

УДК 622.014.2

<https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.014>

МЕТОДИКА МОНИТОРИНГУ ДИНАМІКИ РОБОТИ ОЧИСНИХ ВИБОЇВ ЗА ПАРАМЕТРАМИ РОЗПОДІЛУ ВУГЛЕВИДОБУТКУ

А.В. Мерзликін^{1*}

¹Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, Україна

*Відповідальний автор: e-mail: artem.merzlikin@donntu.edu.ua

METHOD OF MONITORING THE DYNAMICS OF LONGWALLS WORK BY PARAMETERS OF UNDERGROUND MINING

Merzlikin Artem^{1*}

¹Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Donetsk region, Ukraine

*Corresponding author: e-mail: artem.merzlikin@donntu.edu.ua

ABSTRACT

Purpose. Development of methods for monitoring the dynamics of coal production from treatment pits on the basis of analysis of their work on the distribution of daily and monthly coal production. The tasks of the research are the analysis of histograms of distribution and establishment of quantitative connection between the indicator of rhythm of lava and the degree of its controllability.

Method. Statistical analysis of daily production from complex mechanized treatment pits is performed. It is proved that stable values of the first initial, as well as the second and third central statistical moments are provided under the condition of using a sliding window lasting 16-18 days.

Findings. A significant statistical relationship was found between the duration of continuous daily growth of the coefficient of variation of production and its subsequent steady decline. It is shown that a continuous increase in the coefficient of variation of production for 5-6 days is dangerous (critical) and leads to a decrease in the level of controllability of the treatment face. It was found that the lava responds to a critical level of fluctuation of production with a delay of 6 days.

Scientific novelty. For the first time it was established that the histograms of variation of stable production from controlled bottomholes are asymmetric and shifted towards the planned load, and in weakly controlled ones - symmetric, and the amplitude of variation of production from bottomholes is exponentially dependent on its value, which increases reliability. results of quantitative forecast of risks of loss of rhythm of the main and auxiliary processes of coal mining.

Practical implications. A method of monitoring the dynamics of production is proposed, which provides a timely response to the negative trend of controllability of the treatment face. The application of such a technique allows you to quickly take measures to stabilize or improve the controllability of the lava and, as a consequence, to ensure a sustainable level of production.

Keywords: variation of mining, controllability, stable work, distribution histogram

1. ВСТУП

Нарощування обсягів видобутку вугілля в Україні є важливим пунктом державної енергетичної політики, і не потребує спеціального коментування. Однією з ключових проблем, вирішення якої сприятиме стабільному розвитку галузі, є підвищення навантаження на очисні вибої. У даний час більше половини видобутку вугілля забезпечується високонавантаженими лавами, які використовують сучасне очисне обладнання. Це дає можливість зберегти конкурентоспроможність вугільних шахт і, взагалі, галузі у жорстких умовах ринкової економіки. Разом з тим практика показує, що зі збільшенням навантаження на очисні вибої, як правило, знижується стійкість і ритмічність їх роботи [1, 2]. У зв'язку з тим, що для забезпечення ефективності експлуатації сучасної дорогої вугледобувної техніки переважна кількість високонавантажених лав працює на межі максимальних показників, будь-яка нестабільність породжує варіацію видобутку в меншу від планового рівня сторону. Діапазон і характер цієї варіації істотно впливають на стійкість роботи лав. Тому дослідження показників розподілення видобутку очисних вибоїв дозволяє розібратися в глибинних причинах їх несталої роботи та обґрунтувати заходи щодо підвищення ефективності і надійності роботи очисних вибоїв. Крім того, розробка і дослідження об'єктивних критеріїв оцінки стійкості і керованості роботи вугледобувних ділянок актуальні для об'єктивної оцінки менеджменту і мотивації персоналу шахт.

Автори [1] пропонують характеризувати роботу очисного вибою за ритмічністю і керованістю. При цьому ритмічність оцінюється за величиною варіації добового видобутку з лави, а керованість – за варіацією видобутку за місяць. Режим роботи очисного вибою розглядається як ритмічний, якщо варіація добового видобутку змінюється від 0% до 20%. Зміна відхилень в межах 20% – 40% характеризується відносно ритмічною роботою, а понад 40% – неритмічною роботою з переходом в нестійкі режими (рис. 1а). На рис. 1б показано розподіл за рівнем керованості. При цьому рівень відхилень від планових показників видобутку за місяць в межах 0 – 10% характеризує керований режим роботи, від 10% до 20% – частково керований режим і понад 20% – погано керований і некерований режими.

Протиріччя такого підходу полягає в тому, що показник ритмічності визначається за даними добового навантаження, а ступінь керованості – за даними навантаження за місяць. Крім того, не обґрунтовано інтервали варіації видобутку, за яких ритмічні і керовані режими змінюються на неритмічні і некеровані.

Таким чином, очисний вибій з рівнем варіації добового видобутку до 20% вважається ритмічним, проте за рівнем керованості цей вибій буде за тією ж варіацією відноситися до лав з частково керованим режимом роботи. Більше того, цілком можливо, коли повністю некерований режим роботи буде здійснюватися в процесі його цілком ритмічної роботи. Очевидно, що при такому підході до визначення критерію ритмічності та керованості вони є незалежними, що призводить до неоднозначної оцінки стійкості роботи лави.

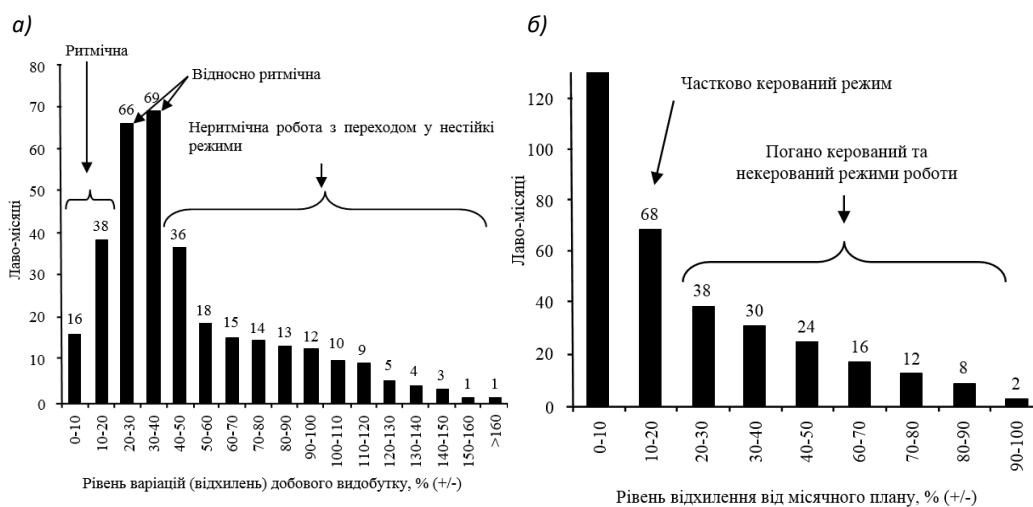


Рисунок 1. Розподіл лаво-місяців: а – за рівнем ритмічності виробничого процесу; б – за рівнем керованості [1]

Разом з тим, неритмічність роботи лави автоматично означає її погану керованість. Якщо лава працює в постійно сприятливих гірничо-геологічних умовах, безаварійно з високим рівнем якості ремонтно-профілактичних робіт з використанням високонадійної сучасної техніки, тоді показники видобутку за добу і тим більше за місяць будуть однаковими, а їх розподіл або гістограма буде виглядати у вигляді одного стовпчика. На рис. 2 цей видобуток прийнято умовно за одиницю і відповідає максимально можливому для конкретних умов або нормативному видобутку за високим рівнем оптимізації розрахункових показників.

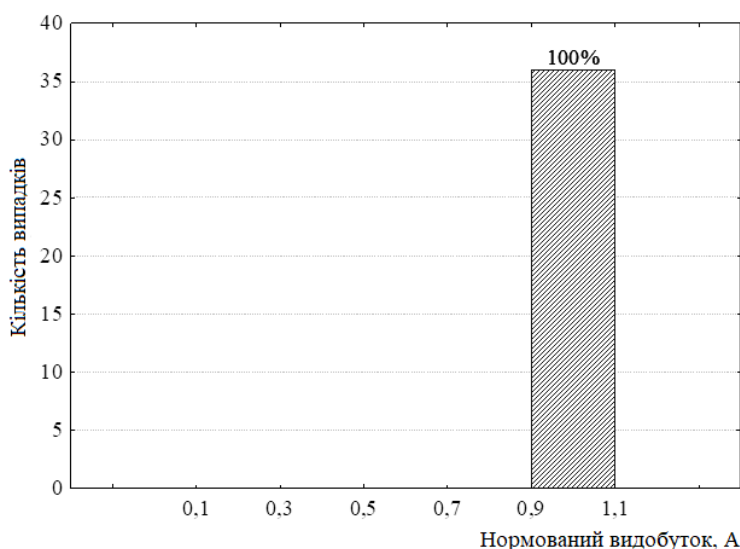


Рисунок 2. Розподіл нормованого видобутку за ідеальної роботи виїмкової ділянки

2. МЕТОДИ

У реальності деяка варіація видобутку з лави немінуча за рахунок впливу випадкових чинників і, в першу чергу, таких, як природна варіація потужності пласта, що виймається і умов його залягання, міцнісних властивостей і будови гірничих порід, аварійність обладнання, порушення в роботі транспортного ланцюжка, електропостачання і т.п. Для дослідження структури розподілу видобутку за добу та місяць було проаналізовано роботу низки типових для умов Донбасу очисних вибоїв. У таблиці 1 наведено перелік шахт, і характеристики очисних вибоїв, прийнятих до аналізу. Видно, що діапазон довжин лав змінюється в 1,4 рази, потужність пласта відрізняється в 2,5 рази, глибина розробки в 6,5 разів. При цьому в лавах, що аналізуються працювало очисне обладнання, яке широко застосовується в галузі. Таким чином, вихідна вибірка даних є досить представницькою для типових умов комплексно-механізованих вибоїв України, що дозволяє говорити про об'єктивність виконаного статистичного аналізу.

Таблиця 1. Характеристики очисних вибоїв

Назва шахти	Назва лави, пласта	Середня потужність пласта, м	Довжина лави	Глибина розробки	Видобувне обладнання	Тривалість роботи, міс.
1	2	3	4	5	6	7
ш. ім. Ба-жанова	2-га зах. лава пл.м ₃	1,28	220	1012	ЗКД90Т РКУ-13	12
	зах. лава пан 20 пл.м ₃	1,28	220	1012	ЗКД90Т КДК-500	12
	західна лава пан 2 пл. м ₃	1,28	220	1012	ЗКД90Т УКД-200	12
ш/у Покровське	5-та півд. лава бл. 2	1,7	285	575	ЗКД90Т РКУ-13	18
	4-та півд. лава бл. 2	1,7	285	575	ЗКД90Т РКУ-13	15
	5-я півн. лава бл. 2	1,7	285	575	ЗКД90Т РКУ-13	10
	3 півн. лава центр. пан. бл. 8	0,88	265	585	ДВТ Струг РНН-42	16
ш. Щегловська-Глибока	5-я зах. лава пл. м ₃	1,43	212	12200	ЗКД-90Т РКУ-10	10
	2-я східн. лава пл. l ₁	1,36	204	1070	ДМ УКД-200	12
	4-я зах. лава пл. k ₈	1,06	211	1155	ДМ УКД-200	18

Назва шахти	Назва лави, пласта	Середня потужність пласта, м	Довжина лави	Глибина розробки	Видобувне обладнання	Тривалість роботи, міс.
Краснолиманська	2-я зах. лава пл. Із	3,40	245	720	ЗКД-90Т КДК-500	25
	11-а півд. лава пл. К5	2,1	306	825	КДД РКУ-13	11
ш. ім. Засядько	13-я зах. лава пл. мз	2,00	260	1100	ЗКД90Т РКУ-13	19
ш. Південно-Донбаська №1	21-а східн. біс лава с ₁₀ ²	0,80	250	570	КМК-98 К-103	12
	20 східн. біс лава с ₁₀ ²	0,80	250	570	КМК-98 К-103	12
	19 східн. біс лава с ₁₀ ²	0,80	250	270	КМК-98 К-103	12
ш. ім. Засядько	14-а зах. лава пл. мз	2,00	260	1150	ЗКД90Т РКУ-13	17
ш. Комсомолець Донбасу	1-а зах. лава пл. І7	0,96	255	640	МДТ МВ-280Е	13
	10-а зах. лава пл. І7	0,96	300	640	ІКД-90 МВ-220Е	17
ш. Emerald	32-а панель	1,50	280	180	ДВТ СР-620	8

Для більшої достовірності результатів аналізу вибірку вихідних даних по кожній шахті намагалися робити такою, щоб загальна кількість даних була не менша за 30-40. У цілому ж вибірки містили від 32 даних (для шахти Південно-Донбаська №1) до 245 даних для сучасної американської шахти Emerald [3]. На рис. 3 показані гістограми розподілу видобутку з очисних вибоїв. На осі абсцис відкладена величина видобутку, виражена у відносних одиницях і обчислюється як відношення фактичного видобутку до планового чи нормативного значення. На осі ординат показано число випадків, а над кожним стовпчиком гістограми вказано частоту, з якою зустрічався даний видобуток у загальній вибірці аналізованих даних шахти.

У більшості випадків зустрічається одномодальний розподіл, коли на гістограмі є тільки один максимум (наприклад шахти Щегловська-Глибока, ш/у Покровське). Деякі лави характеризуються багатомодальними розподілами (шахта Emerald), що може бути пояснено виникненням декількох режимів роботи, що обумовлено варіацією гірничо-геологічних умов та іншими факторами. У цілому спостерігається досить широкий діапазон навантажень та їх розмах. Так на шахті Південно-Донбаська №1 навантаження в очисних вибоях змінювалося в діапазоні від 0,16 до 0,5 від планового рівня, який прийнято за одиницю. У ш/у Покровське деякі лаво-місяці характеризувалися перевищенням фактичного видобутку над плановим навантаженням в 1,3 рази.

Такі перевищення можуть бути обумовлені різними причинами. Зокрема природна варіація газоносності пласта і вміщуючих порід дає можливість підвищувати на деяку величину фактичний видобуток з лави на тих ділянках, де рівень метановиділення менший за прогнозний, за яким розраховано нормативне навантаження на очисний вибій [4].

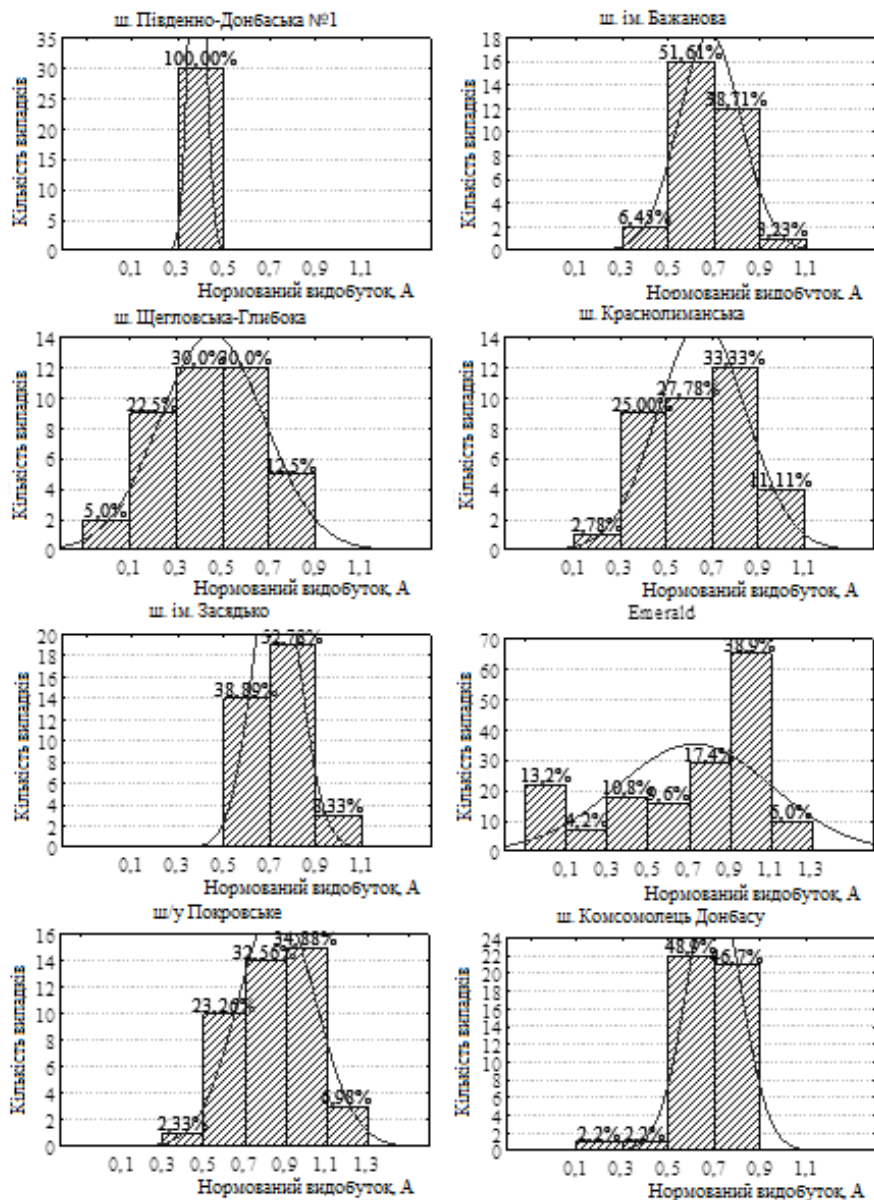


Рисунок 3. Гістограми видобутку за місяць з очисних вибоїв шахт

Разом з тим існують також причини, які чинять негативний вплив при перевищенні фактичного видобутку над плановим її рівнем. Зокрема, інтенсифікація вуглевидобутку за рахунок порушення регламентів техобслуговування і ремонтів призводить до підвищеного і не виправданого зносу обладнання, а іноді до порушення правил безпеки, що може супроводжуватися аваріями різної тяжкості.

Відомо [5], що гістограма необмежено наближається до теоретичного розподілу щільності ймовірності зі збільшенням числа вихідних даних, на основі яких ця гістограма побудована. До того ж розподіл ймовірності є вичерпною характеристикою випадкової величини, в якості якої, в даному випадку, розглядається видобуток з лави. Для узагальненої характеристики гістограм видобутку запропоновано використовувати три перші статистичні моменти випадкової величини, якою є видобуток з очисного вибою за добу, тиждень або місяць. Першим моментом, як відомо, є середнє, другим дисперсія і третім асиметрія розподілу [5]. Перший момент є початковим, другий і третій – центральними, і обчислюються за відомими формулами:

$$A = \sum_{i=1}^K A_i \cdot P_i, \quad (1)$$

$$S = \sum_{i=1}^K (A_i - A)^2 \cdot P_i, \quad (2)$$

$$As = \sum_{i=1}^K (A_i - A)^3 \cdot P_i, \quad (3)$$

де A , S і As – середній видобуток, дисперсія й асиметрія відповідно; A_i – фактичний видобуток за добу або місяць; P_i – частота або ймовірність значень фактичного видобутку в межах i -го інтервалу; K – кількість інтервалів, на які розбивається гістограма видобутку.

Скористаємося формулою Стерджеса для обчислення кількості інтервалів, на які рекомендується розбити вихідну вибірку даних для побудови гістограм.

$$K = 1 + 3,322 \cdot \lg n, \quad (4)$$

де n – кількість даних.

Важливо, щоб статистичні оцінки розподілу видобутку (гістограми) були стійкими. Для цього необхідно обґрунтувати достатню кількість вихідних даних, за якими визначаються статистичні моменти розподілів (гістограм). Для перевірки стабільності статистичних моментів були виконані спеціальні дослідження, за результатами яких, число інтервалів, на які розбивалися вихідні вибірки даних і будувалися гістограми, змінювалося від 3 до 8. Це означає, що згідно з формулою (4) гістограми видобутку будувалися на діапазоні вихідних даних від 4 до 93. У зв'язку з тим, що часто за довжиною виїмкового стовпа гірничо-геологічні умови відпрацювання лави змінюються, величину видобутку доцільно нормувати шляхом ділення абсолютної величини видобутку на нормативне значення. У цьому випадку можна порівнювати показники роботи лави по всій довжині виїмкового стовпа, і, таким чином, аналізувати динаміку зміни стійкості її роботи.

На рис. 4 наведені графіки залежності середнього видобутку з очисного вибою від кількості інтервалів на гістограмах. У цілому середній рівень видобутку змінюється від 0,33 (для шахти Південно-Донбаська №1) до 0,72-0,87 (для

шахти ім. Засядько і ш/у Покровське). Видно, що величина середнього видобутку для будь-якої шахти дещо зменшується з ростом кількості інтервалів. При цьому починаючи з 5-6 інтервалів спостерігається стабілізація значень середнього видобутку, причому його зміна з подальшим збільшенням числа інтервалів не перевищує 5% від середнього рівня.

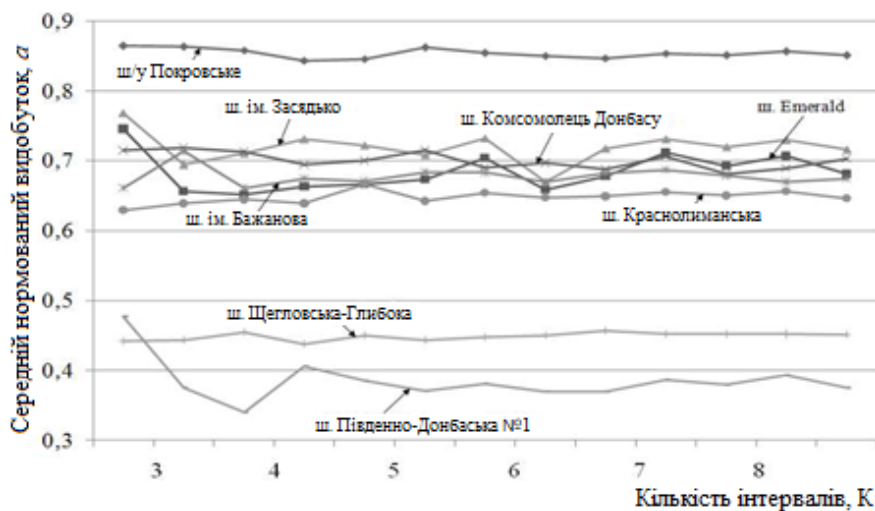


Рисунок 4. Графіки залежності величини середнього видобутку з очисного вибою від кількості інтервалів на гістограмах

Висока стабільність відзначена також для показників розсіювання видобутку й асиметрії з кількістю інтервалів 5-6 і більше. Приклади графіків зміни дисперсії видобутку на рис. 5 ілюструють цю закономірність. З фізичної точки зору це означає, що статистичний показник безперервного стохастичного процесу, яким є гірничі роботи [6], можна виділити, взявши за основу ковзне вікно вибірки не менше 16-18 діб.

Виконаний статистичний аналіз дозволив встановити кількісний зв'язок між показником ритмічності лави і ступенем її керованості. Як уже зазначалося на початку статті, ці показники повинні бути пов'язаними між собою. Для встановлення такої залежності був виконаний додатковий аналіз кореляції між темпами зміни коефіцієнта варіації видобутку та самого видобутку. При цьому в якості кількісної характеристики ритмічності було використано коефіцієнт варіації видобутку, а величина середньої видобутку з лави по відношенню до нормативного рівня відображала керованість. Чим вищий коефіцієнт варіації видобутку, тим менш ритмічно працює лава, і чим менший її видобуток у порівнянні з нормативним рівнем, тим гірша її керованість. Графіки видобутку та коефіцієнта варіації були продиференційовані в часі. Це дозволило оцінити динаміку роботи очисного вибою в часі.

Оцінку керованості очисного вибою від ритмічності його роботи проводили виходячи з концепції, згідно з якою можна розглядати лаву як відкриту термодинамічну систему, що пропускає через себе потоки енергії та речовини [7]. Стійкість такої системи визначається флуктуаціями певних параметрів. У

даному випадку в якості флуктуації розглядалась варіація або дисперсія видобутку з лави. За визначеним рівнем або тривалістю флуктуації очисний вибій може змінити свій режим роботи. Концептуально чим більша амплітуда флуктуації або її тривалість, тим вища ймовірність переходу лави з більш стійкого або керованого режиму роботи в менш стійкий з втратою видобутку як наслідок цього переходу. Другим опорним моментом висунутої концепції є добре відомий факт затримки реакції складних відкритих термодинамічних систем на флуктуації [8]. Саме час затримки часто використовують для того, щоб встигнути прореагувати на негативну тенденцію розвитку процесу, який запускається флуктуацією. Важливо тепер знайти кількісний показник флуктуації, який є критичним і вирішальним для переходу системи «очисний вибій» в менш керований режим.

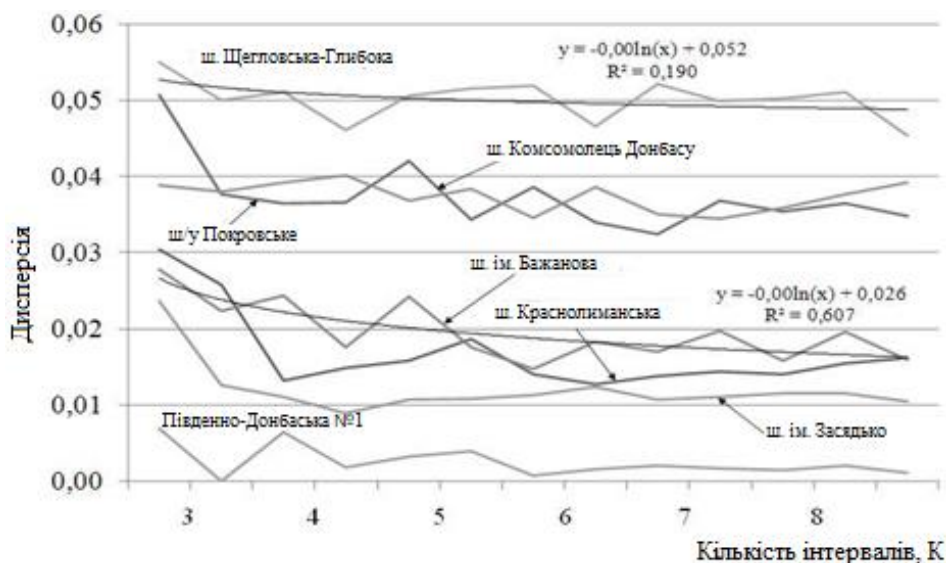


Рисунок 5. Графіки залежності дисперсії від кількості інтервалів

Для цього на графіках похідних коефіцієнта варіації та видобутку виділялися окремі ділянки шкали часу, на яких спостерігалось безперервне зростання коефіцієнту варіації видобутку, що виражалось в позитивному знаку його похідної за часом. Після цього визначався кореляційний зв'язок між величинами похідних коефіцієнту варіації та видобутку. Для встановлення часу затримки реакції лави на зростання варіації видобутку використовувався зсув у часі між числовим рядом похідної коефіцієнту варіації та рядком похідної видобутку. Таким чином, було перевірено тривалість безперервного зростання коефіцієнта варіації за 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 діб та затримки реакції лави на період від доби до 15 діб. Всього було виконано 120 чисельних експериментів. Як критерій величини кореляції використовувався стандартний показник тісноти зв'язку R^2 . Таким чином, було виявлено критичну тривалість флуктуації, а також затримку в часі, з якою лава реагує на цю критичну флуктуацію.

Виявилось, що переважна кількість пар наборів похідних коефіцієнту варіації видобутку і похідної самого видобутку за часом, продемонстрували слабку

взаємну залежність, величина показника тісноти зв'язку якої становила від тисячних до декількох десятих. Відомо, що кореляційний зв'язок можна вважати досить достовірним або значущим, якщо показник тісноти зв'язку перевищує 0,5. Найбільше значення показника тісноти зв'язку виявилось у парі наборів, яка відповідає тривалості в шість діб, безперервного зростання коефіцієнту варіації видобутку та затримки реакції очисного вибою тривалістю в 6 і 12 діб (рис. 6). Показник тісноти зв'язку при цьому змінювався в межах від 0,56 до 0,73, що слід визнати як вельми значущий зв'язок. Очевидно, що затримка реакції на 12 діб кратна мінімальній тривалості затримки в 6 діб, і по суті, є додатковим підтвердженням встановленого зв'язку.

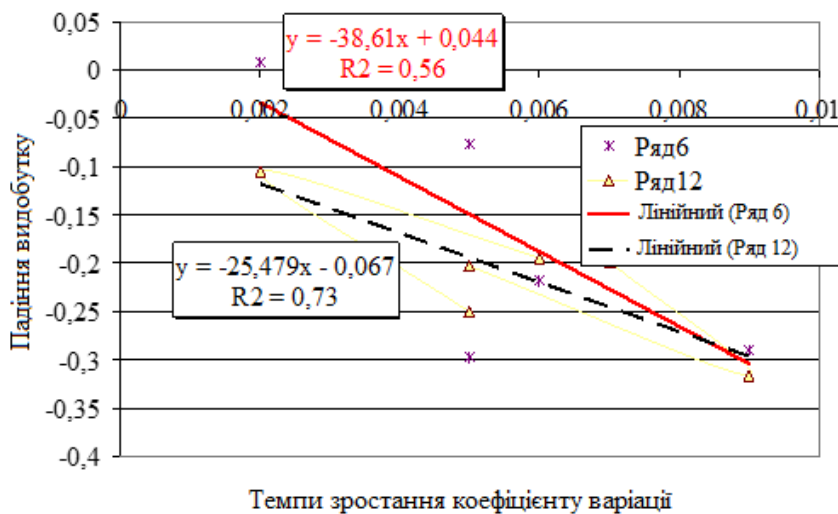


Рисунок 6. Залежність падіння видобутку з лави із зниженням ритмічності її роботи

3. ОБГОВОРЕННЯ

Отримана залежність має дуже важливе практичне значення. Якщо організувати щодобовий моніторинг видобутку з лави, можна з високою вірогідністю прогнозувати керованість її роботи за показником ритмічності, в якості якого використовується коефіцієнт варіації. Методика моніторингу полягає в наступному. Щодоби визначається коефіцієнт варіації роботи очисного вибою. При цьому дисперсію та варіацію видобутку визначають у ковзному вікні тривалістю 18 діб, як описано на початку даної статті. Сигнал «небезпечно» видається в тому випадку, коли протягом 5-6 діб коефіцієнт варіації продовжує зростати. У цьому випадку немає необхідності чекати закінчення місяця, щоб підвести підсумки роботи лави і прийняти невчасне управлінське рішення. Про необхідність прийняття оперативних заходів з повернення лави до керованого режиму роботи свідчить безперервне зростання коефіцієнту варіації видобутку протягом 5-6 діб роботи лави. Зауважимо, що за цей період середній рівень видобутку може залишатися однаковим або незначно змінюватись. Однак виникнення 5-6 денного безперервного зростання коефіцієнту

варіації свідчить про наявність стійкої негативної тенденції, яка з ймовірністю більше 95% може привести до зниження рівня керованості очисного вибою, що позначиться у вигляді зниження місячного рівня видобутку вугілля. Тому подібний аналіз дозволяє менеджменту шахти своєчасно вжити адекватних заходів щодо стабілізації роботи очисного вибою.

4. ВИСНОВКИ

Виконано статистичний аналіз добового видобутку з комплексно механізованих очисних вибоїв. Доведено, що стійкі значення першого початкового (середнього рівня видобутку), а також другого (дисперсії) і третього (асиметрії) центральних статистичних моментів забезпечуються за умови використання ковзного вікна тривалістю 16-18 діб.

Знайдена значуща статистична залежність між тривалістю безперервного щодобового зростання коефіцієнту варіації видобутку та її подальшим стійким падінням. Показано, що безперервне зростання коефіцієнта варіації видобутку протягом 5-6 діб є небезпечним (критичним) і призводить до зниження рівня керованості очисного вибою. Встановлено, що лава реагує на критичний рівень флуктуації видобутку із затримкою в 6 діб.

Запропоновано методику моніторингу динаміки видобутку, що забезпечує своєчасну реакцію на негативну тенденцію керованості очисного вибою. Застосування такої методики дозволяє оперативно вживати заходів зі стабілізації або поліпшення керованості роботи лави, і як наслідок, забезпечення сталого рівня видобутку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Федоров В.Н. К вопросу технического регулирования производственных процессов современной шахты // Уголь, 2010. – №2. – С. 49–51.
2. Федоров В.Н. Обеспечение ритмичной работы очистных забоев – главное условие роста эффективности // Уголь, №1, 2009.- С.70–73.
3. Preusse A. Analysis of the dynamics of mining in range of a product transmission overhead line//22nd International Conference of Control Mining. Morgantown, WVU, 2003.-Pp.344–347.
4. Ильяшов М.А., Агафонов А.В., Кочерга В.Н., Бондарь А.А. Особенности метановыделения в высоконагруженных очистных забоях // Уголь. – 2010. – №7. – С. 24–26.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969.- 576с.
6. Ильяшов М.А. и др. Исследование зависимости темпов проходки под влиянием стохастических факторов // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-геологічна.- Донецьк: ДонНТУ, 2010.-С. 210–222.
7. Бондаренко В.І., Ковалевська І.А., Симанович Г.А. та ін. Геомеханіка безаварійної роботи високонавантажених лав шахт // Науковий вісник НГУ, 2010, №11-12.- С.137–147.
8. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. – М.: Мир, 1973.-324с.
9. Бондаренко В., Черняк В., Кейвуд Ф., Черватюк В. (2017). Технологічна безпека стійкого розвитку вугільних підприємств. Mining of Mineral Deposits. 11(2), 1–11. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.001>

REFERENCES

1. Fedorov V.N. (2010) K voprosu tekhnicheskogo rehulyrovaniya proyzvodstvennykh protsessov sovremennoi shakhty. *Uhol.* 2. 49–51
2. Fedorov V.N. (2011) Obespechenye rytmichnoi rabote ochystnykh zaboev – glavnoe usloviye rosta efektyvnosti. *Uhol.* 1. 70–73.
3. Preusse A. (2003) Analysis of the dynamics of mining in range of a product transmission overhead line. *22nd International Conference of Control Mining.* Morgantown. WVU. 344–347.
4. Yliashov M.A., Ahafonov A.V., Kocherha V.N., Bondar A.A. (2010) Osobennosti me-tanovydeleniya v vysokonahruzhennykh ochystnykh zaboiaxh. *Uhol.* 7. 24–26.
5. Venttsel E.S. (2001) Teoriya veroiatnostei. *M. Vysshaia shkola.* 576.
6. Yliashov M.A. (2010). Issledovaniye zavisymosti tempov prokhodki pod vliyaniem stokhasticheskikh faktorov. *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya hirnycho-heolohichna.* Donetsk. Don-NTU, 210–222.
7. Bondarenko V.I., Kovalevska I.A., Symanovych H.A. ta in. (2010) Heomekhanika bezava-riinoi roboty vysokonavantazhenykh lav shakht. *Naukovyi visnyk NHU.* 11-12.137–147.
8. Hlensdorf P., Pryhozhyn Y. (1973) Termodynamicheskaia teoriya struktury, ustoichivosti i fluktuatsii. *M. Mir.* 324.
9. Bondarenko V., Cherniak V., Keivud F., Chervatiuk V. (2017). Tekhnolohichna bezpeka stiikoho rozvytku vuhilnykh pidpriemstv. *Mining of Mineral Deposits.* 11(2), 1–11. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.001>

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Розробка методики моніторингу динаміки вуглевидобутку з очисних вибоїв на основі аналізу їх роботи за розподілом показників добового та місячного видобутку вугілля. Завданнями досліджень є аналіз гістограм розподілу та встановлення кількісного зв'язку між показником ритмічності лави та ступенем її керованості.

Методика. Виконано статистичний аналіз добового видобутку з комплексно механізованих очисних вибоїв. Доведено, що стійкі значення першого початкового, а також другого і третього центральних статистичних моментів забезпечуються за умови використання ковзного вікна тривалістю 16-18 діб.

Результати. Знайдена значуща статистична залежність між тривалістю безперервного щодобового зростання коефіцієнта варіації видобутку та її подальшим стійким падінням. Показано, що безперервне зростання коефіцієнта варіації видобутку протягом 5-6 діб є небезпечним (критичним) і призводить до зниження рівня керованості очисного вибою. Встановлено, що лава реагує на критичний рівень флуктуації видобутку із затримкою в 6 діб.

Наукова новизна. Уперше встановлено, що гістограми варіації стійкого видобутку з керованих очисних вибоїв несиметричні та зміщені у бік планового навантаження, а у слабо керованих – симетричні, причому амплітуда варіації видобутку з очисних вибоїв знаходиться в експоненціальній залежності від його величини, що дозволяє підвищити надійність результатів кількісного прогнозу ризиків втрати ритмічності основних та допоміжних процесів вуглевидобутку.

Практична значимість. Запропоновано методику моніторингу динаміки видобутку, що забезпечує своєчасну реакцію на негативну тенденцію керовано-

сті очисного вибою. Застосування такої методики дозволяє оперативно вживати заходів зі стабілізації або поліпшення керованості роботи лави, і як наслідок, забезпечення сталого рівня видобутку.

Ключові слова: варіація видобутку, керованість, стійка робота, гістограма розподілу

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Разработка методики мониторинга динамики угледобычи из очистных забоев на основе анализа их работы по распределению показателей суточной и месячной добычи угля. Задачами исследований является анализ гистограмм распределения и установления количественной связи между показателем ритмичности лавы и степени ее управляемости.

Методика. Выполнен статистический анализ суточной добычи с комплексно механизированных очистных забоев. Доказано, что устойчивые значения первого начального, а также второго и третьего центральных статистических моментов обеспечиваются при использовании скользящего окна продолжительностью 16-18 суток.

Результаты. Найдена значимая статистическая зависимость между продолжительностью непрерывного посуточного роста коэффициента вариации добычи и его последующим устойчивым падением. Показано, что непрерывный рост коэффициента вариации добычи в течение 5-6 суток является опасным (критическим) и приводит к снижению уровня управляемости очистного забоя. Установлено, что лава реагирует на критический уровень флуктуации добычи с задержкой в 6 суток.

Научная новизна. Впервые установлено, что гистограммы вариации устойчивой добычи управляемых очистных забоев несимметричные и смещены в сторону плановой нагрузки, а в слабо управляемых – симметричные, причем, амплитуда вариации добычи из очистных забоев находится в экспоненциальной зависимости от ее величины, что позволяет повысить надежность результатов количественного прогноза рисков потери ритмичности основных и вспомогательных процессов угледобычи.

Практическая значимость. Предложена методика мониторинга динамики добычи, обеспечивающая своевременную реакцию на негативную тенденцию управляемости очистного забоя. Использование такой методики позволяет оперативно принимать меры по стабилизации или улучшения управляемости работы лавы и как следствие, обеспечение устойчивого уровня добычи.

Ключевые слова: вариация добычи, управляемость, устойчивая работа, гистограмма распределения

ABOUT AUTHORS

Merzlikin Artem, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Public higher education institution Donetsk National Technical University, 2 Shybankova Square, Pokrovsk, Donetsk region, Ukraine, 85300. E-mail: artem.merzlikin@donntu.edu.ua