

© С.Ф. Власов¹, С.Є. Тимченко¹, Є.В. Молдаванов¹¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

**АНАЛІЗ ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ
БУДОВИ ПІСКОВИКІВ, ЯКІ ЗАЛЯГАЮТЬ У ПОКРІВЛІ
РОЗРОБЛЮВАНИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ В УМОВАХ
ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ**

© S. Vlasov¹, S. Timchenko¹, Y. Moldavanov¹¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

**ANALYSIS OF GEOLOGICAL CONDITIONS OF DISTRIBUTION AND
FEATURES STRUCTURES OF SANDSTONE LAYING IN THE ROOF
DEVELOPMENT OF COAL LAYERS IN CONDITIONS IN THE
CONDITIONS OF WESTERN DONBASS MINE**

Мета. Виконати статистичний аналіз пісковиків, як окремої літологічної підсистеми в плані геологічних умов та особливостей будови, на підставі комплексу зібраних даних геологічного прогнозу шахт Західного Донбасу, таких як глибина залягання, коливання потужності, відстані та кутів залягання пісковиків вище розроблюваних пластів. За результатами виконаного аналізу встановити закономірності розподілу випадкових величин.

Методика. У роботі використано статистичний метод дослідження геологічних даних технічної документації, який спрямовано на збір первинного статистичного матеріалу, обробку, систематизацію та групування, від характеристик окремих елементів до узагальнюючих показників, у формі абсолютних, відносних або середніх величин упорядкування, обробки та інтерпретації даних.

Результати. Наведено результати статистичного аналізу глибин розробки вугільних пластів по шахтах, потужності пісковиків, відстані та кутів залягання пісковиків вище покрівлі розроблюваних пластів. На підставі виконаного статистичного аналізу встановлено закономірності розподілу випадкових величин.

Наукова новизна. У результаті проведення статистичного аналізу вперше встановлено закономірності розподілу випадкових величин. А саме, встановлено, що зміна випадкових величин глибини розробки має характер розподілу Пуассона та Гаусса, а коливання потужності пісковиків, відстані та кутів їх залягання вище пласта мають характер експоненційного розподілу.

Практичне значення. Встановлені закономірності у подальшому дозволять виконати моделювання покровоного переміщення очисного вибою виїмкової ділянки з урахуванням мінімальної наявності пісковиків у покрівлі, задля прогнозування впливу вищезазначених пісковиків на технологію очисного виймання, що дозволить підвищити ефективність видобутку кам'яного вугілля в Західному Донбасі.

Ключові слова: алевrolіт, артіліт, пісковик, відстань міжпласта, вугільний пласт, глибина розробки, кут залягання, покрівля пласта, потужність пласта.

Вступ. За даними [1], 2019 року в Україні було видобуто 32,03 млн т кам'яного вугілля. 57% або 18,2 млн т було видобуто шахтами Західного Донбасу, які є на сьогоднішній день флагманами вуглевидобутку в Україні.

У сформованих економічних умовах урядом України, за участі міжнародних партнерів, розроблено програму декарбонізації та економічної диверсифікації вугільної галузі, але при невідповідному власному фінансовому забезпеченні, а також відсутності допомоги міжнародних організацій ззовні ця перспектива відтермінується все далі у майбутнє.

У зв'язку з цим вже на сьогоднішній день в умовах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» розпочато скорочення вуглевидобувних підприємств. Так, 2021 року завершено роботу шахт «Благодатна» ШУ «ім. Героїв Космосу» та «ім. Сташкова» ШУ «Дніпровське». У 2024 – 2025 рр. планується завершити роботу таких шахт як «Степова» та «Ювілейна» ШУ «Першотравневе». Тобто до 2030 року залишиться в роботі шість гірничих підприємств з планом вуглевидобутку 140 млн т. Перед цими підприємствами постають нові виклики та питання щодо підвищення власної ефективності та концентрації своїх потужностей задля покриття сталих планів вуглевидобутку, які були ще встановлені для десятиох шахт, за рахунок збільшення навантаження на очисні вибої, збільшення глибини розробки, відпрацювання покладів у складних гео-логічних умовах. Це в свою чергу може призвести до збільшення собівартості та зниження якості вугільної продукції, а також погіршення умов вуглеви-добутку.

Слід зазначити, що за період 2018 – 2020 рр. на цих вуглевидобувних підприємствах сталося п'ять випадків аварійної зупинки лав у вигляді посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» [2]. Ці негативні наслідки спричинили зниження видобутку вугілля не тільки в регіоні, але й в країні у цілому. Причиною тому стала наявність у покрівлях вугільних пластів потужних пісковиків (3,0 – 21,0) м.

Проблема управління породами покрівлі обумовлена складністю будови геологічного середовища, а саме, його шаруватої неоднорідності, зокрема з урахуванням пісковиків. Ці чинники мають місце негативно позначатися на технологічних процесах вуглевидобутку, де пісковики, які залягають в основній покрівлі, з запізненням втрачають свою стійкість до моменту настання їх поза-межного стану, після чого вони руйнуються одномоментно у вигляді великих плит, які спричиняють посадку секцій механізованого кріплення «на жорстку базу», що призводить до аварійної зупинки вуглевидобутку.

Потужні пісковики негативно впливають на умови відпрацювання вугільних пластів, особливо, якщо вони залягають у їх покрівлі та мають підвищену водонасиченість, тріщинуватість поблизу тектонічних порушень, в зонах «хибної» покрівлі, в місцях руслових розмивів та розщеплення пластів.

Першим етапом дослідження впливу пісковиків на напружено-деформований стан в геомеханічних зонах очисного виймання було виконання статистичного аналізу їх розповсюдження та особливості їх будови.

Аналіз результатів попередніх досліджень [3] – [7] показує, що пісковики, як окрема літологічна підсистема, вивчені не досить повно, в плані просторового

розповсюдження та будови. Зокрема, відсутній статистичний аналіз глибини залягання, коливання потужності, аналіз відстані залягання вище розроблюваних пластів, зміни кутів залягання. Відсутність цих показників ускладнює повною мірою дослідження закономірностей впливу пісковиків, напружено-деформованого стану покрівлі очисного вибою, а також величин розподілу конвергенції в лаві.

Задля виконання аналізу геологічних умов розповсюдження, а також будови пісковиків, які залягають у покрівлі розроблюваних вугільних пластів, було виконано збір геолого-технічних матеріалів на шахтах ПрАТ «ДТЕК Павло-градвугілля».

Отже, урахування особливостей залягання потужних пісковиків є важливим й актуальним завданням, а тому є необхідність вирішення даного питання.

Формулювання мети статті та постановка завдання. Метою даної статті є виконання статистичного аналізу пісковиків, як окремої літологічної підсистеми в плані особливостей будови, на підставі зібраних геологічних даних прогнозу шахт Західного Донбасу задля встановлення закономірностей розподілу випадкових величин конвергенції в лаві.

Завданнями дослідження є виконання аналізу:

- особливостей глибини залягання пісковиків у місцях розробки вугільних пластів;
- коливання потужності пісковиків;
- відстані залягання вище розроблюваних пластів;
- зміни кутів залягання пісковиків;
- встановлення закономірностей розподілу випадкових величин вищезазначених геологічних умов.

Основна частина. Актуальним завданням прогнозу аварійних випадків у лаві, пов'язаних з посадкою секцій механізованого кріплення «на жорстку базу», є виявлення тенденцій та систематизація розподілу глибини розробки по досліджуваній ділянці, на якій мали місце аварійні ситуації.

Спираючись на теорію ймовірності, з метою побудови ймовірнісної моделі масових випадкових явищ, розглянуто статистичний аналіз глибин розробки вугільних пластів, який представлено на рис. 1.

З рис. 1 бачимо, що зміна випадкових величин глибини розробки має характер розподілу Пуассона з $\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \sim 300$. Ці випадкові величини можна описати наступним рівнянням:

$$Pr = (X = k) \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, k \in N_0, \quad (1)$$

де λ – математичне сподівання випадкової величини (середня кількість подій за фіксований проміжок); $k!$ – факторіал числа k ; e – основа натурального логорифму ($e = 2,72$).

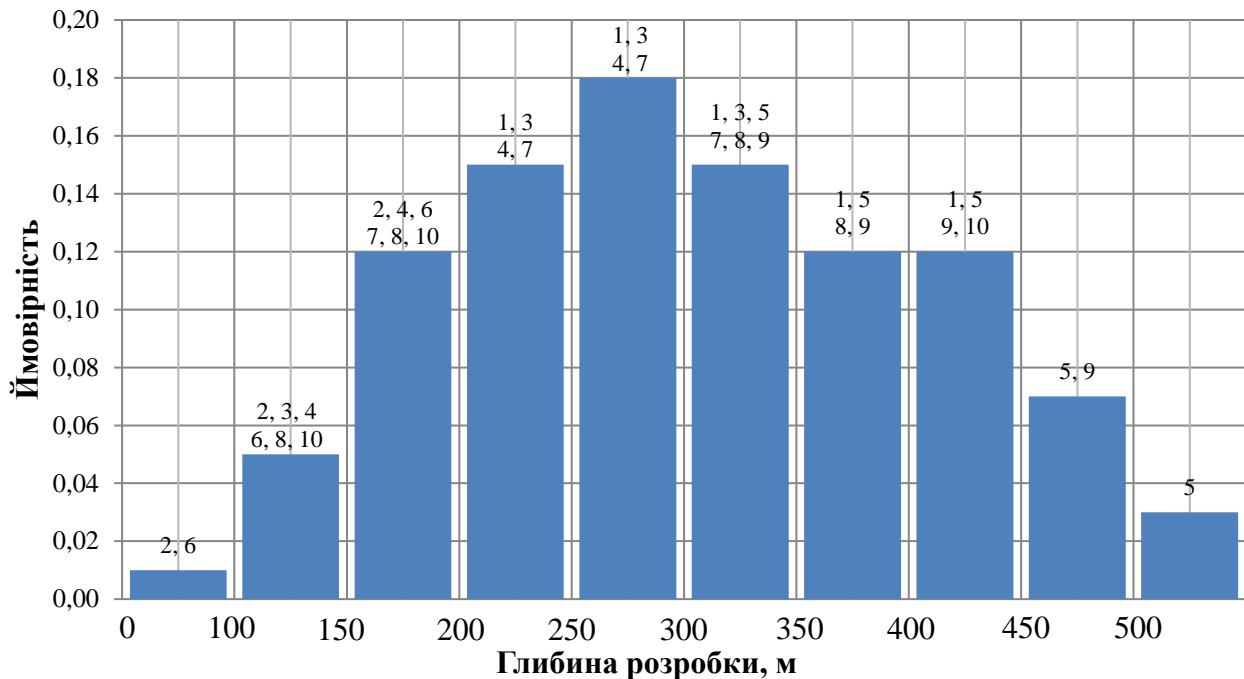


Рис. 1. Статистичний аналіз глибин розробки вугільних пластів:

1 – шахта «ім. Героїв Космосу»; 2 – шахта «Благодатна»; 3 – шахта «Павлоградська»; 4 – шахта «Тернівська»; 5 – шахта «Західно-Донбаська»; 6 – шахта «Самарська»; 7 – шахта «Дніпровська»; 8 – шахта «ім. Сташкова»; 9 – шахта «Степова»; 10 – шахта «Ювілейна»

Розподіл Пуассона виникає тоді, коли випадкова величина, в даному випадку глибина розробки, являє собою суму великої кількості незалежних випадкових величин, кожна з яких відіграє незначну роль в утворенні всієї суми.

Розподіл ймовірностей випадкових величин можна описати рівнянням:

$$f(x; \mu; \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2)$$

де μ – математичне сподівання; σ^2 – дисперсія випадкової величини; σ – середньоквадратичне відхилення.

Проаналізувавши вихідні дані, можна сказати, що найменшою глибиною розробки на досліджуваній ділянці є відмітка 97 м, на цій глибині ведуться роботи шахтами «Благодатна», по пласту C_1 , та «Самарська», по пласту C_4^2 .

Найбільша глибина, на якій ведуться роботи з розробки пластів, є відмітка 554 м, на шахті «Західно-Донбаська», яка відпрацьовує пласт C_8^H .

Середньою ж глибиною розробки в умовах шахт Західного Донбасу є величина 297 м.

Наступним кроком було виконання статистичного аналізу наявності пісковиків у покрівлях вугільних пластів шахт Західного Донбасу. Результати аналізу показали, що пісковики присутні в покрівлі розроблюваних пластів в 64% від загальної площі виїмкових полів, решта 36% характеризується відсутністю у покрівлі даної породи.

Ці показники можуть коливатися в межах від 3% до 75% для окремого виїмкового стовпа.

У ході роботи також було вивчено потужність пісковиків, які залягають у покрівлях розроблюваних пластів.

На підставі цих даних було проведено статистичний аналіз (рис. 2).

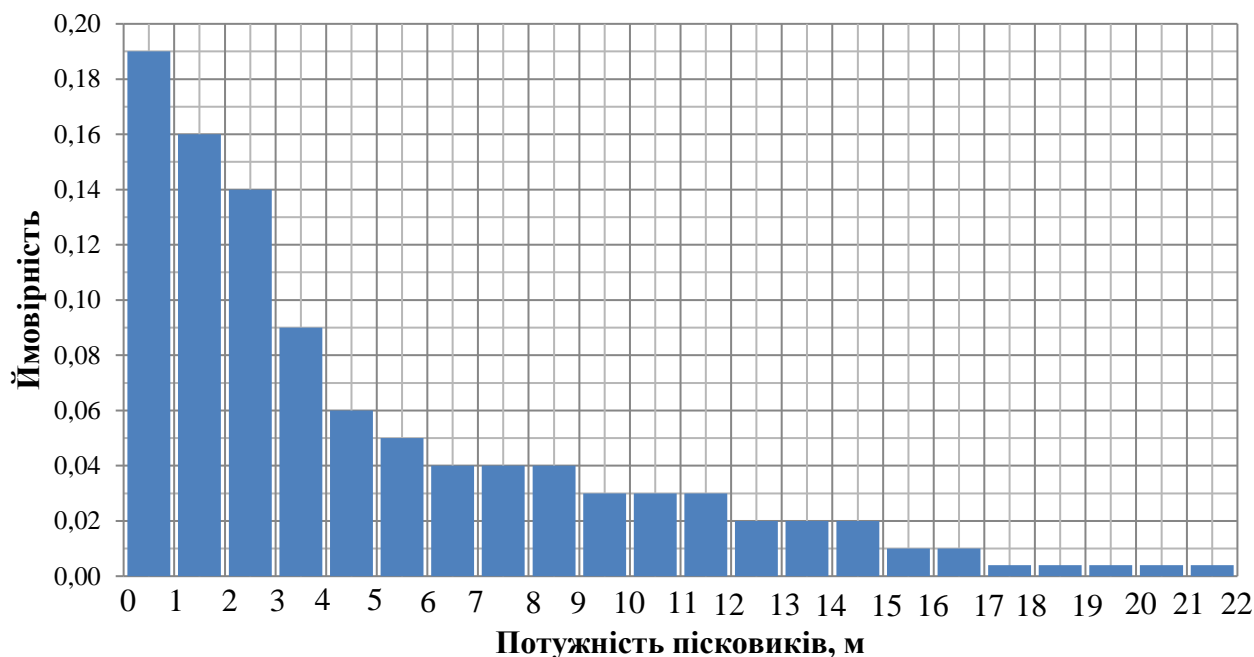


Рис. 2. Статистичний аналіз потужності пісковиків, що залягають у покрівлях розроблюваних вугільних пластів

З рис. 2 видно, що зміна випадкових величин коливання потужності пісковиків має характер експоненційного розподілу з $\lambda = 1$.

Випадкова величина потужності пісковиків має характер експоненційного розподілу з параметром $\lambda > 0$, її функція має вигляд:

$$f_x(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

де $\lambda e^{-\lambda x}$ – густина ймовірності, $x \in (0, \infty)$.

Випадкова величина потужності пісковиків є неперервним аналогом дискретного геометричного розподілу.

З рис. 2 можна сказати, що зі збільшенням потужності пісковиків прямопропорційно зменшується їх ймовірність зустрічі вище покрівлі пласта.

Аналіз показав (рис. 2), що потужність пісковиків коливається в межах від 0,1 м до 22,0 м. Поодинокими випадками є значення 36,0 м. Середнє ж значення потужності пісковиків – 5,2 м.

Також у роботі було виконано статистичний аналіз відстані залягання пісковиків вище покрівлі розроблюваних вугільних пластів, який наведено на рис. 3.

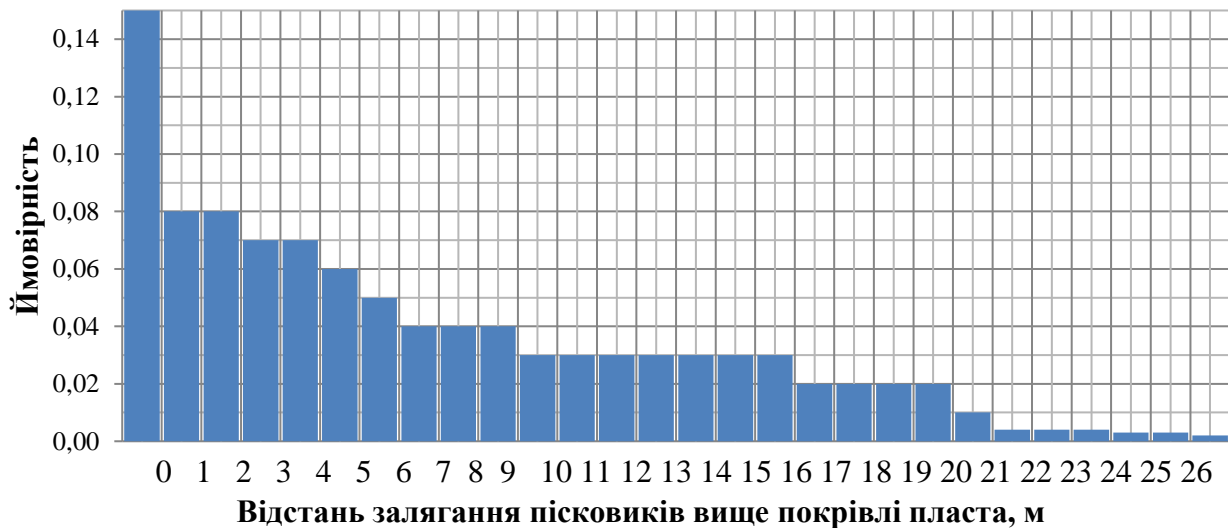


Рис. 3. Статистичний аналіз залягання пісковиків вище покрівлі розроблювальних пластів

З рис. 3 можна зробити висновок, що зміна випадкових величин коливання відстані залягання пісковиків вище покрівлі пласта має характер експоненційного розподілу з $\lambda = 0,1$.

Випадкова величина потужності пісковиків має характер експоненційного розподілу з параметром $\lambda > 0$, її функція має вигляд (3).

Випадкова величина відстані пісковиків вище пласта є неперервним аналогом дискретного геометричного розподілу.

На рис. 3 показано, що зі збільшенням потужності пісковиків прямо-пропорційно зменшується їх ймовірність зустрічі вище покрівлі пласта.

Слід зазначити, що пісковики залягають як у безпосередній покрівлі, так і є випадки залягання – 30,0 м вище розроблюваного пласта. Як показала статистика, середнє значення відстані залягання пісковиків вище пласта є 8,6 м (рис. 3).

Розглянуто статистичний аналіз (рис. 4) кутів залягання пісковиків вище розроблюваних пластів.

На рис. 4 показано, що зміна випадкових величин кутів залягання пісковиків вище покрівлі пласта має характер експоненційного розподілу з $\lambda = 5$.

Випадкова величина кутів залягання пісковиків, має характер експоненційного розподілу з параметром $\lambda > 0$, її функція також має вигляд (3).

Випадкова величина кутів залягання є неперервним аналогом дискретного геометричного розподілу.

Також можна констатувати, що зі зменшенням кутів залягання пісковиків прямопропорційно зменшується їх ймовірність.

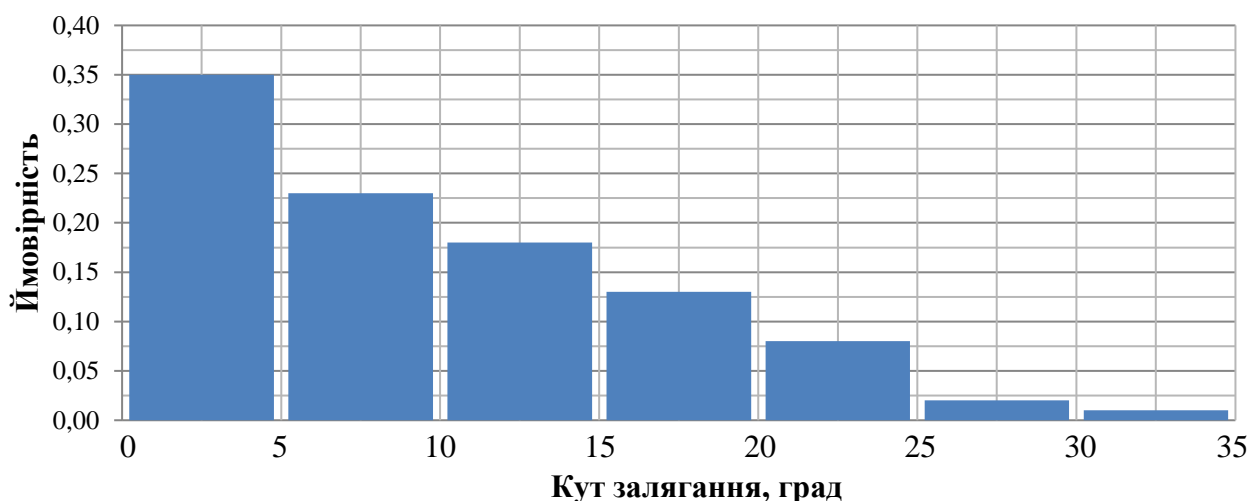


Рис. 4. Статистичний аналіз кутів залягання пісковиків

За результатами обробки даних можливо сказати, що кути залягання пісковиків вище розроблювальних вугільних пластів змінюються в інтервалі від 0° до 35° . Середнє ж значення становить 10° .

Відповідно до вищевикладеного, умови відпрацювання пластів є складними. Найбільш складними вони будуть при заляганні в покрівлі пластів водонасичених пісковиків, у зонах підвищеної тріщинуватості, поблизу виявлених тектонічних порушень, в зонах «хибної» покрівлі, в місцях руслових розмивів і розщеплення пластів.

Дослідження розподілу випадкових величин глибини розробки, потужності пісковиків, відстані залягання вище покрівлі пласта, а також кутів їх залягання проводиться з метою розуміння й узагальнюючого уявлення природи та причин аварійних зупинок лав, пов'язаних з посадкою механізованого кріплення «на жорстку базу».

Встановлені закономірності будуть застосовані в обґрунтуванні параметрів моделювання покрокового переміщення очисного вибою для отримання об'єктивних та більш чітких результатів розподілу конвергенції в лаві в зоні первинної посадки основної покрівлі.

Висновки. У результаті виконання статистичного аналізу геологічних умов розповсюдження та особливостей будови пісковиків було встановлено, що розподіл випадкових величин зміни глибини розробки має характер розподілу Пуассона. Закономірності розподілу випадкових величин потужності, відстані залягання та кутів залягання пісковиків вище покрівлі пласта, як окремої літо-логічної підсистеми, мають характер експоненційного розподілу з параметрами відповідно $\lambda > 0$, $\lambda = 0,1$ та $\lambda = 5$, що говорить про те, що зі збільшенням даних величин прямопропорційно зменшується їх ймовірність зустрічі вище покрівлі пласта. Ці випадкові величини є неперервним аналогом дискретного геометричного розподілу.

Результати дослідження з розподілу випадкових величин, а також встановлених закономірностей у подальшому будуть застосовані для обґрунтування параметрів проведення експерименту з прогнозу зміни розподілу величини конвергенції в лаві, під час покровоного її переміщення уздовж виїмкового стовпа, в зоні первинної посадки основної покрівлі, з урахуванням мінливої наявності пісковиків, що залягають вище покрівель вугільних пластів задля отримання об'єктивних та більш чітких результатів. У свою чергу це дозволить підвищити ефективність видобутку кам'яного вугілля в умовах шахт Західного Донбасу.

Перелік посилань

1. Looney, B. (2020). *Statistical Review of World Energy 2020 / 69th edition*. London: White-house Associates.
2. Власов, С. Ф., & Молдаванов, Є. В. (2020). Результати аналізу характеру розподілу конвергенції в лаві під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстко», в умовах шахт Західного Донбасу. *Вісник Криворізького національного університету*, 51, 3-8. <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2020-1-51-3-8>
3. Islavath, R., Deb, D., & Kumar, H. (2020). Development of a roof-to-floor convergence index for longwall face using combined finite element modelling and statistical approach. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104221>
4. Sebastian, R., & Mishra, B. (2020). Numerical investigation of massive roof failure in an underground coal mine in pittsburgh seam. In *Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development-Proceedings of the 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering, ISRM 2019* (pp. 2895–2901). CRC Press/Balkema.
5. Malkowski, P., & Ostrowski, L. (2019). Convergence monitoring as a basis for numerical analysis of changes of rock-mass quality and Hoek-Brown failure criterion parameters due to longwall excavation. *Archives of Mining Sciences*, 64(1), 93–118. <https://doi.org/10.24425/ams.2019.126274>
6. Kang, H., Lou, J., Gao, F., Yang, J., & Li, J. (2018). A physical and numerical investigation of sudden massive roof collapse during longwall coal retreat mining. *International Journal of Coal Geology*, 188, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2018.01.013>
7. Carlton, C. G. (2018). *An Analysis of Stresses and Displacements around a Fault Plane Due to Longwall Face Advance in Coal Mining*. (PhD thesis, Southern Illinois University Carbondale, Illinois).

АННОТАЦИЯ

Цель. Выполнить статистический анализ песчаников, как отдельной литологической подсистемы в плане геологических условий и особенностей строения, на основании комплекса собранных данных геологического прогноза шахт Западного Донбасса, таких как глубина залегания, колебание мощности, расстояние и углы залегания песчаников выше разрабатываемых пластов. По результатам выполненного анализа установить закономерности распределения случайных величин.

Методика. В работе использован статистический метод исследования геологических данных технической документации, который направлен на сбор первичного статистического материала, обработку, систематизацию и группирование, от характеристик отдельных элементов к обобщающим показателям, в форме абсолютных, относительных или средних величин упорядочения, обработки и интерпретации данных.

Результаты. Представлены результаты статистического анализа глубин разработки угольных пластов по шахтам, мощности песчаников, расстояния и углов залегания песчаников выше кровли разрабатываемых пластов. На основании выполненного статистического анализа установлены закономерности распределения случайных величин.

Научная новизна. В результате проведения статистического анализа впервые установлены закономерности распределения случайных величин. В частности установлено, что изменение случайных величин глубины разработки имеет характер распределения Пуассона и Гаусса; колебания мощности песчаников, расстояния и углов их залегания выше пласта имеют характер экспоненциального распределения.

Практическое значение. Установленные закономерности в дальнейшем позволят выполнить моделирование пошагового перемещения очистного забоя выемочного участка с учетом изменяющихся параметров залегания песчаника в кровле, для прогнозирования влияния вышеупомянутых песчаников на технологию очистной выемки, что позволит повысить эффективность добычи каменного угля в Западном Донбассе.

Ключевые слова: алевролит, аргиллит, песчаник, расстояние междупласть, угольный пласт, глубина разработки, угол залегания, кровля пласта, мощность пласта.

ABSTRACT

Purpose. Perform statistical analysis of sandstones as a separate lithological subsystem in terms of geological conditions and structural features based on a set of collected data of geological forecast of Western Donbass mines such as depth, power fluctuations, distances and angles of sandstones above the development layers. Based on the results of the analysis to establish the patterns of distribution of random variables.

Methods. The statistical method of research of geological data of technical documentation is used in the work, which is aimed at collecting primary statistical material, processing, systematization and grouping, from characteristics of individual elements to generalizing indicators in the form of absolute, relative or average values of ordering, processing and interpretation.

Findings. The results of statistical analysis of the depths of coal seams development in the mines, the capacity of sandstones, the distance and angles of sandstones above the roof of the development layers are presented. Based on the statistical analysis, the regularities of the distribution of random variables are established.

Originality. As a result of statistical analysis, for the first time established patterns of distribution of random variables. Namely, it is established that the change of random values of development depth has the character of Poisson and Gaussian distribution, fluctuations of sandstone power, distance and angles of their occurrence above the formation, have the character of exponential distribution.

Practical implications. The established regularities will allow modeling the stepwise movement of the excavation face of the excavation area taking into account the changing presence of sandstone in the roof, to predict the impact of the above sandstones on the technology of treatment extraction, which will increase the efficiency of coal mining in Western Donbass.

Keywords: siltstone, argillite, sandstone, distance between layers, coal seam, depth of development, angle of occurrence, roof of formation, thickness of formation.