

ЛОКАЛЬНЕ УКРІПЛЕННЯ ПІДОШВИ ВИРОБОК, ЩО ПІДТРИМУЮТЬСЯ В ЗРУЙНОВАНОМУ МАСИВІ

I. Сахно^{1*}, О. Ісаєнков², С. Родзін³

¹Кафедра розробки родовищ корисних копалин, Донецький національний технічний університет, Покровськ, Україна

²Кафедра геотехнології і охорони праці, Красноармійський індустріальний інститут Донецького національного технічного університету, Покровськ, Україна

³Краківська гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця, Краків, Польща

*Відповідальний автор: e-mail sahnohuan@gmail.com, тел. +380501659852

LOCAL REINFORCING OF FOOTING SUPPORTED IN THE DESTROYED ROCK MASSIF

I. Sakhno^{1*}, O. Isayenkov², S. Rodzin³

¹Department of Mineral Deposits, Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine

²Department of Geotechnology and Safety, Krasnoarmiisk Industrial Institute of the Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine

³AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland

*Corresponding author: e-mail sahnohuan@gmail.com, tel. +380501659852

ABSTRACT

Purpose. Justification of feasibility of non-explosive destruction of hard rock during in-seam workings based on the obtained dependences related to changes of physical and mechanical properties of non-explosive destructive mixtures (NDM) in the process of hydration in borehole charges causing crack growth in the near-hole area.

Methods. Mine in-situ observations at gauge stations were used to determine dynamics of footing bulging. Photofixation method allowed to record discrete state of rocks in the footing during the repair works. The optimal layout for reinforcing the footing was developed in laboratory conditions on structural models by the analysis of longitudinal and transverse system deformations, and by studying the volume of rocks squeezed into the cavity simulating the working.

Findings. It has been experimentally proved that the footing rocks have a block discrete structure at a distance of at least half the width of inelastic deformations zone. The empirical dependences are obtained, describing footing bulging and horizontal compaction of rocks under the influence of loading, as a result of the disturbance of the rocks equilibrium state by mining operations for consolidated and non-consolidated rocks.

Originality. Formation of a consolidated zone in the form of a straight prism with the vertex of its base triangle facing footing allows to reduce compaction of rocks under the mine by 20%, the footing bulging by 41.8%, and to decrease the volumes of rocks deformed in the working cavity by 41.5%.

Practical implications. The obtained results, with accuracy sufficient for practical application, can be used to develop new ways of ensuring stability of footing in cases when rocks have a high degree of destruction. The proposed scheme of local reinforcing, provided its parameters are theoretically justified, can be realized in mine workings with bulging to more than 500 mm. This will help slow the rate of footing deformations and improve the state of workings in difficult mining and geological conditions.

Keywords: rocks, destruction, pressure, stress, bulging

1. ВСТУП

Єдиним енергоресурсом, який є в Україні в достатньому для внутрішніх енергетичних потреб обсязі, є кам'яне вугілля. Цим зумовлене його стратегічне значення в забезпеченні енергетичної незалежності. Наша країна має розвинуту вугільну інфраструктуру, значні розвідані та готові до видобутку запаси, сучасне вугільне машинобудування, що засвідчує перспективність розвитку напрямку. Аналіз динаміки світового рівня видобутку вугілля свідчить, що не

зважаючи на зміну світових пріоритетів генерації енергії в бік відновлювальних джерел, істотного спаду виробництва не спостерігається (Conti et al., 2016).

Прогнози на найближчі десятиріччя стверджують, що вугілля як енергоресурс буде залишатися в тренді при будь-якому сценарії розвитку світової економіки. Враховуючи світові тенденції виробництва і споживання вугілля, можна зробити висновок, що цей сектор є прибутковим, ефективним і доволі сучасним. Тому пріоритетним для України, яка володіє значни-

ми запасами кам'яного вугілля, готовими до видобутку, є розвиток прогресивних енергоефективних технологій виймання корисної копалини і підтримання гірничих виробок. Проте стан більшості вугільних шахт не задовольняє світовому рівню, потребує реконструкції і впровадження сучасних технологічних і технічних рішень.

Однією з найважливіших проблем вітчизняних шахт є незадовільний стан гірничих виробок, особливо підготовчих, наслідками якого є обвалення покрівлі, деформування і руйнування кріплення, порушення вимог вентиляції та нормативних актів з охорони праці, результатом чого є виникнення аварійних ситуацій і травмування гірників (Bondarenko, Nardygora, Symanovych, Sotskov, & Snihur, 2016). Окрім того порушується ритмічність роботи підприємства, виникають додаткові обсяги робіт, не пов'язані з основною метою виробництва – видобутком вугілля.

Найбільш поширеним видом деформацій контуру виробки є підняття підосви. Це явище актуальне для більшості басейнів, в яких видобуток вугілля ведуть підземним способом (Zhao, Zhao, & Jiang, 1999; He, Xie, Peng, & Jiang, 2005; Wang, Lin, Tian, & Zhao, 2009). За різними оцінками 70–75% підготовчих виробок України незалежно від системи розробки і темпів посування лав потерпають від цього явища. Підrivка порід підосви і перекріплення виробок – це постійна стаття витрат вугільних шахт. Нажаль, стан механізації ремонтних робіт в Україні занадто низький, породопідrivні машини і комбайни використовуються менше, ніж у 10% виробок. Тому вартість робіт з підrivки занадто висока, а темпи менші, ніж необхідні для нівелювання швидкості деформацій підосви.

Підготовчі виробки потрапляють під вплив опорного тиску. Саме в цей період деформування порід максимальні. Тому не рідкістю є випадки багаторазового ремонту однієї і тієї самої ділянки виробок. При проектній висоті виробок 3.7–4.5 м не в зоні впливу очисних робіт сумарна конвергенція становить 1.0–1.8 м. В таких умовах деформування приконтурних порід відбувається за межами пружності. Навколо виробок формується зона не пружних деформацій, зростання якої призводить до інтенсифікації деформацій контуру виробки. Згідно з дослідженнями професора Черняка (Chernyak, 1993) утворення зон не пружних деформацій і зон руйнування радіусом 5–6 м і коефіцієнта розпушення порід 1.06–1.1 призводять до деформування контуру виробки більш ніж 500 мм. Схожі результати отримано і в інших вугільних басейнах світу (Wang, Guo, Yan, Pang, & Zhao, 2012; Chang & Xie, 2011; Lu, Wang, & Zhang, 2011), де ця проблема є також актуальною. Цим зумовлено проблему дослідження цієї статті.

2. РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

Розробка ефективних заходів боротьби з підняттям підосви можлива лише за умов чіткого розуміння механізму розвитку цього процесу. Натурні спостереження, проведені на шахтах Донбасу свідчать про те, що породи приконтурної зони під час підrivки знаходяться в дискретному стані. Спостереження за динамікою зрушень порід були проведені авторами в умовах конвеєрного штреку 5 західної лави пл. m_3 ш. “Щегловська-Глибока” у 2011 році. Лава відпрацьовувалась за суцільною системою розробки (Рис. 1). Штреки проводились за лавою.

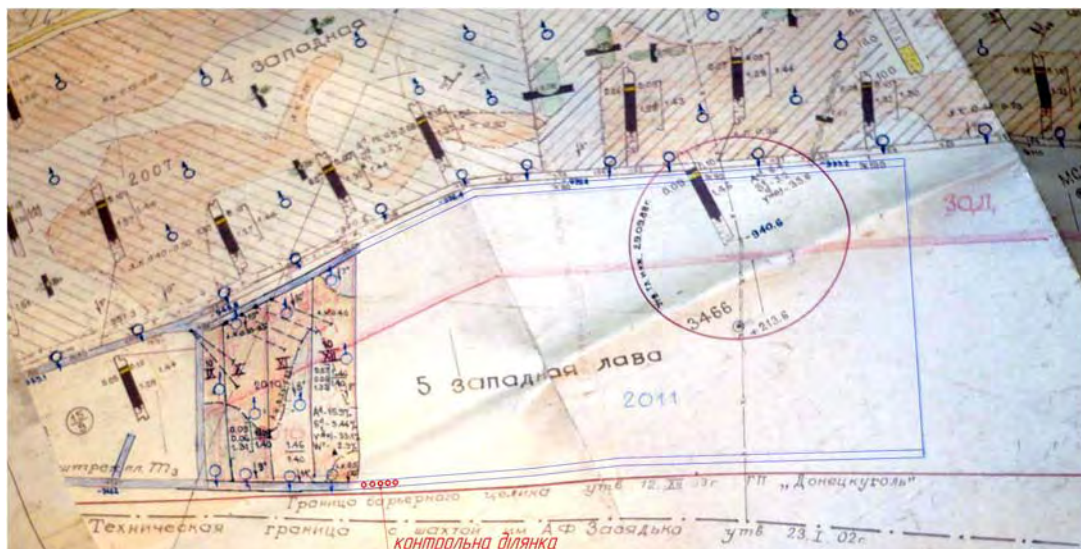


Рисунок 1. Викопіювання з плану гірничих виробок пласта m_3 шахти “Щегловська-Глибока”

Виробку було закріплено металевим арковим кріпленням АП-5/18.3 із СВП-33 з підставками 1.4 м. Перетин кріплення у світлі 20.9 м² крок встановлення кріплення 4×0.5 + 1×0.8 м. Конвеєрна і вентиляційна виробки охоронялись смугою з породних блоків.

Потужність пласта 1.37–1.52 м, кут залягання 7–12 градусів. Безпосередня покрівля пласта складалась з глинистого сланцю 3.5–4.0 м, категорія

порід Б₃–Б₂. Основна покрівля – верхній шар глинистого сланцю і пісковик потужністю 28–42 м. Міцність глинистого сланцю на одноосьовий стиск 40 МПа, піщаного сланцю і піщаника 75–95 МПа. В підосві пласта залягав піщаний сланець потужністю 0.8 м, з міцністю на одноосьовий стиск 20–30 МПа, нижче якого був розташований піщаний сланець міцністю 60–75 МПа.

Для проведення досліджень було виділено контрольну ділянку довжиною 50 м (42 ПК +5 м – 47ПК +5 м), на якій з шагом 10 м було встановлено 5 замірних станцій. Кожна станція складалась з 4 реперів, встановлених в покрівлю, підшову і боки штреку. Три репери являли собою відрізок металевого прута з арматурної сталі діаметром 0.032 м і довжиною 0.5 м.

Кріплення репера відбувалось шляхом його розклинювання в шпурі за допомогою дерев'яної вставки. Один репер, встановлений з боку охоронної смуги, являв собою відмітку на рамі кріплення (Рис. 2). Спостереження на станціях проводились на протязі трьох місяців. За цей період лава відійшла від першої замірної станції на відстань 172 м.

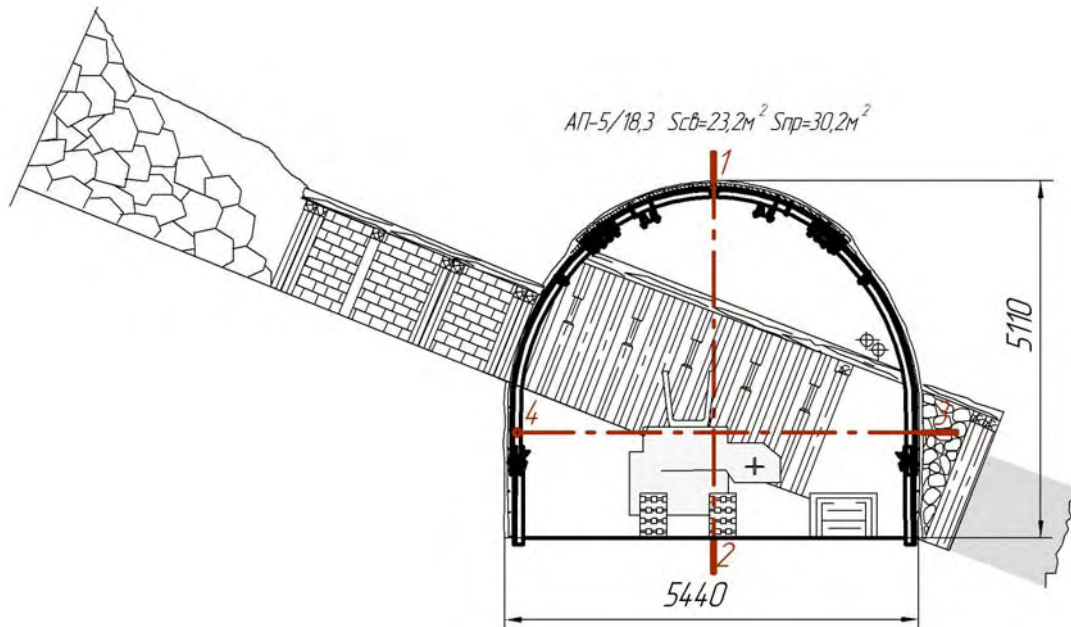


Рисунок 2. Загальний вигляд вимірної станцій: 1, 2, 3, 4 – реперні крапки

Дослідження дозволили зробити висновок, що процес зрушень характеризується двома періодами – інтенсивним і стабільним. Перший триває понад 50 – 60 дб і характеризується значними проявами гірського тиску. Вертикальні деформації підшови виробки по першим трьом замірним станціям наведено на Рисунок 3.

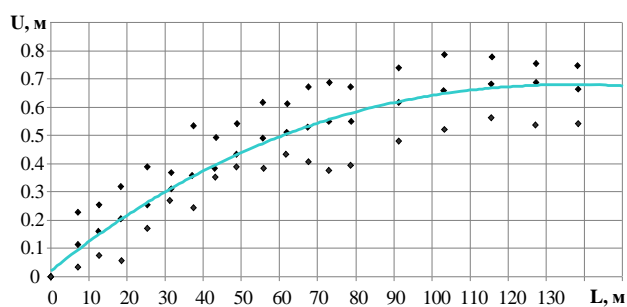


Рисунок 3. Вертикальні зрушення підшови конвеєрного штреку 5 західної лави пл. т₃ ш. "Щегловська-Глибока" (2011 р.)

Середнє значення підняття підшови складає 700 мм, з них в перші два місяці було реалізовано 72%. Такі деформації не можуть мати місце при пружному або пластичному характері деформування, її реалізація можлива лише при руйнуванні порід в підшві. При коефіцієнті розпушення порід при руйнуванні 1.1 зона руйнування в підшві має розміри понад 7 м. Звісно, що розмір породних блоків у цій зоні збільшується від контуру виробки вглиб масиву і тому

вся зона не є дискретним середовищем. При цьому приконтурна частина підшови має максимальний ступінь руйнування і породи в цій області деформуються за механізмом наближеним до сипучих середовищ або пластичної течії в залежності від наявності вологи.

Фізичний стан порід підшови може бути характеризований коефіцієнтом розпушення або тріщинуватістю. Однозначно, ці кількісні показники можливо отримати лише за результатами переміщення глибинних реперів, встановлених в межах зони непружних деформацій. Такі роботи в підшві виробок вкрай трудомісткі, стан станцій порушується веденням допоміжних робіт і процесів доставки. Але висновки про ступінь порушеності масиву можна зробити на основі аналізу вибоїв підривки.

Відповідні фото перерізів підшови при веденні ремонтних робіт з присічкою на різну потужність, що проводились на шахтах Міністерства енергетики і вугільної промисловості України, наведені на Рисунок 4.

Аналіз світлин (Рис. 5) свідчить, що в межах підривки породи мають дрібноблочне становище. Це дозволяє уявляти породний масив в підшві виробки, принаймні на глибину, що дорівнює половині глибини зони руйнування, як дискретний масив відносно ширини штреку.

Робоча схема-гіпотеза про перерозподіл напружень в підшві виробки, що призводять до підняття зруйнованих порід, проілюстрована на Рисунок 5а. Порушення рівноважного стану порід в зоні непружних деформацій викликане, наприклад, попаданням виробки в зону опорного тиску характеризується зростанням вертикальної складової тензора напружень.

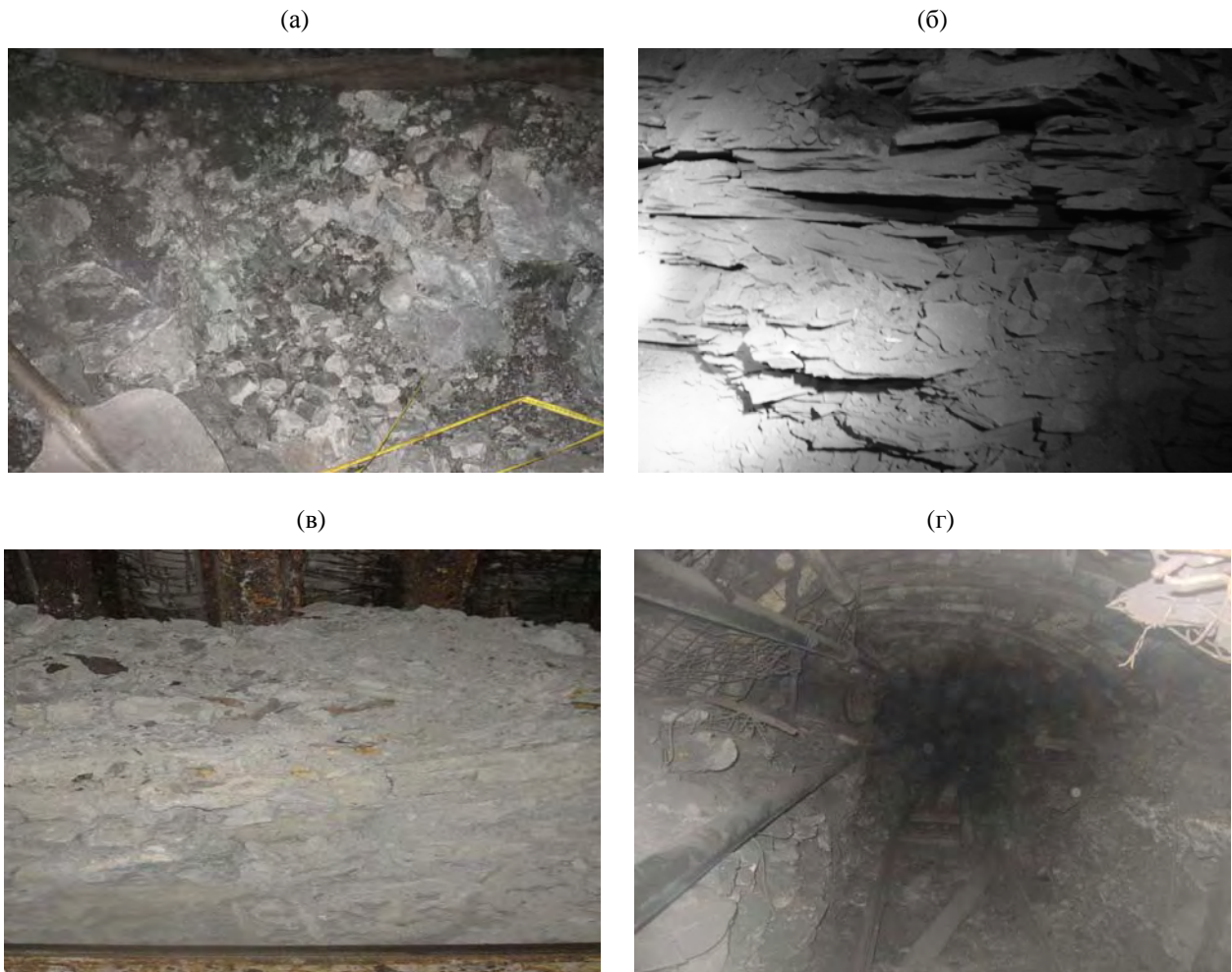


Рисунок 4. Перерізи порід підосви при веденні підрибок: (а) конвеєрний штрек 5 західної лави пл. т₃ ш. “Щегловська-Глибока” (2011 р.); (б) конвеєрний штрек 7 південної лави пл. т₅¹⁶ ш. “Добропільська” (2010 р.); (в) вентиляційний штрек 26 східної лави пл. т₃ ш. “Трудівська” (2013 р.); (г) 8 західний вентиляційний штрек пл. т₃ “Шахти ім. Є.Т. Абакумова” (2014 р.)

Породи підосви виробки, які власне і рухаються у бік штреку, вільні від цих напружень, оскільки розвантажені порожниною виробки. Однак приріст вертикальних напружень в боках на рівні підосви виробки формує в підосві нове поле напружень, що викликає підняття. У першому наближенні це поле напружень можна уявити горизонтальним, а площини нормальні максимальним значенням цих напружень знаходяться в створі з ніжками кріплення. Певною мірою таке уявлення вкладається в “гіпотезу штампа”.

Для виробки типу “штрек” можна звести задачу до плоскої, однак більш досконалим представляється об’ємна модель одиначної довжини, концептуальний пристрій ствену якої наведено на Рисунку 5б. Імітуючи приріст напружень в боках виробки тиском на рухому частину ствену можна змодельовати видавлювання порід в його порожнину, що буде відповідати підняттю, відповідно до наведеного вище механізму.

Такий ственд в масштабі 1:20 був розроблений і створений авторами. Його креслення і загальний вигляд наведені на Рисунку 5в, г.

В якості заходів зі стримання підняття підосви було прийнято укріплення підосви. Дослідженнями на структурних моделях, проведеними авторами (Rodzin, Sakhno, Isayenkov, & Ostrowski, 2016), було

встановлено, що локальне зміцнення дискретних порід дозволяє управляти вектором їх переміщень і знижувати їх абсолютну величину.

Розвитком отриманих результатів стали наведені нижче дослідження. Було проведено 3 серії моделювання. Перша серія без додаткових заходів, друга – з формуванням укріпленої зони в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненої від підосви виробки, третя – з формуванням укріпленої зони в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненої до підосви виробки.

Моделювання виконувалось наступним чином. Всередину ствену поміщався матеріал, що імітував породи підосви. Вільна площина ствену обтягувалась ПВХ стрейч плівкою, що запобігало висипанню породи і забезпечувало мінімальний початковий відпір. Потім ственд встановлювався між плитами преса та проводилось його навантаження з фіксацією тисків і переміщень.

Породи підосви імітувались піщаним сланцем з фракцією 8 – 16 мм. Укріплена зона зруйнованих порід моделювалась породобетонним зразком, отриманим шляхом заливки у дерев’яний каркас з породою рідкого бетону класу В15 (Рис. 6).

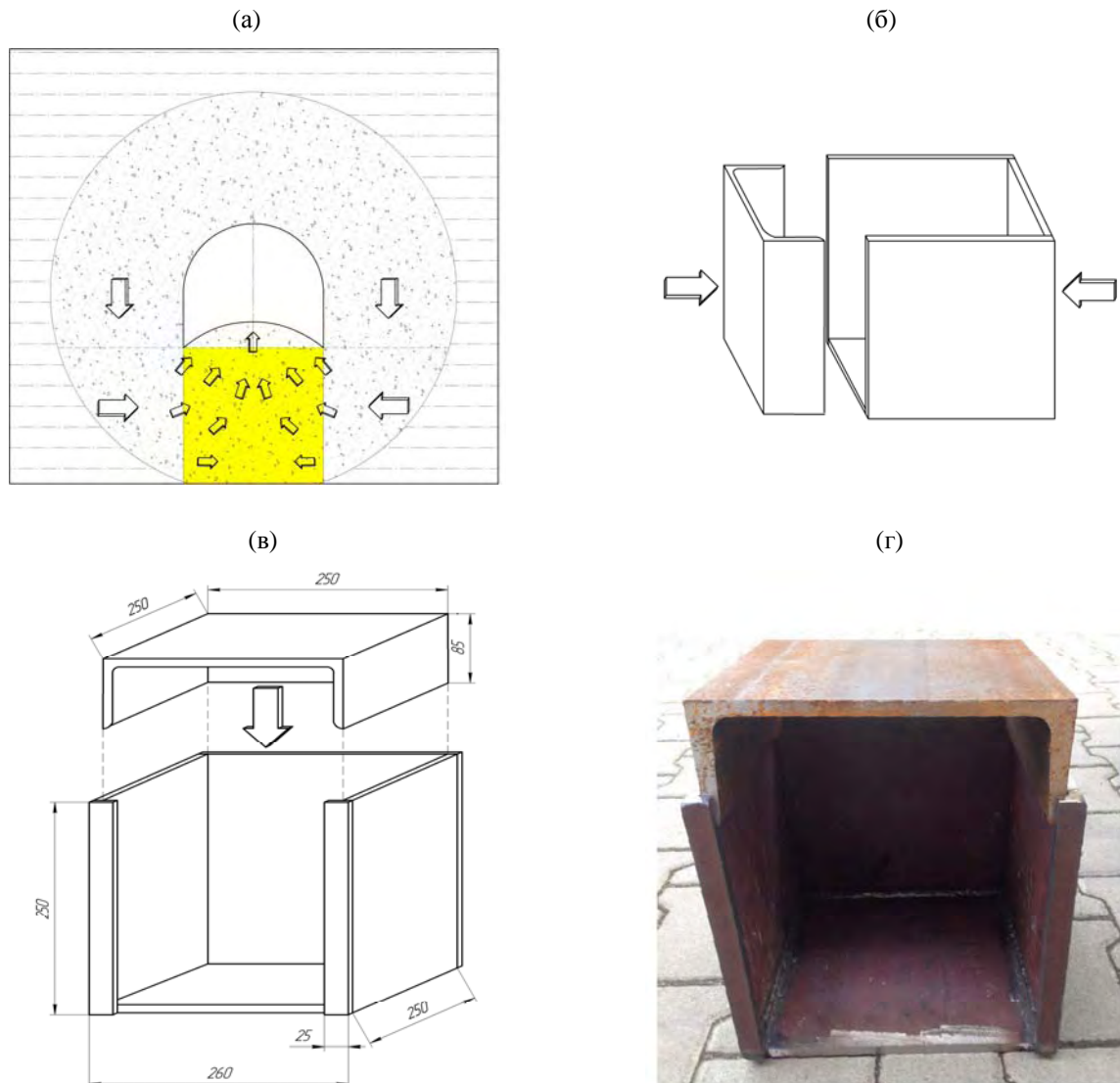


Рисунок 5. Схема формування напружень в підшви ітреку (а) і відповідний їй дизайн лабораторного стенду (б), його конструкція (в) і загальний вигляд (г)



Рисунок 6. Процес підготовки зразків, імітуючих укріпленй масив

Стенд навантажувався гідравлічним пресом Veb Werkstoffprofmaschinen, зі швидкістю 4 мм/хв. На бічній грані моделі за стендом був прикріплений фрагмент міліметрового паперу для відстеження величини деформацій в напрямку вільної поверхні моделі, тобто фактичного підняття підшви.

Відстежування динаміки розвитку деформацій при навантаженні моделі велось датчиками тиску

вертикальних деформацій преса та відеофіксацією горизонтальних деформацій за допомогою стаціонарної цифрової відеокамери. Обробка результатів проводилася в програмному середовищі Компас-3D, калібрування велось по міліметровому паперу (Рис. 7). Це дозволило отримати масив даних з одночасно зафіксованих вертикальних і горизонтальних деформацій при відповідних тисках.

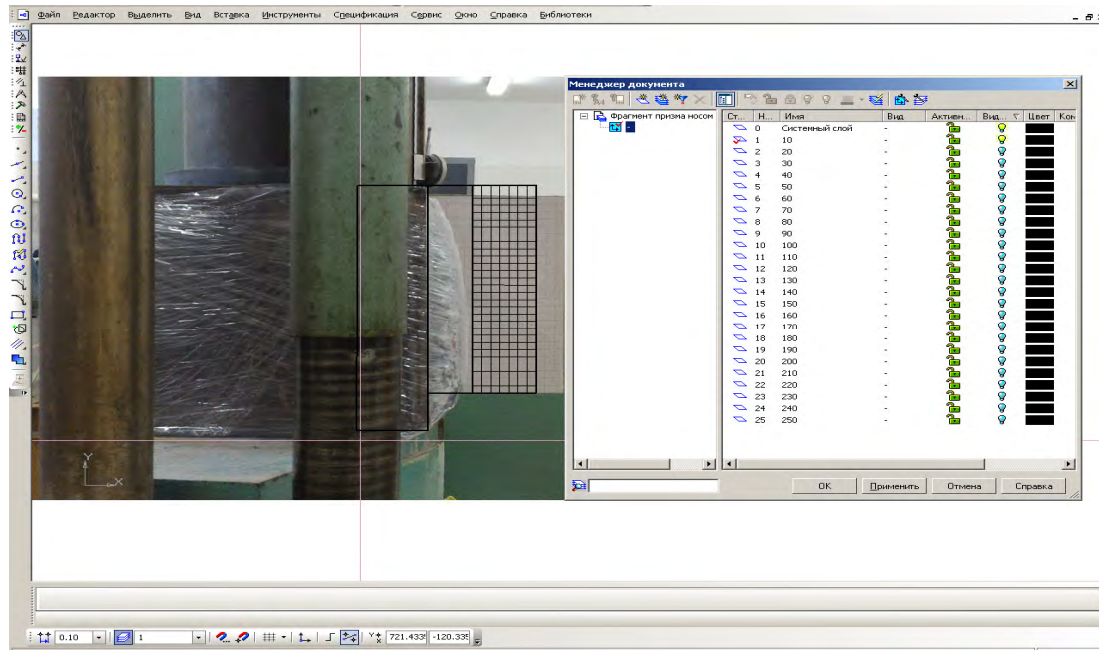


Рисунок 7. Візуалізація обробки результатів лабораторного моделювання

За середніми значеннями трьох проведених експериментів для кожної схеми укріплення були побудовані графіки залежності подовжніх деформацій (ущільнення в підшві виробки) і поперечних деформацій (підняття підшви в порожнині штреку) від рівня навантаження (Рис. 8а, б).

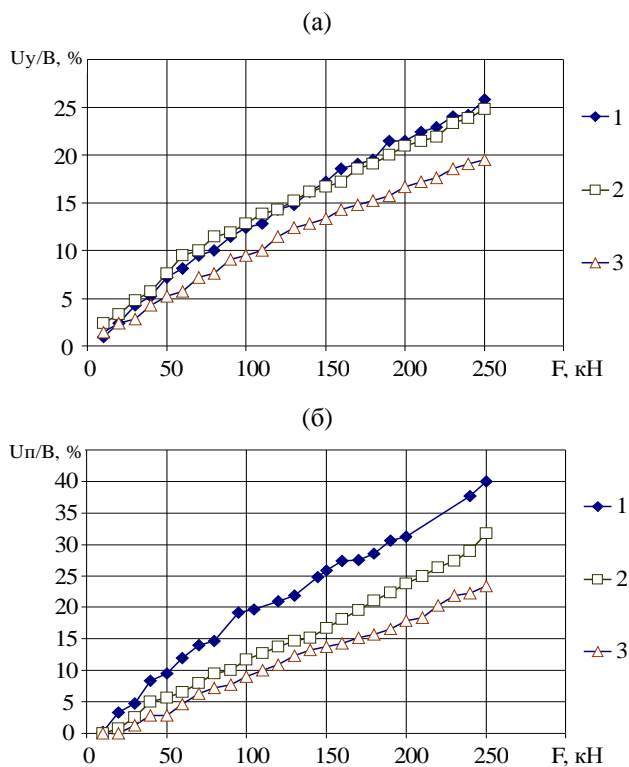


Рисунок 8. Графіки залежності подовжніх деформацій (а) та поперечних деформацій (б) від рівня навантаження: 1 – модель без укріплення; 2 – укріплена зона в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою від підшви виробки; 3 – укріплена зона в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою до підшви виробки

На графіках по осі абсцис відкладено зусилля, що розвивав прес (F , кН), а по осі ординат – відношення деформацій до ширини порожнини, що імітувала виробку відповідно ущільнення (U_y/B , %), і підняття підшви (U_n/B , %).

Аналіз графіків свідчить про те, що істотні переваги дає укріплення в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою до підшви виробки. Таке зміцнення дозволяє на 20% знизити ущільнення порід під виробкою, що дозволяє знизити підняття порід підшви з 40% від ширини виробки до 23.3% від ширини виробки, тобто на 41.8%.

Укріплення в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою від підшви виробки суттєво не впливає на поперечні деформації в підшві виробки, проте стримує підняття з 40% від ширини виробки до 31.8%, тобто на 20.5%. При тому характерно, що крива підняття після укріплення стає наближеною до лінійної функції.

Таким чином очевидно, що локальне зміцнення порід підшви виробки за пропонуваними схемами дозволяє загальмувати рух порід в порожнину виробки і залежно від схеми укріплення зменшити абсолютне підняття на 20 – 40%.

За допомогою графічного методу були побудовані контури підняття підшви, що дозволило оцінити зміщення порід в порожнину, що імітує виробку. Їх порівняння на останньому кроці навантаження дозволило констатувати, що локальне укріплення підшви в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою від підшви виробки призводить до зменшення об'єму порід на 16.1% (з 156.83 см² в моделі до 131.54 см²), а в разі орієнтації укріпленої зони вершиною трикутника основи призми до підшви виробки на 41.5% (з 156.83 см² в моделі до 91.77 см²). За цим параметром переваги останньої схеми укріплення ще більш очевидні.

3. ВИСНОВКИ

В найближчу перспективу проблема підтримання підготовчих виробок в експлуатаційному стані буде актуальною для більшості шахт, що займаються вийманням вугілля на значних глибинах. При цьому одним з найгостріших питань є запобігання і боротьба зі зриванням підшви.

Підняття підшви на 500 і більше мм є наслідком руйнування порід та сигналізує про розвиток зони не пружних деформацій вглиб масиву на величину, що визначається коефіцієнтом розпушення при руйнуванні 1.1 – 1.06. Породи підшви штреку, принаймні на половину загального розміру зони руйнування, можуть бути інтерпретовані як дискретне середовище. При цьому приконтурний шар 100 – 120 мм вже через 2 місяці після проведення виробки є дрібнофракційним.

За таких умов одним з перспективних напрямків стримання підняття підшви є локальне зміцнення порід. Серед схем укріплення підшви особливої уваги заслуговує зміцнення з формуванням укріпленої зони в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою до підшви виробки.

За результатами моделювання таке зміцнення дозволяє на 20% знизити ущільнення порід під виробкою, знизити підняття порід підшви на 41.8%, скоротити об'єми порід, що деформуються в порожнину виробки на 41.5%.

ВДЯЧНІСТЬ

Автори роботи висловлюють вдячність співробітникам лабораторії дослідження анкерів AGH w Krakowie Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica за підтримку у проведенні досліджень на території академії.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Обґрунтування доцільності локального зміцнення порід підшви виробок, що підтримуються в зоні розрушених порід, виходячи із залежностей зміни горизонтального ущільнення порід підшви та їх підняття в порожнину виробок для різних схем локального зміцнення.

Методика. Шахтними натурними спостереженнями на замірних станціях встановлено динаміку зривання підшви. Методом фотофіксації зафіксовано дискретний стан порід в підшві виробки під час ремонтних робіт. В лабораторних умовах на структурних моделях в результаті аналізу повздовжніх і поперечних деформацій системи та об'ємів порід, що були видавлені в порожнину, що імітує виробку, встановлено найкращу схему зміцнення порід підшви за наведених умов.

Результати. Експериментально доведено, що породи підшви виробки на відстані не менше половини ширини зони непружних деформацій мають блочно-дискретну будову. Отримано емпіричні залежності підняття підшви й горизонтального ущільнення порід під впливом навантаження в результаті порушення рівноважного стану порід гірськими роботами для укріплених і неукріплених порід.

Наукова новизна. Формування в підшві виробки, що підтримується у зруйнованому масиві, укріпленої зони в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи, зверненою до підшви виробки, дозволяє на 20% знизити ущільнення порід під виробкою, знизити підняття порід підшви на 41.8%, скоротити об'єми порід, що деформуються в порожнину виробки, на 41.5%.

Практична значимість. Отримані результати, з достатньою для практичного застосування точністю, можуть використовуватися для розробки нових способів забезпечення стійкості підшви виробок у випадках, коли породи мають великий ступінь руйнування. Запропонована схема локального зміцнення, за умови теоретичного обґрунтування її параметрів, може бути реалізована в гірничих виробках з підняттям підшви вище 500 мм. Це сприяє уповільненню швидкостей деформацій підшви і покращенню стану виробок в складних гірничо-геологічних умовах.

Ключові слова: гірські породи, руйнування, тиск, напруження, підняття підшви

REFERENCES

- Bondarenko, V., Hardygora, M., Symanovych, H., Sotskov, V., & Snihur, V. (2016). Numerical Methods of Geomechanics Tasks Solution during Coal Deposits' Development. *Mining of Mineral Deposits*, 10(3), 1-12. <https://doi.org/10.15407/mining10.03.001>
- Chang, J.C., & Xie, G.X. (2011). Floor Heave Mechanism and Over-excavation & Grouting-backfilling Technology in Rock Roadway of Deep Mine. *Journal of Mining and Safety Engineering*, 28(3), 361-369.
- Chernyak, I.L. (1993). *Povyshenie ustoychivosti podgotovitel'nykh vyrabotok*. Moskva: Nedra.
- Conti, J., Holtberg, P., Diefenderfer, J., LaRose, A., Turnure, J.T., & Westfall, L. (2016). *International Energy Outlook 2016 With Projections to 2040*. <https://doi.org/10.2172/1296780>
- He, M.C., Xie, H.P., Peng, S.P., & Jiang, Y.D. (2005). Study of Rock Mechanics in Deep Mining Engineering. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 24(16), 2803-2813.
- Lu, Y., Wang, L., & Zhang, B. (2011). An Experimental Study of a Yielding Support for Roadways Constructed in Deep Broken Soft Rock under High Stress. *Mining Science and Technology*, 21(6), 839-844. <https://doi.org/10.1016/j.mstc.2011.05.034>
- Rodzin, S., Sakhno, I., Isayenkov, A., & Ostrowski, K. (2016). Ochrona wyrobisk utrzymywanych w strefie skał spękaných w ukraińskich kopalniach węgla kamiennego. *Polish Mining Review*, 9(72), 78-83.
- Wang, J., Guo, Z., Yan, Y., Pang, J., & Zhao, S. (2012). Floor Heave in the West Wing Track Haulage Roadway of the Tingnan Coal Mine: Mechanism and Control. *International Journal of Mining Science and Technology*, 22(3), 295-299. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2012.04.002>
- Wang, J., Lin, M., Tian, D., & Zhao, C. (2009). Deformation Characteristics of Surrounding Rock of Broken and Soft Rock Roadway. *Mining Science and Technology*, 19(2), 205-209. [https://doi.org/10.1016/s1674-5264\(09\)60039-9](https://doi.org/10.1016/s1674-5264(09)60039-9)
- Zhao, S.H., Zhao R.F., & Jiang, Y.D. (1999). Support Technology of Roadway Affected by Mining Located in Extra Soft Rock. *Ground Press Strata Control*, (2), 19-21.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Обоснование целесообразности локального укрепления пород почвы выработок, поддерживаемых в зоне разрушенных пород, исходя из зависимостей изменения горизонтального уплотнения пород почвы и их поднятия в полость выработок для различных схем локального укрепления.

Методика. Шахтными натурными наблюдениями на замерных станциях установлена динамика пучения почвы. Методом фотофиксации отмечено дискретное состояние пород в почве выработки во время ремонтных работ. В лабораторных условиях на структурных моделях в результате анализа продольных и поперечных деформаций системы и объемов пород, которые были выдавлены в полость, имитирующую выработку, установлено лучшую схему укрепления пород почвы при описанных условиях.

Результаты. Экспериментально доказано, что породы почвы выработки на расстоянии не менее половины ширины зоны неупругих деформаций имеют блочно-дискретную структуру. Получены эмпирические зависимости поднятия подошвы и горизонтального уплотнения пород под воздействием нагрузки в результате нарушения равновесного состояния пород горными работами для укрепленных и неукрепленных пород.

Научная новизна. Формирование в почве выработки, поддерживаемой в разрушенном массиве, укрепленной зоны в форме прямой призмы с вершиной треугольника ее основания, обращенной к подошве выработки, позволяет на 20% снизить уплотнение пород под выработкой, уменьшить пучение пород почвы на 41.8%, сократить объемы, деформируемых в полость выработки пород, на 41.5%.

Практическая значимость. Полученные результаты, с достаточной для практического применения точностью, могут использоваться для разработки новых способов обеспечения устойчивости почвы выработок в случаях, когда породы имеют большую степень разрушения. Предложенная схема локального укрепления, при условии теоретического обоснования ее параметров, может быть реализована в горных выработках с пучением более 500 мм. Это будет способствовать замедлению скоростей деформаций почвы и улучшению состояния выработок в сложных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: горные породы, разрушение, давление, напряжения, пучение

ARTICLE INFO

Received: 4 December 2016

Accepted: 11 January 2017

Available online: 30 March 2017

ABOUT AUTHORS

Ivan Sakhno, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mineral Deposits, Donetsk National Technical University, 2 Shybankova Ave., 85300, Pokrovsk, Ukraine. E-mail: sahnouan@gmail.com

Oleksandr Isayenkov, Senior Lecturer of the Department of Geotechnology and Safety, Krasnoarmiisk Industrial Institute of the Donetsk National Technical University, 2 Shybankova Ave., 85300, Pokrovsk, Ukraine. E-mail: alex_is@ukr.net

Stanislaw Rodzin, Ph.D. Student, AGH University of Science and Technology, 30 Adam Mickiewicz, 30-059, Krakow, Poland. E-mail: stanislaw.rodzin@gmail.com