia vykhodu letkykh rehovyn. 2023. DP «UkrNDNTs».

Rudniev Y.S., Filatieva E.M., Popovych V.A., Antoshchenko M.I. On The Issue Of Determining The Accuracy Of The Apparent Density Of Coals To Establishing The Outburst Hazard Of Coal Seams.

The article considers the possibility of determining the apparent density for the prediction of the tendency of coal seams to the manifestation of sudden emissions using the empirical dependence obtained on the basis of statistical processing of indicators of technical analysis

of coal. The methodology is based on a comparative analysis of the compliance between the calculated values of the apparent density of coal and the values established by the standard method for each coal seam. According to the results of research, there is a practical absence of correlational interdependence between the calculated values of the apparent density and its values, which are experimentally determined according to the methodology of generally accepted standards. This indicates a complete discrepancy between the accuracy of determining the apparent density of coal in accordance with the empirical dependence of its values established by the standard method. The closeness of the obtained calculated values of the apparent density of coal in accordance with the empirical dependences, using, respectively, one index of volatile matter output (V^{daf}) and three (volatile output, moisture and ash output) influencing factors, gives reason to analyze the apparent density of coal only from V^{daf} . Depending on V^{daf} , a second-order polynomial with high correlation density characterizes the apparent density of coal determined by the standard method. A reliable determination of the apparent density of coal is possible only by standard methods, excluding the use of empirical dependencies with the use of indicators of technical analysis, which is confirmed by a significant root mean square deviation, which exceeds the accuracy of the determination by 1.5 times. For the first time, on the basis of statistical processing of experimental data given on the apparent density of coal and indicators of technical analysis for 592 coal seams of the Donbass and Lviv-Volyn basins, the inadmissibility of using calculated values according to empirical equations for predicting the susceptibility of mine layers to sudden emissions of coal and gas during mining operations was proven. The research results make it possible to develop proposals for improving the regulatory framework in terms of forecasting the outbursts hazard of coal seams.

Key words: coal, apparent density, standard method, outbursts hazard, coal seams, regulatory framework, improvement.

Руднев Євген Сергійович – д.т.н., доц., завідувач кафедри електричної інженерії, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Київ), rudnev_es@snu.edu.ua

Філатєва Ельвіра Миколаївна – доктор філософії, PhD, filateva@snu.edu.ua

Попович Віталій Анатолійович – аспірант кафедри фармації, виробництва та технологій, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Київ), asp-263-22-431@snu.edu.ua

Антощенко Микола Іванович – д.т.н., проф., професор кафедри фармації, виробництва та технологій, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Київ), antoschenko@snu.edu.ua

Стаття подана 07.03.2024.