

© І.О. Садовенко¹, С.Ф. Власов¹, В.С. Власов², С.В. Грома¹, Д.І. Твіленьов³

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

² ТОВ «НЕЙТІФ ГРУП», Дніпро, Україна

³ Вугільна Шахта «Люблінське Вугілля «Богданка» А.Т.», Ленчна, Польща

ГЕОГЕНЕТИЧНА І ГЕОМЕХАНІЧНА ТИПІЗАЦІЯ ПОВЕРХОНЬ ОСЛАБЛЕННЯ У ШАРУВАТОМУ МАСИВІ ПОРІД ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

© I. Sadovenko¹, S. Vlasov¹, V. Vlasov², S. Hroma¹, D. Tvilenov³

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

² LLC «NATIFE», Dnipro, Ukraine

³ Coal-mine LW Bogdanka S.A., Leczna, Poland

GEOGENETIC AND GEOMECHANICAL TYPIFICATION OF THE WEAKENING SURFACE IN THE LAYERED ROCK MASSIF OF THE WESTERN DONBASS

Мета. Узагальнити типові геогенетичні і геомеханічні ознаки поверхонь ослаблення у шаруватому вуглевмісному масиві порід Західного Донбасу як потенційних критеріїв перебігу і оцінки геомеханічних процесів, що впливають на взаємодію системи лава – виїмковий штрек та визначають геотехнічні терміни проведення і використання штреків.

Методика. Досягнення поставленої мети здійснене з використанням структурово-геометричного метода кореляцій вугленосних формацій та вірогідностно-статистичного аналізу даних міцнісних показників порід у сукупності з методом поєднання кореляційних і аналітичних залежностей відображення геомеханічного стану порідного масиву.

Результати. Обґрунтована геогенетична і геомеханічна типізація поверхонь ослаблення у шаруватому масиві порід Західного Донбасу. Вона базується на виділенні п'яти типів поверхонь ослаблення, які сформовані у порядку зростання міцності поверхонь за межею міцності на розтягування і зменшення показника текстурної анізотропії. Його граничні мінімальні значення відповідають вологості порід понад 5 %.

Наукова новизна. За станом міжшарового порідного матеріалу вугільного масиву визначено його літологічне і подальше геомеханічне розшарування з п'ятьма типами поверхонь ослаблення у напрямку збільшення їхньої міцності і зменшення показника текстурної анізотропії на межі вологості порід до 5 %. Величина здимання підосви порід штреку є логарифмічною функцією часу з параметрами регресії залежними від безрозмірного літолого-структурного показника.

Практична значимість. Типізація пошарових поверхонь ослаблення застосована для оцінки потенційної стійкості порід покрівлі вугільних пластів при складанні календарних планів і геотехнічного регламенту відпрацювання запасів у проєктах шахт «Павлоградська», «Степова» та «Ювілейна» в Західному Донбасі.

Ключові слова: підземна розробка вугільних пластів, виїмкові ділянки, геогенетична і геомеханічна типізація пошарових поверхонь ослаблення, міцність і анізотропія порід, розшарування вуглевмісного масиву, керування шаруватою товщею порід, стійкість порід покрівлі вугільних пластів.

Вступ. Сучасний стан вуглевидобутку і його науково-практичного супроводження у світовому вимірі поділяється на три основних напрями:

- згортання гірничих робіт з закриттям шахт і відновленням поверхні порушеного гірського масиву за форматом переходу до зеленої енергетики, що на сьогодні не є достатньо аргументованим [1];
- синхронізація згортання гірничих робіт і вуглевидобутку, яка надає багато науково-практичних завдань у геотехнічних засобах керування суміжними ділянками шахт (або шахтних полів), де одночасно відпрацьовуються вугільні пласти та здійснюється демонтаж виробок і відключення шахтного водовідливу [2];
- підземна (або інша) розробка вугільних пластів з необхідним науково-технічним супроводом у геотехнічних засобах ефективного керування системою підготовчих і очисних виробок у часі і просторі [3, 4].

На даний час найбільш проблемною ланкою ефективного використання виїмкових штреків у вуглевмісному масиві порід є оптимізація геотехніки керування шаруватою товщею порід, де суттєво проявляється вплив міжшарових поверхонь ослаблення.

Основна частина. Пластовою окремістю прийнято називати плоске тіло, обмежене від вище і нижче залягаючих порід площинами ослаблення. У вугле-носних товщах осадових відкладень вони співпадають з поверхнями розмиву, фаціальних заміщень, межами різкої зміни речовинного складу і фізико-механічних властивостей порід, що перешаровуються. У геологічному розрізі нижнього карбону Західного Донбасу площини ослаблення розміщуються до контактів вугільних пластів та прошарків з аргілітами, алевролітами і пісковиками, або до контактів пісковиків з аргілітами та алевролітами. За стратиграфічних умов утворення осадових порід і вугленакопичення на території цього району площини ослаблення розташовуються на різному віддаленні від вугільних пластів, що відпрацьовуються (рис. 1) і мають повсюдне або спорадичне площинне поширення. При вийманні вугілля за цих умов відбувається порушення суцільності масиву, що підробляється, з розвитком тріщин розшарування. Поряд з іншими системами тріщин, що утворюються під різними кутами до площин напластування, розшарування значною мірою ускладнює технологію керування покрівлею в комплексно-механізованих лавах.

На шахтах об'єднання Західного Донбасу при відпрацюванні вугільних пластів c^b_{10} , c_9 , c^H_8 , c^H_7 , c^1_6 , c_6 , c_5 , c_2 і c_1 в очисних вибоях зафіксовано понад 500 вивалів порід заввишки від 0,2 до 5 м. Дослідженнями авторів встановлено, що висота вивалів пластів h_e залежить від потужності пластових окремоностей M , що складають покрівлю вугільних пластів. Залежність $h_e = f(M)$ описується рівнянням параболі другого порядку з коефіцієнтом кореляції $r = 0,88$ та параболічним коефіцієнтом кореляції 0,94 [3].

Вид зв'язку $h_e = f(M)$ відбиває деякі особливості геомеханічної взаємодії у системі кріплення – бічні породи. Встановлено приблизне співвідношення висоти вивалів і потужності пластових окремоностей в межах $h_e \approx M \approx 2$ м. При $M > 2$ м висота вивалів значно менша від пластової окремоності, що контактує з кріпленням. Ці дані підкріплюють та якісно доповнюють відомі положення про блокове обвалення порід покрівлі у комплексно-механізованих лавах шахт Західного Донбасу [5, 6]. Вивали тут формуються в результаті взаємного прослизання блоків,

де діють тангенціальні зусилля, що перевищують граничну несучу здатність контактних породних поверхонь. Зі збільшенням відстані від контакту з кріпленням граничні співвідношення діючих напруг у породах можуть виникати і всередині пластових окремоностей. У цих випадках висота вивалів обмежується будь-якою іншою поверхнею ослаблення, обумовленою формуванням шаруватих текстур. Умова $h_e < M$ не суперечить положенню про те, що в зоні активної взаємодії кріплення та покрівлі відбувається тріщинне розпушення порід з частковим збереженням їхньої несучої здатності, а також продовженням процесу тріщиноутворення та розвитком зони непружних деформацій при зупинках лав [7, 8].

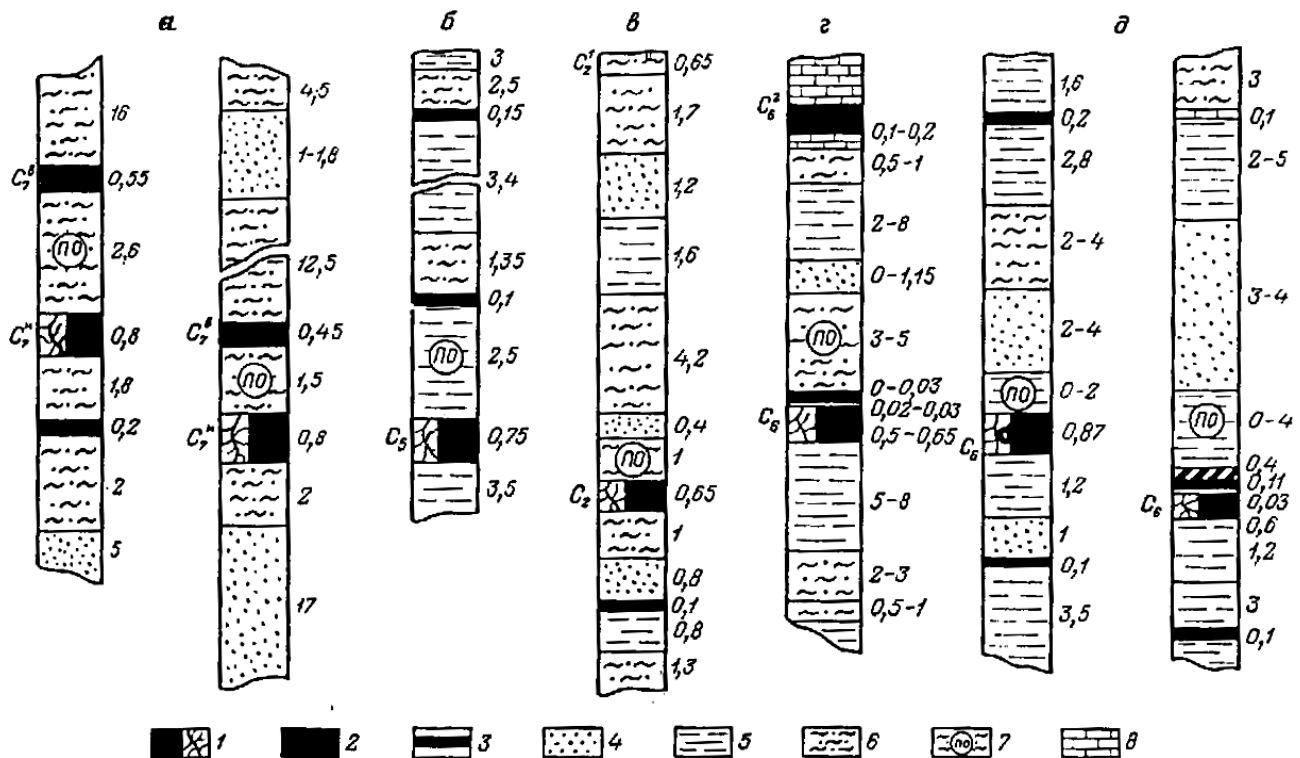


Рис. 1. Структурні колонки товщі гірських порід на шахтах «Павлоградська» (а), «Тернівська» (б), «Першотравнева» (в), «Ювілейна» (г) та «Степова» (д):

1 – вугільний пласт, що відпрацьовується; 2 – вугільний пласт робочої потужності; 3 – вугільний прошарок; 4 – піщаник; 5 – алевроліт; 6 – аргіліт; 7 – пластова окремість; 8 – вапняк

Утворення зон непружних деформацій суттєво пов'язане з реологічними змінами в породній товщі і підтверджується підвищеною дисперсією факторіальної та результативної ознак при $M > 2$ м, коли домінує вплив швидкісного режиму роботи лав. При $M < 2$ м тріщинне розпушення в непружній зоні компенсується реологічними деформаціями порід, які набувають більш вираженого характеру в умовах зволоження покрівлі при підробці водоносних горизонтів лавами [3, 9].

Завдання виявлення поверхонь ослаблення, як однієї з прогностичних ознак руйнування порід покрівлі в лавах, має вирішуватися на стадіях геологічної та експлуатаційної розвідок. Необхідна типізація поверхонь ослаблення. За її основу прийняті характеристики матеріалу, що утворює поверхні ослаблення. Міцність пошарових зав'язків оцінюється за межею міцності на розрив σ_p^I або більш

ємним показником $K_a = \sigma''_p / \sigma'_p$ (де K_a – коефіцієнт текстурної анізотропії; σ''_p і σ'_p – межа міцності на розрив відповідно в паралельному та перпендикулярному напрямках шаруватості), що характеризує анізотропію в геомеханічних властивостях гірських порід.

Для вимірювання величин σ''_p та σ'_p застосований добре відомий швидкісний комплексний метод визначення механічних властивостей гірських порід.

Масові лабораторні випробування кернових і шахтних проб на розрив з подальшим петрографічним вивченням матеріалу, що утворює шари, дозволили для умов Західного Донбасу виділити п'ять типів поверхонь ослаблення (табл.). Розташовані вони у порядку зростання міцності поверхонь ослаблення та σ''_p та зниження значення коефіцієнта текстурної анізотропії K_a . Граничні максимальні значення σ''_p відповідають породам з вологістю 2–3 %, граничні мінімальні – породам з вологістю понад 5 %. Вплив вологості позначається і на показник K_a . Його граничні мінімальні значення відповідають вологості понад 5 %.

Таблиця

Типізація пошарових поверхонь ослаблення
з метою оцінки стійкості порід покрівлі вугільних пластів

Поверхня ослаблення	Вміщуючі гірські породи	Межа міцності на розрив, σ_p , 10^5 Па	Коефіцієнт текстурної анізотропії, K_a
Площини ковзання тектонічного походження	Аргіліти	0,01–0,25	22–25
	Алевроліти	0,15–1,80	20–23
	Піщаники	0,76–2,30	18–20
Контакти вугільних прошарків із бічними породами	Вугілля – аргіліт	0,08–0,82	16–18
	Вугілля – алевроліт	0,15–1,20	14–15
	Вугілля – піщаники	0,60–6,50	13–14
Глинистий матеріал	Алевроліти	1,50–2,50	10–12
	Піщаники	2,00–3,20	8–10
Рослинний детрит	Аргіліт	1,60–3,50	6–9
	Алевроліт	3,20–5,50	5–7
	Піщаник	3,00–17,00	4–5
Контакти між літологічними типами порід	Піщаник – аргіліт	5,00–8,50	3–4
	Піщаник – алевроліт	6,00–12,00	2–3
	Аргіліт – алевроліт	8,00–16,00	1–2

Результати дослідження пошарових поверхонь ослаблення застосовані для оцінки стійкості порід покрівлі вугільних пластів при формуванні програм гірничих робіт у проєктах шахт «Павлоградська», «Степова» та «Ювілейна» у Західному Донбасі. На діючих шахтах визначену типізацію рекомендується застосовувати при складанні прогностичних гірничогеологічних паспортів лав за синхронного згортання гірничих робіт на окремих ділянках шахтних полів з метою деталізації літологічних карт шаруватості товщі вугільних пластів даними про пластові окремість та ділянки вивалоутворень.

Викладені дані щодо геогенетичної і геомеханічної типізації поверхонь ослаблення у шаруватому масиві порід Західного Донбасу набувають більш суттєвого значення при їхній деталізації з використанням кількісних показників наступним шляхом.

Опрацьовано фактичні дані понад 20-ти вимірних станцій, встановлених у підготовчих штреках. За цим отримані наступні емпіричні співвідношення (коефіцієнт кореляції 0,85–0,97):

$$\Delta S_i = 4,54h_i - 0,09h_i^2 + 0,38, \quad (1)$$

$$h_i = (a_i \ln T + c_i) 10^{-3}, \quad (2)$$

де ΔS_i – зменшення площі перерізу штреку, м²; h_i – величина здимання підпошки в штреку, м; T – час від початку проведення виробки до моменту, що розглядається, доб; a_i , c_i – параметри регресії.

Для експериментальних співвідношень (2) знайдений стійкий зв'язок параметра a_i та літолого-структурного показника у вигляді

$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{l_i + m_i}{m_i}}{n}, \quad (3)$$

де l_i – відстань до покрівлі i -го шару пісковиків над виробкою (або до підпошки шару, що залягає під виробкою); m_i – потужність i -го шару; n – кількість шарів. При $\Pi \leq 1,15$, $a_i = 93,5$; у діапазоні $1,15 < \Pi < 1,30$, $a_i = 63,5$; при $\Pi \geq 1,30$, $a_i = 38,7$.

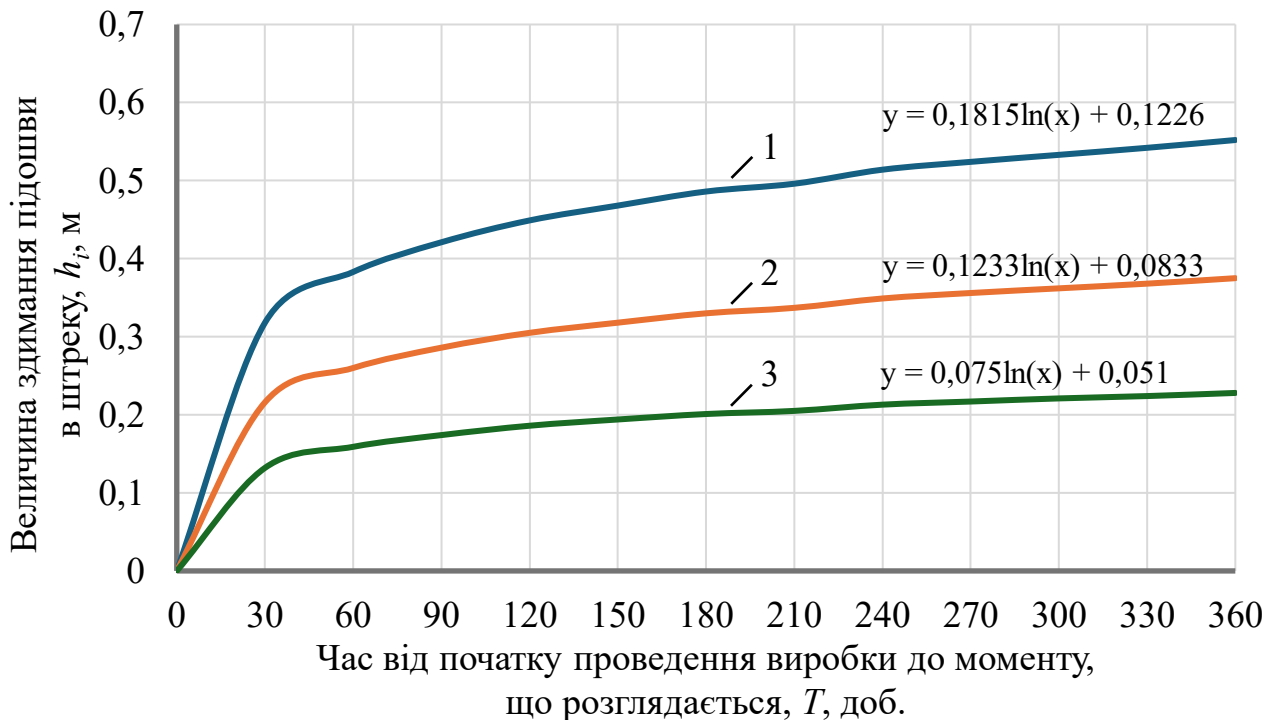


Рис. 2. Динаміка здимання порід підпошки штрека при різних значеннях літолого-структурного показника (Π): 1 – ($\Pi = 1,15$); 2 – ($\Pi = 1,22$); 3 – ($\Pi = 1,30$)

Слід відзначити, що значеннями параметра c_i у формулі (2) в практичних розрахунках можна знехтувати, оскільки при $T = 0$, $a_i = h_i$, тобто в масиві навколо виробки діють лише пружні деформації.

Графіки на рис. 2 ілюструють динаміку зміни здимання порід підпошви штреку в часі за межами утримуючої дії його вибою для різних літолого-структурних умов.

Висновки. За результатами лабораторних досліджень виділені п'ять типів поверхонь ослаблення вуглевмісного порідного масиву, які розташовані у порядку зростання міцності поверхонь ослаблення на розтягання σ'_p та зниження значення коефіцієнта текстурної анізотропії K_a . Граничні максимальні значення σ''_p відповідають породам з вологістю 2–3 %, мінімальні – породам з вологістю понад 5 %. Вплив вологості позначається і на показник K_a . Його граничні мінімальні значення відповідають вологості понад 5 %. Представлена типізація апробована як геогенетична та геомеханічна складові керування порідним масивом. Емпіріоаналітична інтерпретація літолого-структурного показника геологічної будови підпошви штреків показує тісний зв'язок його значень з величиною здимання підпошви.

Перелік посилань

1. Садовенко, І.О., Алексєєв, М.О., & Власов, В.С. (2023). Фізичні та комп'ютерні моделі у системі керування гідроекобезпекою шахтних полів: монографія. *М-во освіти і науки України, НТУ «Дніпровська політехніка»*.
2. Садовенко, І.О., Тимошук, В.І., Загриценко, А.М., & Деревягина, Н.І. (2020). Оцінка гідро-геомеханічних ризиків ведення гірничих робіт в зоні впливу затоплених виробок. *Геотехнічна механіка. Міжвідомчий збірник наукових праць*. 151, 190–202.
3. Власов, С.Ф., Садовенко, І.О., & Молдаванов, Є.В. (2024). Сучасні моделі керування геодинамікою очисного вибою. *М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка»*.
4. Снігур, В.Г. (2022). Методологічні принципи та рекомендації з розробки інноваційних технологій підтримки виробок, що повторно використовуються на шахтах Західного Донбасу. *Збірник наукових праць НГУ*, (68), 67–80. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/68.067>
5. Мартовецький, А.В., & Хозяйкіна, Н.В. (2015). Руйнування порід покрівлі в лавах при відпрацюванні похилих пластів. *Вугілля України*, 1, 18–21.
6. Шашенко, О.М., Сдвижкова, О.О., & Гапєєв, С.М. (2008). *Деформованість та міцність масивів гірських порід*. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет.
7. Ільшов, М.О. (2008). Оцінка впливу швидкості посування очисного вибою на бічні породи. *Вугілля України*, 4, 11–13.
8. Стаднюк, К.Д. (2013). Вивчення впливу швидкості посування очисного вибою на крок первинного обвалення основної покрівлі. *Геотехнічна механіка*, III. 121–131.
9. Ковалевська, І.А., Сіманович, Г.А., Гусєв, А.С., & Снігур, В.Г. (2018). До обґрунтування підвищення стійкості виїмкових виробок у дуже слабких породах. *Уголь України*, 12, 4–9.

ABSTRACT

Purpose is to generalize typical geogenetic and geomechanical characteristics of the surfaces of loosening within the layered coal-bearing formation of the Western Donbas rocks as the potential criteria of both course and assessment of geomechanical processes impacting the *longwall-gate road* system interaction, and identifying geotechnical terms to drive and use the gate roads.

Methods. The problem to define surfaces of loosening as one of predictive factors of rock breakage in longwalls as well as its impact on interconnection with gate roads is solved based upon the data of geological and operational explorations of a mine field. Characteristic of geological material forming surfaces of interlayer loosening in terms of vertical and horizontal rock tensile strength being the determinant of geomechanical anisotropy of the layered rock mass is taken as a basis.

Findings. Geogenetic and geomechanical typing of the surfaces of loosening within the layered Western Donbas rock mass has been substantiated. It is based upon separation of five types of surfaces of loosening beyond tensile strength and decrease in textural anisotropy factor. Its limit minimum values correspond to the rock moisture being more than 5 %.

Originality. Relying upon the data of the laboratory-based tensile tests of core and mine samples as well as following petrographic analysis of interlayer rock material identifying lithological and succeedent geomechanical stratification of carbonaceous formation, five types of the surfaces of loosening have been identified towards an increase in their strength and decrease in textural anisotropy factor on the edge of rock moisture being up to 5 %.

Practical implications. Typing of the stratified surfaces of loosening has been used to assess potential stability of roof rocks of coal seams while drafting calendar plans as well as geotechnical regulations for coal extraction in projects of such Western Donbas mines as *Pavlohradska*, *Stepova*, and *Yuvileina*.

Keywords: *underground mining of coal seams, extraction districts, geogenetic and geomechanical typing of the stratified surfaces of loosening, rock strength and anisotropy, stratification of carbonaceous formation, control of the layered rock mass, roof rock stability of coal.*