



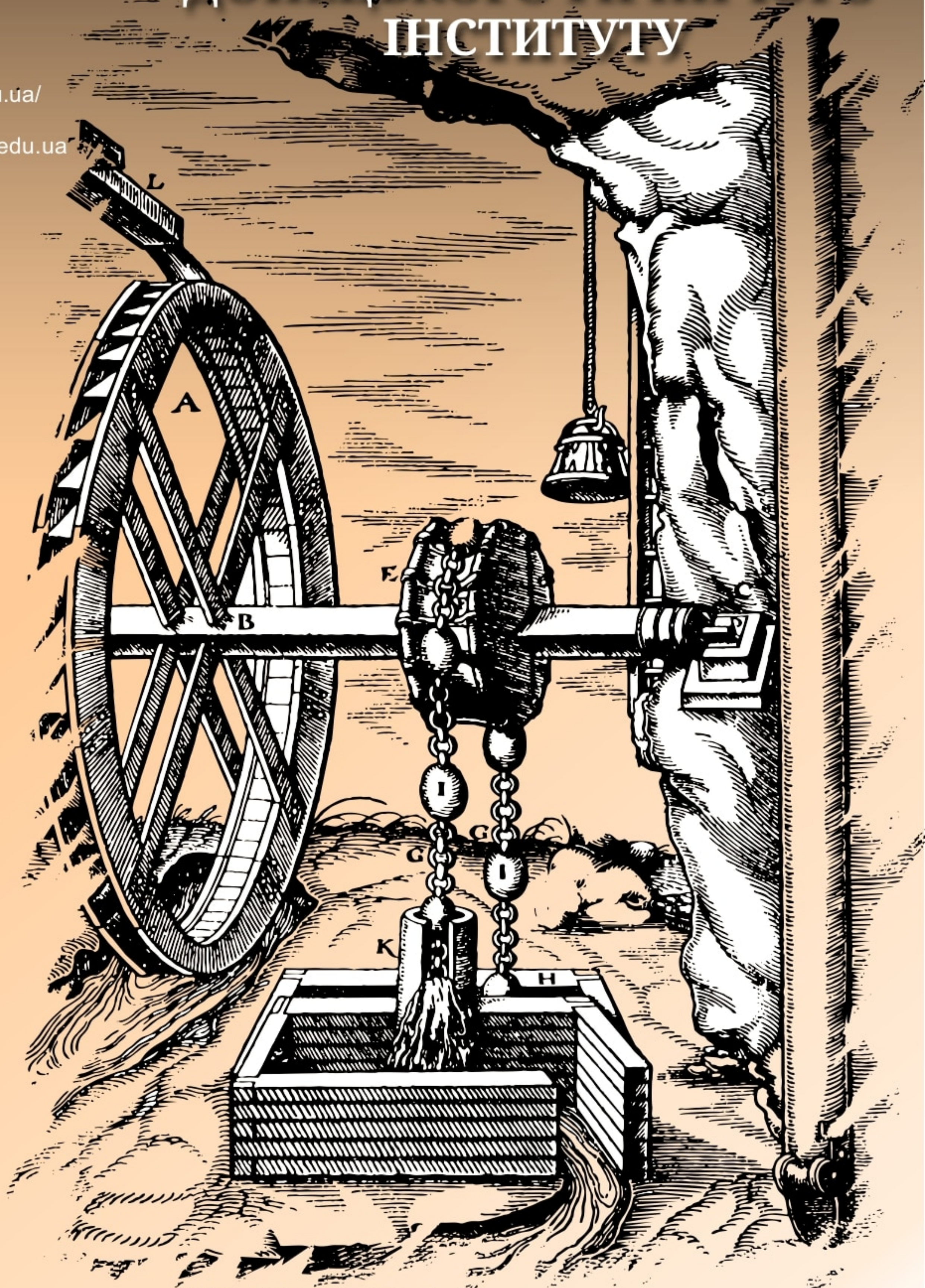
ВІСТІ

ДОНЕЦЬКОГО ГРНИЧОГО
ІНСТИТУТУ

82111, Україна
Львівська область
м. Дрогобич
вул. Самбірська, 76

<http://jdmi.donntu.edu.ua/>

e-mail: visti@donntu.edu.ua



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

ВІСТІ

ДОНЕЦЬКОГО ГІРНИЧОГО ІНСТИТУТУ

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Виходить 2 рази на рік

Заснований у липні 1995 року

1 (56)' 2025

В журналі публікуються наукові статті за результатами досліджень і розробок в галузі технічних наук. Журнал розрахований на наукових співробітників, інженерно-технічних робітників підприємств, проектних організацій, навчальних та науково-дослідних інститутів, докторантів та аспірантів.

Засновник та видавець – Донецький національний технічний університет

Головний редактор: С.В. Подкопаєв, д-р техн. наук, проф. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна).

Заступник головного редактора: Д.А. Чепіга, канд. техн. наук, доц. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна).

Відповідальний секретар: О.О. Ісаєнков, доцент кафедри, канд. техн. наук (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна).

Англомовний редактор: М.М. Кабанець, д-р. пед. наук, проф. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна).

Міжнародна редакційна колегія: R. M. Bhattacharjee, Professor (Indian Institute of Technology, Dhanbad Jharkhand, India); Nestor Oszczypko, Professor, Dr of Sciences (Institute of Geological Sciences Jagellonian University, Krakow, Poland); Józef Parchański, Prof. Dr.-Ing., Dr.h.c. (Politechnika Śląska, Gliwice, Poland); Andrzej Solecki, Professor, Dr of Sciences (Institute of Geological Sciences Wrocław University, Wrocław, Poland); Upendra Kumar Singh, Professor (Indian Institute of Technology, Dhanbad Jharkhand, India).

Національна редакційна колегія: В.І. Альохін, д-р геолог. наук, доц. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна); Б.В. Болібрех, д-р техн. наук, проф. (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна); І.М. Бубняк, канд. геол. наук, доц. (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна); С.М. Гапєєв, д-р техн. наук, доц. (НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна); В.А. Глива, д-р техн. наук, проф. (Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна); В.Б. Гого, д-р техн. наук, проф. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна); І.О. Єфремов, д-р техн. наук, доц. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна); О.Е. Кіпко, д-р техн. наук, проф. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна); В.К. Костенко, д-р техн. наук, проф. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна); Я.О. Ляшок, д-р економ. наук, проф. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна); А.В. Мерзлікін, канд. техн. наук, доц. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна); С.П. Мінеєв, д-р техн. наук, проф. (Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова, м. Дніпро, Україна); С.Г. Негрій, д-р техн. наук, проф. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна); Т.О. Негрій, канд. техн. наук, доц. (ДВНЗ «Київський національний університет будівництва і архітектури», м. Київ, Україна); М.В. Петльований, канд. техн. наук, доц. (НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна); І.О. Садовенко, д-р техн. наук, проф. (НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна); І.Г. Сахно, д-р техн. наук, проф. (ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя, Україна); А.Є. Скірда, канд. пед. наук, доц. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна); Н.Ю. Ляшок, канд. ек. наук, доц. (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна); С.В. Сукач, д-р техн. наук, проф. (Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна); О.В. Третьяков, д-р техн. наук, проф. (Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна); О.М. Шашенко, д-р техн. наук, проф. (НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна); С.І. Чеберячко, д-р техн. наук, проф. (НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна).

Технічні редактори: А.В. Петренко (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна).

Журнал «Вісті Донецького гірничого інституту» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (технічні науки)», затвердженого рішенням Атестаційної колегії МОН України щодо діяльності спеціалізованих вчених рад, наказ №374 від 13 березня 2017 р.

Журнал «Вісті Донецького гірничого інституту» внесено до категорії “Б” “Переліку наукових фахових видань України”, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук за спеціальностями 184–“Гірництво” та 263–“Цивільна безпека” (рішення Атестаційної колегії МОН України щодо діяльності спеціалізованих вчених рад, наказ №975 від 11 липня 2019 р. Діє з 11.07.2019 р.)

Журнал зареєстрований в Державному комітеті інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України. Свідоцтво: серія КВ, №7378 від 03.06.2003.

Електронна версія журналу зберігається у [Національній бібліотеці України імені В.І. Вернадського](#), внесено до [Національного репозитарію академічних текстів](#). Журнал індексується у загальнодержавній базі даних «Україніка наукова», а також у міжнародних наукометричних базах даних: [Index Copernicus](#), [Citefactor](#), [International Society for Research Activity \(ISRA\) Journal Impact Factor \(JIF\)](#), [International Accreditation and Research Council \(IARC\)](#), [Root Society for Indexing and Impact Factor, Service \(Rootindexing\)](#), [General Impact Factor \(GIF\)](#), [Academic Resource Index \(ResearchBib\)](#).



ЗМІСТ

Сергієнко О.І., Сергієнко Л.В. Методика випробування гірських порід на тріщиностійкість при повздожньому зсуві	9
Сахно С.В., Завгородня Л.С., Булич О.С., Кирсанов О.Л. Оцінка асиметричності і неоднорідності втрати стійкості конвеєрних штреків ПрАТ ш/у Покровське на всіх етапах їх експлуатації	15
Holinko V.I., Zgersky R.A. Analysis of the influence of psychophysiological factors on individual occupational risk of mining enterprises workers	25
Ковбаса В. О., Кириченко О.В., Куценко М.А., Ващенко В.А., Березовський А.І., Школяр Є.В., Мотрічук Р.Б. Дослідження механізму та розробка моделей розвитку процесу горіння двокомпонентних піротехнічних сумішей металевих пальних з фторопластами в умовах зовнішніх термічних впливів	31
Власов С. Ф., Молдаванов Є. В., Власов В. С. Вплив запропонованих заходів щодо моніторингу, попередження, а також ліквідації аварійного стану механізованого кріплення на економічну стійкість вугледобувних підприємств	47
Сидоренко А.А., Микитенко С.В. Аналіз питомого споживання електроенергії при дисковому різанні гранітів різної твердості	57
Мінсєв С.П., Янжула О.С., Прусова А.А., Чорний С.М., Григоренко В.М. Відкриття вибухозахисених перемичок при розгазуванні після гасіння шахтної пожежи	66
Руднєв Є.С. Мікропори викопного вугілля та небезпечні властивості шахтопластів при веденні гірничих робіт	75
Григор'єв Ю.І., Луценко С.О., Жуков С.О., Григор'єв І.Є. Ретроспективно-каузальний аналіз функціонування кар'єрів як основа розробки адаптивної моделі управління регіональним гірничодобувним кластером	81
Мерзлікін А.В., Назимко В.В., Єфремов І.О. Закономірності зміни гірського тиску при безцілоковому відпрацюванні запасів в зоні регіонального розвантаження	94
Уряднікова І.В. Інтегративний підхід до оцінки безпеки систем водоочищення	103

- Бочковський А.П., Сапожнікова Н.Ю., Пуріч В.М.**
Концепція моделі управління ризиком виникнення стану втоми на робочих місцях та контролю такого стану працівників під час здійснення заходів з державного регулювання та експертизи діяльності підприємств 112
- Бачурін Л.Л., Бачуріна Я.П., Подкопаєв С.В.**
Щодо застосування підземних допоміжних вентиляторних установок у вугільних шахтах 127
- Подкопаєв С.В., Бачурін Л.Л., Чепіга Д.А., Бачуріна Я.П., Підгурна О.Ю., Полій Д.В., Вісин О.О.**
Вплив деформації литої смуги на стійкість підготовчої виробки 134
- Хорольський А.О.**
Результати моделювання виробничих показників та кластеризація малопотужних вугільних шахт в умовах доробки запасів 144

УДК 622.831

<https://doi.org/10.31474/1999-981X-2025-1-15-24>

С.В. Сахно
Л.С. Завгородня
О.С. Булич
О.Л. Кирсанов

ОЦІНКА АСИМЕТРИЧНОСТІ І НЕОДНОРІДНОСТІ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ КОНВЕЄРНИХ ШТРЕКІВ ПРАТ Ш/У ПОКРОВСЬКЕ НА ВСІХ ЕТАПАХ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Мета. Вивчення особливостей деформування підготовчих гірничих виробок на всіх етапах їх експлуатації на прикладі ПРАТ ш/у Покровське.

Методика. В якості методів дослідження при вивченні характеру деформування підготовчих виробок використовувались метод інструментальних спостережень, метод візуальних спостережень і фотофіксації, аналіз і синтез.

Результати. В умовах ПРАТ ш/у Покровське інструментальними спостереженнями зафіксовано, що ще на етапі проведення конвеєрних штреків, незважаючи на те, що геонапруження в виробці приблизно симетричні, трапляються часті асиметричні руйнування. Потрапляння виробки в зону впливу лави призводить до посилення асиметричної нестабільності. Аналіз результатів натурних спостережень дає підстави вважати, що асиметричну нестабільність поза зоною впливу лави можна пояснити мезоскопічною неоднорідністю породи і дрібноамплітудними геологічними порушеннями, а в зоні впливу лави - асиметрією поля напружень, зокрема зміщенням вектору максимальних напружень в перетині штреку в бік протилежний лаві. При цьому встановлено, неоднорідність вертикальної і горизонтальної конвергенції по трасі виробки. Встановлено, що відхилення вертикальної конвергенції від середнього значення більш ніж втричі перевищують допустиму статистичну похибку. Встановлено локальне руйнування кріплення виробки і деформування порід, що потребують додаткового ресурсу кріплення.

Наукова новизна. На основі аналізу літературних джерел і проведених інструментальних спостережень за деформуванням контуру підготовчих виробок виявлено неоднорідний характер деформування в поперечному перетині і по довжині виробки у зоні впливу розривних і плікативних геологічних порушень. Визначено коливання відхилення вертикальної конвергенції від середнього прогнозного значення до 16%, що супроводжується виходом з ладу кріпильної системи.

Практичне значення. Визначено, що резерв забезпечення експлуатаційної стійкості конвеєрних штреків, що закріплені комбінованим кріпленням з багаторівневими анкерними системами полягає в превентивному додатковому локальному кріпленні ділянок виробки потенційно небезпечних до нестабільності.

Ключові слова: гірничі виробки, стійкість виробок, деформація штреку, асиметрія деформації, геонапруження.

Вступ.

Україна має одну з найбільш потужних у світі ресурсну базу кам'яного вугілля, розвинуту вугільну інфраструктуру, унікальний досвід відпрацювання пластів в складних гірничо-геологічних умовах. В умовах повоєнної відбудови вугілля має перспективу головного енергетичного ресурсу. Близько 94% вугілля в довоєнні часи видобувалось в Донецькому вугільному басейні, який має значні розвідані запаси, тому відновлення гірничих підприємств є стратегічною перспективою України.

Лідером вітчизняного вуглевидобутку довгі роки було ПРАТ ш/у Покровське, що розташовано в Покровському районі Донецької області. Завдяки грамотному менеджменту і зваженим інвестиційним рішенням підприємство за своїми

технічними показниками не поступалось кращім підприємствам галузі у світі. У передвоєнні роки ПРАТ ш/у Покровське зробило вагомі кроки в напрямку розширення запасів, розкриття і підготовки нових блоків, що гарантували стабільну роботу шахти протягом найближчих десятиліть. Вказані факти дозволяють розраховувати на пріоритетність повоєнного відновлення підприємства.

Однією з найбільш гострих проблем вугільних шахт України і світу є порушення експлуатаційного стану гірничих виробок. Результати моніторингу підготовчих гірничих виробок свідчать, що 19-23% з них знаходяться в незадовільному стані [1]. Доля дільничних виробок з віком служби до 3 років, в яких проводяться ремонтні роботи, перевищує 75% від загального обсягу

гірничих виробок. Для виробок, що обслуговують очисний вибій 90% деформацій пов'язані зі знаходженням в зоні впливу лави. За таких умов створюються перешкоди ритмічному вуглевидобутку і обмеження добового навантаження на лави по фактору вентиляції [2].

Пріоритетом сучасних вітчизняних досліджень в напрямку стійкості виробок є розвиток нових засобів і методів кріплення гірничих виробок. Більшість таких досліджень зосереджена на удосконаленні систем кріплення шляхом впровадження комбінованих кріплень, що зазвичай передбачають використання анкерних (переважно багаторівневих) систем.

Однак в умовах ПРАТ ш/у Покровське рамні кріплення в комбінації з дворівневими анкерними системами є одним з варіантів традиційного кріплення. Проте проблеми стійкості штреків для підприємства все ще не вирішені. Асиметричне деформування і локальне руйнування елементів кріплення є поширеною проблемою для підприємства. Тому дослідження особливостей деформування підготовчих виробок, що формують основний об'єм ремонтних робіт і відповідних поточних витрат, є актуальною проблемою, вирішення якої сприяє підвищенню операційної ефективності вугледобувних підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В останні роки у міру збільшення масштабів підземного видобутку вугілля в світі геомеханічне середовище стало сприйматись як більш складна структура. Традиційні теоретичні погляди вже не можуть використовуватись для якісного прогнозування стану гірничих виробок. Тому багато досліджень використовують кроссметоди і складні схеми дизайну експерименту для отримання надійних прогнозних оцінок. При цьому в цілому збільшується доля використання чисельних методів досліджень.

Першопричиною деформування підземних гірничих виробок є геонапруження. Багато вчених досліджували розподіл напружень навколо гірничих виробок. За допомогою розрахунків чисельного моделювання Liu та ін. [3] виявили варіацію напруженого стану навколишніх порід біля виробки та

припустили, що в плані гірничих виробок слід уникати зон концентрації напружень. Проте ці дослідження не враховували варіацію напружень через гірничо-геологічні умови і розглядали ситуацію з їх рівномірним розподілом. Bai та ін. [4] досліджували вплив очисних робіт на розподіл напружень у вміщуючому масиві і дійшли висновку, що лише широкий вугільний цілик може витримати навантаження опорного тиску, спричинене веденням очисних робіт, і забезпечити безпеку та стабільність підготовчих виробок. Проте практика вітчизняних шахт вказує, що стабільність штреків може бути забезпечена і при використанні вузьких (присічних) ціликів і при безціликових системах розробки з використанням литих смуг.

Окремі групи вчених в останні роки вивчали неоднорідність поля напружень і деформацій приконтурних порід поблизу зон геологічних порушень. Zhu та ін. [5] і Qiu та ін. [6] використовували чисельне моделювання та польові випробування відповідно, і підтвердили, що поблизу геологічних порушень виникає концентрація геонапружень. Ji та ін. [7] досліджували вплив гірничих робіт на прирозломну ділянку під високими тектонічними напруженнями.

Деякі вчені досліджували стійкість системи кріплення гірничих виробок в умовах підвищеного напруження. Так Wang та ін. [8] провели імітаційне дослідження причини руйнування гірничих виробок поблизу розлому. He та ін. [9] і Zhang et al. [10] досліджували деформацію та руйнування гірських порід за допомогою механічних конститутивних методів та методів моніторингу.

В роботі [11] встановлено, що виробки проведені поблизу геологічних порушень мають очевидну асиметричну деформацію та пошкодження під час експлуатації. Взявши за об'єкт дослідження виробку в зоні впливу геологічного порушення було проведено поглиблений аналіз напруженого середовища, девіаторного розподілу напружень та розподілу пластичних зон навколо гірничої виробки. В роботі описано асиметричний механізм деформування виробок; запропоновано нову схему кріплення арочної форми.

Вітчизняні вчені, ґрунтуючись на багаторічному досвіді моделювання геомеханічних процесів, навели приклади розв'язування задач сучасного гірничого виробництва із застосуванням методів комп'ютерного моделювання геомеханічних процесів, що відбуваються в масиві під час ведення гірничих робіт [12]. При цьому окрема увага приділялась моделюванню в умовах геологічних порушень.

Асиметричне деформування гірничих виробок пов'язане не лише з ефектами асиметричного геонапруження і геологічними порушеннями. Значний вплив на асиметрію мають напруження, що виникають внаслідок ведення гірничих робіт [13, 14]. Ведення очисних робіт призводить до концентрації напружень поблизу вибою, що формують опорний тиск. Як правило, бічний опорний тиск і передній опорний тиск можуть перевищувати в 3,5 і 6,0 разів природні напруження [15]. Такі високі напруження, що значно перевищують межу міцності гірських порід, сприяють розширенню розмірів зони непружних деформацій. По суті, суперпозиція геонапружень та опорного тиску може створити надзвичайно асиметричне напружене середовище, що призводить до утворення зони непружних деформацій несиметричної форми, наслідком чого є асиметричне руйнування гірничої виробки.

Третьою причиною асиметричного руйнування гірничих виробок є механічні властивості гірських порід, що вміщують виробки. Напружений стан у глибоких виробках за своєю суттю є складним, що призводить до запутаної еволюції напружень в навколишніх породах [16, 13]. Під час цього процесу гірський масив демонструє характеристики, відмінні від тих, що зустрічаються на невеликих

глибинах [17, 18], включаючи нелінійну зміну міцності з бічним тиском.

Таким чином аналіз сучасних досліджень стійкості гірничих виробок вказує, що більшість з них зосереджена на простих і достатньо однорідних геологічних умовах. При цьому ігноруються механізми асиметричного і нерівномірного вздовж подовжньої осі штреків руйнування виробок, що знаходяться в зоні впливу розривних і плікативних геологічних порушень під час проведення і при підтриманні в зоні впливу лави.

Мета статті. Постановка задачі дослідження.

Метою дослідження є вивчення особливостей деформування підготовчих гірничих виробок на всіх етапах їх експлуатації на прикладі ПРАТ ш/у Покровське.

Задачею дослідження є моніторинг конвергенції підготовчої виробки і визначення особливостей втрати її стабільності на різних етапах експлуатації.

Методи дослідження. Дослідження проводилось наступними методами:

- метод інструментальних спостережень;
- метод візуальних спостережень і фотофіксації;
- аналіз і синтез.

Викладення основного матеріалу.

Дослідження було проведено на ділянці 4 південної лави блоку 7 ПРАТ «Шахтоуправління Покровське». Виміри проводились в 4 південному конвеєрному штреці блоку 7. Виколювання з плану гірничих виробок з зазначенням положення лави на момент проведення вимірювань наведено на рисунку 1.

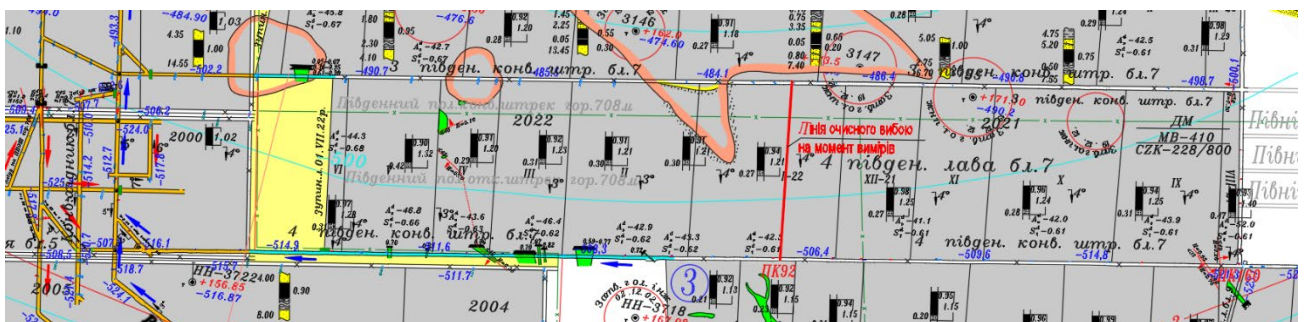


Рис. 1 – Виколювання з плану гірничих виробок по ділянці 4 південної лави блоку 7.

Виробка була пройдена комбайновим способом, по пласту потужністю 0,72 – 1,07 м (середнє значення – 0,94 м) з присіканням вмшуючих порід покрівлі та підшви, що зумовлено технологією ведення робіт на підприємстві. Породи основної покрівлі та основної підшви представлені пісковиком, породи безпосередньої покрівлі – алевролітом.

На етапі проведення виробки вона була закріплена рамним кріпленням, типу КШПУ-

17,7, з шагом встановлення 0,65 м. На етапі експлуатації виробки, з випередженням від очисного вибою не менше 100 метрів, виконувались роботи з встановлення дворівневого анкерного кріплення: сталеві анкери довжиною 2,9 м та канатні анкери довжиною 6 метрів. Проектні перетини виробки під час проведення і перед зоною випереджаючого опорного тиску наведені на рисунку 2.

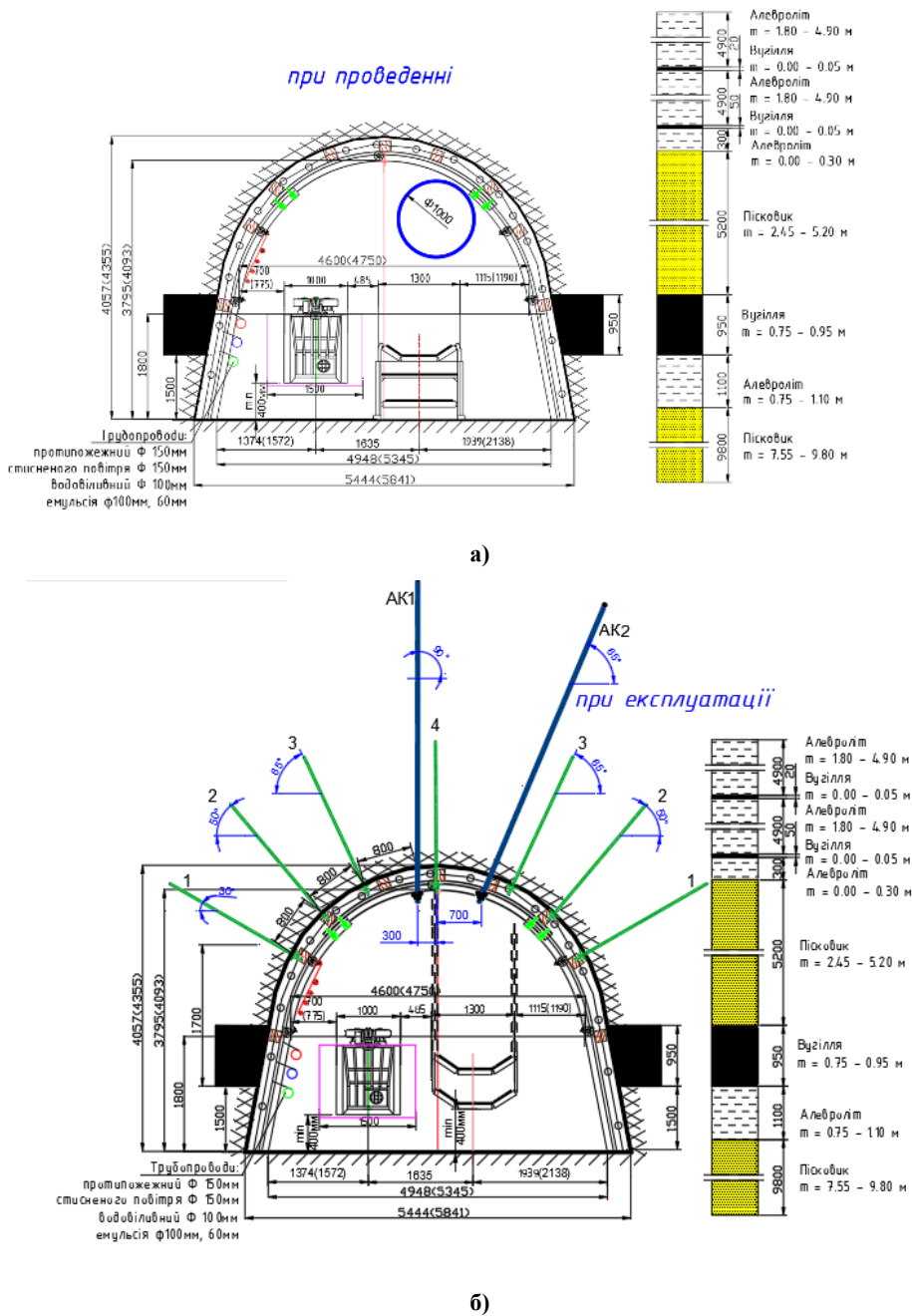


Рис. 2 – Проектні перетини 4 південного конвеєрного штрека блоку 7 а) на етапі проведення; б) перед зоною опорного тиску.

Комбіноване багаторівневе кріплення забезпечувало в цілому задовільний загальний стан виробки. Типові фотографії конвеєрного штреку поза зоною впливу лави і в зоні впливу наведені на рис. 3. Загальний характер деформації вказує, що штрек, проведений в масиві, деформується симетрично, обтискання рам кріплення відбувається рівномірно. В зоні опорного тиску спостерігається відхилення подовжньої осі штрека від вертикального положення в бік недоторканого масиву. Це пояснюється одностороннім характером випереджаючого опорного тиску і відповідає сучасному уявленню про характер деформування виробок перед лавою. При цьому замки піддатливості працюють переважно в штатному режимі, хоча і спостерігаються порушення геометрії кріплення.

Виміри параметрів виробки проводились експрес методом по довжині штрека. Виміри повторювались тричі з часовим періодом 3 доби.

Крок вимірювання становив 20 м (два пікети). Під час вимірювань визначали висоту і ширину виробки в світлі. Схема розташування контрольних точок в перетині виробки, наведена на рис. 3. Кожна замірна станція мала 2 марки. Марки уявляли собою кольорові позначки на рамі кріплення, нанесені через шаблон краскою. Перша марка була розташована на верхняку кріплення в центрі склепіння, друга – на лівій ніжці кріплення на висоті 1,3 м від нижньої частини ніжки. Виміри проводились за допомогою лазерної рулетки-далекоміра NOYafa NF-272L-100. Похибка вимірювання приладу 1,5%.

Для проведення виміру вертикальної конвергенції далекомір встановлювався на марку на верхняку і опускав вертикальний промінь на підшву. Для проведення виміру горизонтальної конвергенції далекомір встановлювався на марку на лівій ніжці, і за допомогою лазерної рулетки відбивав горизонтальний промінь на протилежну ніжку рами кріплення.

Середнє значення вимірних значень висоти і ширини виробки наведено на рис. 5.

Аналіз результатів проведених вимірювань (рис. 5) вказує, що коливання висоти виробки більше ніж коливання ширини. На відстані 60 м до лави (ПК96-92) спостерігається вплив опорного тиску, що відстежуються по загальному тренду

поступового зменшення висоти виробки і ширини виробки. За лавою висота виробки зменшується інтенсивно, на відміну від ширини.



а)



б)

Рис. 3 – Загальний вигляд конвеєрного штреку поза зоною впливу лави (а) і в зоні впливу лаву (б).

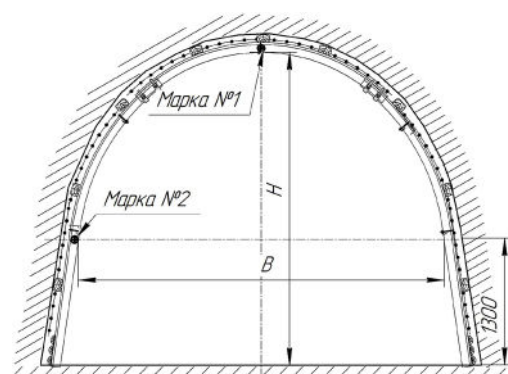
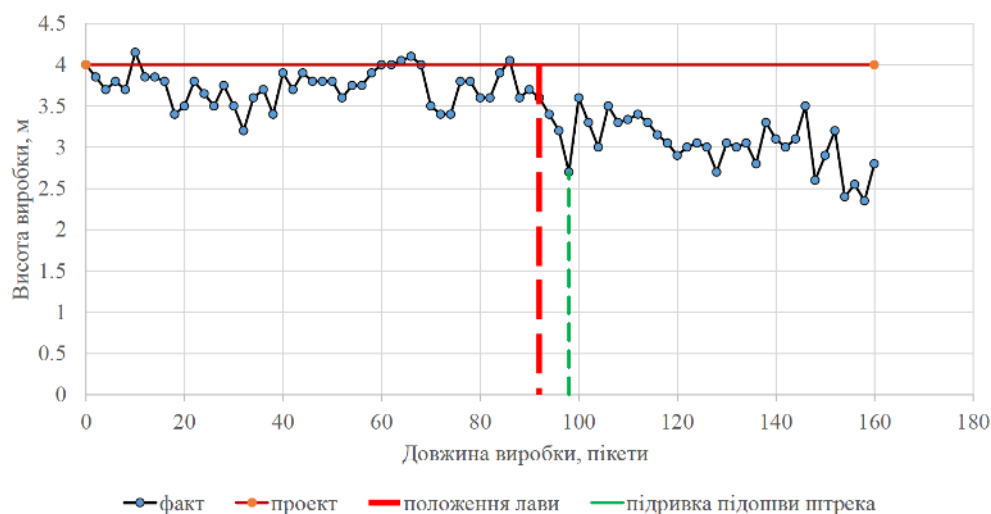


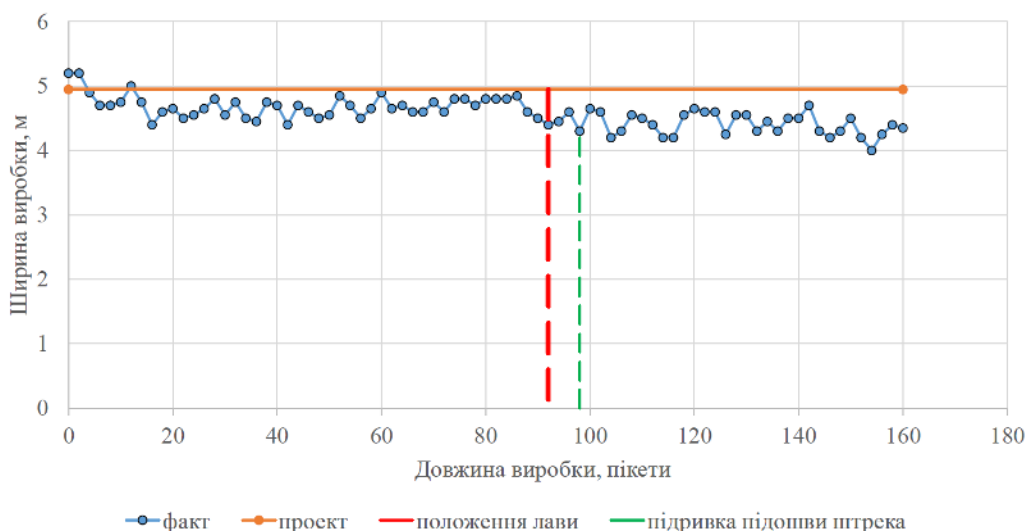
Рис. 4 – Схема розташування контрольних точок під час інструментальних вимірювань. В – ширина виробки, м, Н – висота виробки, м.

Так на відстані 60 м за лавою загальна вертикальна деформація штреку становить 1,3м, при цьому 1,0м втрати висоти відбувається за лавою. Різка втрата висоти викликала необхідність проведення піддривки

порід підшви. Однак після піддривки загальна тенденція до зменшення висоти продовжується (рис. 5).



а)



б)

Рис. 5 – Графіки зміни висоти (а) і ширини виробки (б) по трасі конвеєрного штрека.

В середній динаміці проведені виміри відповідають теоретичним розрахункам і дослідження класиків гірництва професорів Ю.З. Заславського, І.Л. Черняка, С.С. Борисова, О. Якобі, Дж. Галвіна, С. Пенга, Е. Брауна, Е. Хоека та ін. Однак на відміну від теоретичних розрахунків, для яких характерне рівномірне зменшення висоти і ширини виробки, по мірі наближення очисного вибою, польові вимірювання вказують на неоднорідний характер конвергенції по довжині штрека. Навіть поза

зоною впливу очисного вибою (ПК0-82) зміна ширини виробки варіюється в межах 5% від середнього значення, в той час як висота виробки відхиляється від середнього до 16,3% (рис. 6).

Схожі результати були отримані в польових дослідженнях професорів Сахна І.Г. і Негрія С.Г., проведених в умовах ш/у Південнодонбаське №1 [19]. Причиною таких коливань вони вважають несучільність масиву і неоднорідність його структури. На невідповідність результатів

польових вимірювань в динаміці зміни конвергенції виробок результатам теоретичного, в тому числі і математичного чисельного аналізу, вказує в своїх дослідженнях проф. Назимко В.В. [20]. При цьому він звертає увагу на збереження стохастичного характеру деформацій при різних видах кріплення виробки, в тому числі при комбінованих кріпленнях. Основну причину нерівномірності зони непружних деформацій проф. Назимко В.В. бачить у неоднорідній структурі породного масиву.

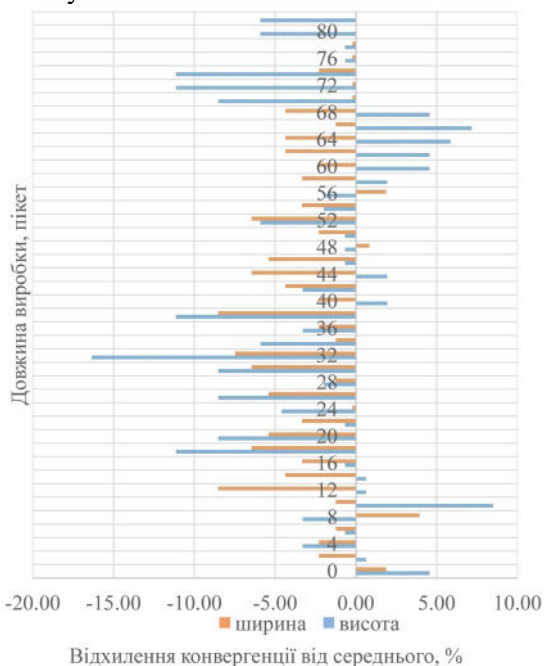


Рис. 6 – Відхилення вертикальної і горизонтальної конвергенції конвеєрного штреку від середнього значення.

Таким чином при загальній задовільній стійкості конвеєрного штреку по його трасі зустрічаються локальні зони руйнування кріплення, асиметричного деформування тощо. Ще на етапі проведення виробки спостерігається деформація елементів кріплення і розриви затяжки (рис. 7). При цьому ці зони не завжди пов'язані з геологічними порушеннями ідентифікованим на етапі проведення (рис. 1).

При підтриманні виробки за лавою основною причиною деформування є неоднорідність умов підтримання, і на відміну від попередніх стадій коливання вертикальної конвергенції тут не таке сильне. На рис. 9 наведено загальний вигляд виробки, що підтримується за лавою і до

наведеного вище кріплення додатково закріплена підсилюючими стійками (ремонтинами). Наведено ділянку локальної втрати стійкості з боку лави.



Рис. 7 – Локальна деформація конвеєрного штреку на етапі проведення.

На етапі підтримання штреку перед лавою також спостерігаються кручення рам, руйнування верхняків, розриви замків і виражена асиметрія деформацій (рис. 8).



Рис. 8 – Локальна деформація конвеєрного штреку на етапі підтримання в зоні опорного тиску перед очисним вибоєм.

Обговорення результатів.

Аналіз і узагальнення отриманих результатів дозволяє підтвердити відповідність середнього тренду деформування виробки загальноприйнятим сучасним поглядам в гірництві. За результатами натурних спостережень встановлено, що максимальне осідання виробки спостерігається в зоні активного впливу очисного вибою (+60–0 м, -0–60 м). При цьому висота виробки зменшується на 18–25% від початкового значення, а ширина виробки зменшується на 10–15%. Застосування анкерного кріплення сприяє зменшенню вертикальної конвергенції,

однак за межами активної зони впливу кріплення частково втрачає свою несучу здатність.



Рис. 9 – Локальна деформація конвеєрного штреку на етапі підтримання за очисним вибоєм.

Вимірами встановлено неоднорідний характер деформування виробки по довжині, що є ознакою асиметричного деформування вздовж виробки, а під час візуального обстеження штреків і методом фотофіксації визначена асиметрія деформування в поперечному перетині.

Вертикальна конвергенція відхиляється до 16% від середнього значення і неодноразово повторюється по трасі штреку, що не дозволяє зробити висновок про випадковість цього процесу. Локальна втрата несучої здатності кріплення призводить до перевантаження сусідніх рам, їх виходу з робочого режиму і небезпеки виникнення аварійних станів. Тому необхідно проводити систематичний моніторинг стану підготовчих виробок, який дозволить встановлювати місця потенційних небезпек. В цих місцях доцільно підсилювати штатне кріплення поки воно працює в робочому режимі, щоб використовуючи його несучу здатність відносно невеликими зусиллями зберегти стійкість штреку. Інакше підсилення рами на етапі її руйнування і виходу з робочого режиму потребує значно більше ресурсів.

Висновки.

В результаті досліджень були визначені особливості деформування підготовчих виробок на всіх етапах їх життєвого циклу. Визначено загальний характер вертикальної і горизонтальної конвергенції для виробки закріпленої комбінованим рамно-анкерним кріпленням. Визначено, що подовжня і попередні асиметрії деформацій штреку є

причиною локальної втрати стійкості і не може бути спрогнозована і розрахована традиційними методами. Майбутні дослідження будуть зосереджені на розробці способів боротьби з локальними асиметричними деформаціями підготовчих виробок.

Список літератури.

1. Sakhno I., Sakhno S. Numerical Studies of Floor Heave Control in Deep Mining Roadways with Soft Rocks by the Rock Bolts Reinforcement Technology. *Advances in Civil Engineering*. 2023. Vol. 2023, no. 1. P. 1–23. URL: <https://doi.org/10.1155/2023/2756105>
2. Numerical studies of floor heave control by the rock bolts reinforcement technology in retained gob-side gateroad / I. Sakhno та ін. *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 526. P. 01011. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452601011>.
3. Xinjie L., Xiaomeng L., Weidong P. Analysis on the floor stress distribution and roadway position in the close distance coal seams. *Arabian Journal of Geosciences*. 2016. Vol. 9, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2035-9>
4. Observation and Numerical Analysis of the Scope of Fractured Zones Around Gateroads Under Longwall Influence / Q.-S. Bai та ін. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2013. Vol. 47, no. 5. P. 1939–1950. URL: <https://doi.org/10.1007/s00603-013-0457-9>.
5. Numerical investigation of the evolution of overlying strata and distribution of static and dynamic loads in a deep island coal panel / G.-a. Zhu et al. *Arabian Journal of Geosciences*. 2017. Vol. 10, no. 24. URL: <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3300-x>
6. Research on AE and EMR response law of the driving face passing through the fault / L. Qiu та ін. *Safety Science*. 2019. Vol. 117. P. 184–193. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.021>
7. Mining disturbance effect and mining arrangements analysis of near-fault mining in high tectonic stress region / H. G. Ji et al. *Safety Science*. 2012. Vol. 50, no. 4. P. 649–654. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.08.062>
8. Deformation failure mechanism and control technology of mining-induced roadway near a fault [in Chinese] / X. Wang et al. *Journal of Mining & Safety Engineering*. 2014. Vol. 31, no. 5. P. 674–680.
9. A New Perspective on the Constant mi of the Hoek–Brown Failure Criterion and a New Model for Determining the Residual Strength of Rock / M. He et al. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2020. Vol. 53, no. 9. P. 3953–3967. URL: <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02164-6>
10. Application of an enhanced BP neural network model with water cycle algorithm on landslide prediction / Y.-g. Zhang et al. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2021. P. 1273–1291. URL: <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01920-y>
11. Research on the mechanism of asymmetric deformation and stability control of near-fault roadway under the influence of mining / R. Shan et al. *Engineering Failure Analysis*. 2021. Vol. 127. P. 105492. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105492>

12. Прикладні задачі геомеханіки вугільних шахт. Книга 1. Моделювання гірського масиву : навч. посіб. / В. Бондаренко та ін. М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : ЛІПрес, 2024. 516 с.
13. Assessment of mining induced stress development over coal pillars during depillaring / A. K. Singh et al. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2011. Vol. 48, no. 5. P. 805–818. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2011.04.004>.
14. Strong Mining-Induced Earthquakes Produced by the Fracturing of Key Strata during Deep Coal Mining / Q. Zhang та ін. *International Journal of Geomechanics*. 2024. Vol. 24, no. 5. URL: <https://doi.org/10.1061/ijgnai.gmeng-9571>
15. Gao F., Stead D., Kang H. Numerical Simulation of Squeezing Failure in a Coal Mine Roadway due to Mining-Induced Stresses. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2014. Vol. 48, no. 4. P. 1635–1645. URL: <https://doi.org/10.1007/s00603-014-0653-2>
16. Chen H., Zhu H., Zhang L. Analytical Solution for Deep Circular Tunnels in Rock with Consideration of Disturbed zone, 3D Strength and Large Strain. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2021. P. 1391–1410 (2021). URL: <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02339-1>
17. Post-yield Strength and Dilatancy Evolution Across the Brittle–Ductile Transition in Indiana Limestone / G. Walton et al. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2017. Vol. 50, no. 7. P. 1691–1710. URL: <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1195-1>
18. Effect of water on mechanical behavior and acoustic emission response of sandstone during loading process: Phenomenon and mechanism / H. Li et al. *Engineering Geology*. 2021. Vol. 294, P. 106386. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106386>
19. Analyzing kinetics of deformation of boundary rocks of mine workings / S. Nehrii та ін. *Mining of Mineral Deposits*. 2018. Vol. 12, no. 4. P. 115–120. URL: <https://doi.org/10.15407/mining12.04.115>.
20. Nazymko V. Dissipative structures as a cause of the asynchronous development of the damaged zone surrounding underground roadways. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2024. Vol. 175. P. 105660. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2024.105660>

References.

1. Sakhno, I., & Sakhno, S. (2023). Numerical Studies of Floor Heave Control in Deep Mining Roadways with Soft Rocks by the Rock Bolts Reinforcement Technology. *Advances in Civil Engineering*, 2023 (1), 1–23. <https://doi.org/10.1155/2023/2756105>
2. Sakhno, I., Sakhno, S., Kamenets, V., & Cabana, E. C. (2024). Numerical studies of floor heave control by the rock bolts reinforcement technology in retained gob-side gateroad. *E3S Web of Conferences*, 526, 01011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452601011>.
3. Xinjie, L., Xiaomeng, L., & Weidong, P. (2016). Analysis on the floor stress distribution and roadway position in the close distance coal seams. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2). <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2035-9>
4. Bai, Q.-S., Tu, S.-H., Wang, F.-T., Zhang, X.-G., Tu, H.-S., & Yuan, Y. (2013). Observation and Numerical Analysis of the Scope of Fractured Zones Around Gateroads Under Longwall Influence. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47(5), 1939–1950. <https://doi.org/10.1007/s00603-013-0457-9>
5. Zhu, G.-a., Dou, L.-m., Wang, C.-b., Li, J., Cai, W., & Ding, Z.-w. (2017). Numerical investigation of the evolution of overlying strata and distribution of static and dynamic loads in a deep island coal panel. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(24). <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3300-x>
6. Qiu, L., Song, D., Li, Z., Liu, B., & Liu, J. (2019). Research on AE and EMR response law of the driving face passing through the fault. *Safety Science*, 117, 184–193. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.021>
7. Ji, H. G., Ma, H. S., Wang, J. A., Zhang, Y. H., & Cao, H. (2012). Mining disturbance effect and mining arrangements analysis of near-fault mining in high tectonic stress region. *Safety Science*, 50(4), 649–654. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.08.062>
8. Wang, X. Y., Bai, J. B., Li, L., & Han, Z. T. (2014). Deformation failure mechanism and control technology of mining-induced roadway near a fault *Journal of Mining & Safety Engineering*, 31(5), 674–680. <http://doi.org/10.13545/j.issn1673-3363.2014.05.002> (in Chinese).
9. He, M., Zhang, Z., Zheng, J., Chen, F., & Li, N. (2020). A New Perspective on the Constant mi of the Hoek–Brown Failure Criterion and a New Model for Determining the Residual Strength of Rock. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53(9), 3953–3967. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02164-6>
10. Zhang, Y.-g., Tang, J., Liao, R.-p., Zhang, M.-f., Zhang, Y., Wang, X.-m., & Su, Z.-y. (2020). Application of an enhanced BP neural network model with water cycle algorithm on landslide prediction. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01920-y>
11. Shan, R., Li, Z., Wang, C., Wei, Y., Bai, Y., Zhao, Y., & Tong, X. (2021). Research on the mechanism of asymmetric deformation and stability control of near-fault roadway under the influence of mining. *Engineering Failure Analysis*, 127, 105492. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105492>
12. Bondarenko, V., Salieiev, I., Chervatiuk, V., Symanovych, H., & Kovalevska, I. (2024). Prykladni zadachi heomekhaniky vuhilnykh shakht. Knyha 1. Modeliuvannia hirsokoho masyvu. LPres.
13. Singh, A. K., Singh, R., Maiti, J., Kumar, R., & Mandal, P. K. (2011). Assessment of mining induced stress development over coal pillars during depillaring. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 48(5), 805–818. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2011.04.004>
14. Zhang, Q., Zou, J., Chi, M., Jiao, Y.-Y., & Yan, X. (2024). Strong Mining-Induced Earthquakes Produced by the Fracturing of Key Strata during Deep Coal Mining. *International Journal of Geomechanics*, 24(5). <https://doi.org/10.1061/ijgnai.gmeng-9571>
15. Gao, F., Stead, D., & Kang, H. (2014). Numerical Simulation of Squeezing Failure in a Coal Mine Roadway due to Mining-Induced Stresses. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 48(4), 1635–1645. <https://doi.org/10.1007/s00603-014-0653-2>
16. Chen, H., Zhu, H., & Zhang, L. (2021). Analytical Solution for Deep Circular Tunnels in Rock with Consideration of Disturbed zone, 3D Strength and

- Large Strain. Rock Mechanics and Rock Engineering. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02339-1>
17. Walton, G., Hedayat, A., Kim, E., & Labrie, D. (2017). Post-yield Strength and Dilatancy Evolution Across the Brittle-Ductile Transition in Indiana Limestone. Rock Mechanics and Rock Engineering, 50(7), 1691–1710. <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1195-1>
18. Li, H., Qiao, Y., Shen, R., He, M., Cheng, T., Xiao, Y., & Tang, J. (2021). Effect of water on mechanical behavior and acoustic emission response of sandstone during loading process: Phenomenon and mechanism. Engineering Geology, 106386. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106386>
19. Nehrii, S., Sakhno, S., Sakhno, I., & Nehrii, T. (2018). Analyzing kinetics of deformation of boundary rocks of mine workings. Mining of Mineral Deposits, 12(4), 115–120. <https://doi.org/10.15407/mining12.04.115>
20. Nazymko, V. (2024). Dissipative structures as a cause of the asynchronous development of the damaged zone surrounding underground roadways. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 175, 105660. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2024.105660>

Надійшла до редакції 26.03.2025

Рецензент канд. техн. наук, проф. Віталій ПЛЮГІН

Сажо Світлана Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри гірничої справи, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, Україна.

Email: svitlana.sakhno@mipolytech.education.

Завгородня Лідія Степанівна – спеціаліст, головний технолог Приватного акціонерного товариства «ШАХТОУПРАВЛІННЯ «ПОКРОВСЬКЕ», м. Покровськ, Україна.

Email: Zls0301@icloud.com

Булич Олександр Степанович – магістр, інженер, м. Покровськ, Україна.

Email: Oleksandr887788@gmail.com

Кирсанов Олександр Леонідович – аспірант кафедри розробки родовищ корисних копалин, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет, м. Дрогобич, Україна.

Email: kysanov.oleksandr.asp@donntu.edu.ua

ASSESSMENT OF ASYMMETRY AND HETEROGENEITY OF CONVEYOR ROADWAY'S INSTABILITY AT ALL STAGES OF THE LIFE CYCLE: CASE STUDY PJSC POKROVSKE COLLIERY

Purpose. To study the deformation features of preparatory mining roadways at all stages of their life cycle in the case of PJSC Pokrovske Colliery.

Methods. The research methods employed in the study included instrumental measurement, visual observations and photographic documentation, as well as methods of analysis and synthesis.

Results. The time-dependent process of surrounding rock fracturing is a consequence of the synergistic effect of the physical and mechanical properties of rocks and geostresses. Even at the stage of conveyor roadways construction, despite the approximate symmetry of geostresses in the surrounding rocks, frequent asymmetric fractures occur. This asymmetric instability can be explained by the mesoscopic heterogeneity of the rock and small-amplitude geological disturbances. The impact of the longwall mining leads to an increase in asymmetric instability. This is caused by the asymmetry of the stress field, in particular by the formation of abutment pressure, which shifts the vector of maximum stresses in the cross-section of the roadway in the direction opposite to the longwall. Field studies of the deformation process in the PJSC Pokrovske Colliery confirm theoretical views on the deformation process. At the same time, the heterogeneity of vertical and horizontal convergence along the mining route was identified. It was established that the deviations of vertical convergence from the average value exceed the permissible statistical error by more than three times. Local destruction of the mining fastening and deformation of rocks that require additional supporting resources were established.

Scientific novelty. Based on the review of literature and instrumental observations of the contour deformation in preparatory roadways, a non-uniform nature of deformation in both the cross section and along the length of the roadways was identified. The fluctuation of the deviation of the vertical convergence from the average forecast value to 16% was determined, which is accompanied by failure of the support system.

Practical significance. It was determined that the reserve for ensuring the operational stability of conveyor roadways secured by combined support with multi-level rock bolt systems consists in preventive additional local support in sections of the mine identified as potentially dangerous to instability.

Keywords: mine roadways, roadway's stability, roadway's deformation, deformation asymmetry, geostress.

Sakhno Svitlana – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining, Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC, Zaporizhia, Ukraine.

E-mail: svitlana.sakhno@mipolytech.education

Zavorodnia Lidiia Stepanivna – Specialist, Chief Technologist of the Private Joint-Stock Company "SHAKHTOUPRAVLINIA "POKROVSKE", Pokrovsk, Ukraine.

Email: Zls0301@icloud.com

Bulich Oleksandr Stepanovych – Master's Degree, Engineer, Pokrovsk, Ukraine.

Email: Oleksandr887788@gmail.com

Kysanov Oleksandr Leonidovych – Postgraduate Student of the Department of Mineral Deposit Development, State Higher Educational Institution "Donetsk National Technical University", Drohobych, Ukraine.

Email: kysanov.oleksandr.asp@donntu.edu.ua