

Раздел 2. Прогнозирование и управление состоянием горного массива

УДК 622.224.3

<https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.003>

ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОХОРОНИ ОСНОВНИХ ПОХИЛИХ ВИРОБОК У РОЗВАНТАЖЕНИХ ВІД ГІРСЬКОГО ТИСКУ ЗОНАХ

О.С. Янжула¹, М.В. Головін¹, О.Ю. Підгурна¹, В.В. Назимко²,
Л.М. Захарова^{2*}, О.Б. Кусень²

¹ПрАТ «Донецький металургійний завод «Донецьксталь», м. Покровськ,
Україна

²Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України,
м. Дніпро, Україна

*Відповідальний автор: e-mail: mila2017ma@gmail.com

SUBSTANTIATION OF THE MODEL FOR INVESTIGATION OF PARAMETERS OF PROTECTION OF MAIN SLOPE PRODUCTS IN UNLOADED MOUNTAIN PRESSURE ZONES

O.S. Yanzhula¹, M.V. Golovin¹, O.Y. Pidgurna¹, V.V. Nazimko²,
L.M. Zakharova^{2*}, O.B. Kusen²

¹PJSC “Donetsksteel “Iron and steel works” Pokrovsk, Ukraine

²Institute for Physics of Mining Processes of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: mila2017ma@gmail.com

ABSTRACT

Purpose. Estimation of redistribution of rock pressure around the working formation.

Methods. During the project of planning mining works the data of mine instrumental observations of shifts around preparatory workings with the help of contour and depth benchmarks, monitoring of dynamics of growth of pressure of collapsed rocks and forged stratum on the bottom of the spent coal seam and final differences were used.

Findings. A computer model has been substantiated to simulate relevant parameters of panel extraction layout and determine technology of the main entries maintenance in the stress relief zone. The model was based on the final difference scheme. Mohr-Coulomb constitutive model has been selected to simulate nonlinear behavior of surrounding rock mass. Bulk and shear modulus were used to mimic elastic behavior of the rocks. To simulate irreversible actions of the rock mass, cohesion, angle of internal friction, tension limit and angle of dilation were employed as initial data. A special sub-model was developed to account for physical process of immediate roof and floor interaction behind the moving longwall. The

depth of mining was 1100 m whereas the total height of the model was 1500 m, because 400 m undermined strata was accounted for. Therefore, top boundary of the model was free, lateral sides were constrained from the normal displacements, and bottom of the model was fixed.

Practical implications. Parameters of the model were verified by comparison of the abutment zone with that recommended by regulatory documents. Dynamic of ground pressure in the gob behind the moving longwall face was matched the results of the experimental monitoring of the caved strata pressure. Elastic resilience of the undermined strata was compared with measured in situ at the depth about one kilometer. Step of the main roof weighting was examined by comparison with measured in a real coal mine. The results of such verification demonstrated that parameters of the model were calibrated properly. This model is planned to involve in the process of examination of the mining layout at the prospective block 11 at “Pokrovs’ke” coal mine, Ukraine, Donbass region.

Keywords: mining layout, ground pressure, stress relief, gate road, geomechanic model

1. ВСТУП

Світові запаси кам'яного вугілля виснажуються, що призводить до необхідності поглиблювати гірничі роботи. Перехід на великі глибини розробки вугільних родовищ створює нові проблеми, складність яких з урахуванням нелінійної залежності стійкості вміщуючих порід від величин гірського тиску збільшується стрибкоподібно 1. Це стосується й української вуглевидобувної галузі, особливо з увагою на те, що значні запаси вугілля є надійним гарантом енергетичної й сировинної незалежності України.

Українські вчені були світовими лідерами у галузі дослідження закономірностей необоротних зрушень масиву гірничих порід під час відпрацювання вугільних пластових родовищ 2. Ці традиції продовжуються сучасними дослідженнями для великих глибин розробки, що особливо актуально для залізрудних й вугільних родовищ 2. Глибину розробки вугільних родовищ понад 900–1000 м досягли й гірники Германії, Китаю, Польщі, Чехії й інших країн 3.

Нормативні галузеві документи рекомендують відмовитися від охорони підготовчих виробок вугільними ціликами на великих глибинах й перейти на охорону виробок у розвантажених від гірського тиску зонах 9. Опубліковані спеціальні дослідження закономірностей необоротних зрушень й перерозподілу гірського тиску у таких зонах під час розвитку очисних робіт у межах панелі, блоку чи горизонту 11. Доведено, що створення розвантаженої зони шляхом відпрацювання спеціальної розвантажувальної лави є задачею першого рівня. Набагато складнішою проблемою є збереження розвантаження у часі й захист виробок від негативного впливу очисних робіт у суміжних ярусах чи виїмкових стовпах 11. Саме ці рекомендації й враховані під час виконання проекту планувальних гірничих робіт в умовах перспективного блоку 11 ш/у Покровське.

У безпосередній підшві пласта міститься шар нестійкого алевроліту незначної потужності (0,5–1,4 м), під яким залягає потужний шар пісковика. У межах блоку 11 вугільний пласт схильний до раптових викидів вугілля й метану й містить від 10 до 20 м куб газу на тону сухої беззолної маси.

Для відпрацювання очисних вибоїв сучасними очисними комплексами застосовуються стовпова й комбіновані системи розробки. Управління покрівлею здійснюється його повним обваленням за допомогою секцій механізованого кріплення. Для видалення вибухонебезпечного метану з очисного вибою застосовують як зворотноточну, так й прямоточну схеми провітрювання, для чого підтримують вентиляційні штреки позаду лав за допомогою литих смуг, які зводять з швидкотвердіючої суміші. Темпи посування очисних вибоїв коливаються у межах від 120 до 250 м/міс.

На рис. 2 наведено фрагмент календарного плану відпрацювання верхньої частини блоку 11 виїмковими стовпами по простяганню. Основні уклони блоку 11 планується охороняти у розвантаженій від гірського тиску зоні, яка повинна формуватися у результаті першочергового відпрацювання спеціальної розвантажувальної лави. Суміжні запаси у ярусах планується відпрацювати стовпами по простяганню у напрямку від рубежів блоку на границі виробленого простору розвантаженої зони.

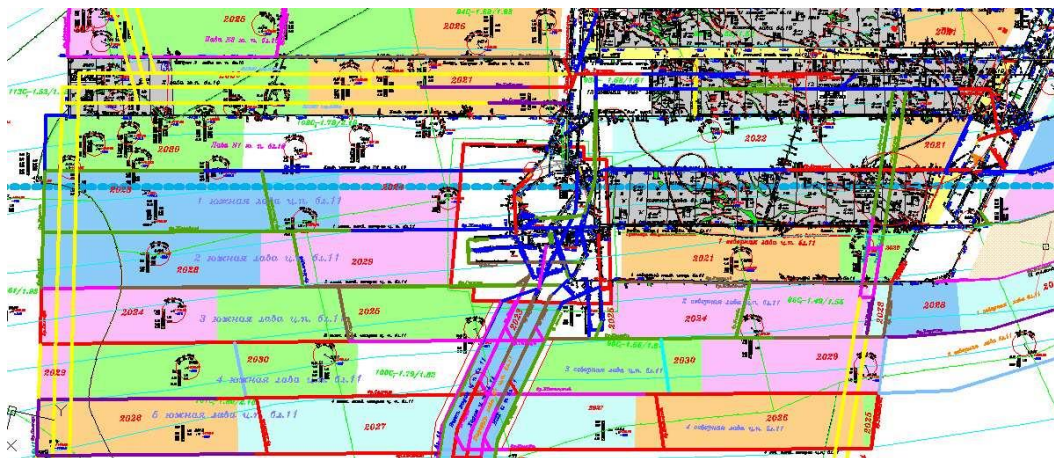


Рисунок 2. Фрагмент календарного плану розвитку гірничих робіт

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для моделювання розвитку очисних робіт у межах блоку 11 згідно прийнятого планувального рішення була розроблена розрахункова схема, що представлена на рис. 3. Глибина робіт прийнята рівною 1100 м. Розмір розрахункової області в плані прийнятий по простяганню рівним 2048 м, за падінням 1280 м. Такі великі розміри дозволили розташувати по обидві сторони від розвантаженої від гірського тиску зони по чотири повноцінні лави довжиною по 256 м. Це дало можливість змоделювати умови повної підробки земної поверхні і, таким чином, оцінити максимально можливі прояви гірського тиску під час розвитку очисних робіт. Розрахункова схема розбита більш ніж на 60 тис. зон. Збереження лише одного варіанту розрахунку (а таких варіантів

8 x 4 = 32) вимагає 150 Мб. Іншими словами подальша деталізація розбиття розрахункової області недоцільна. Лава представлена 26 зонами (елементами), що цілком достатньо для отримання достовірного розподілу гірського тиску в межах розвантаженої зони.

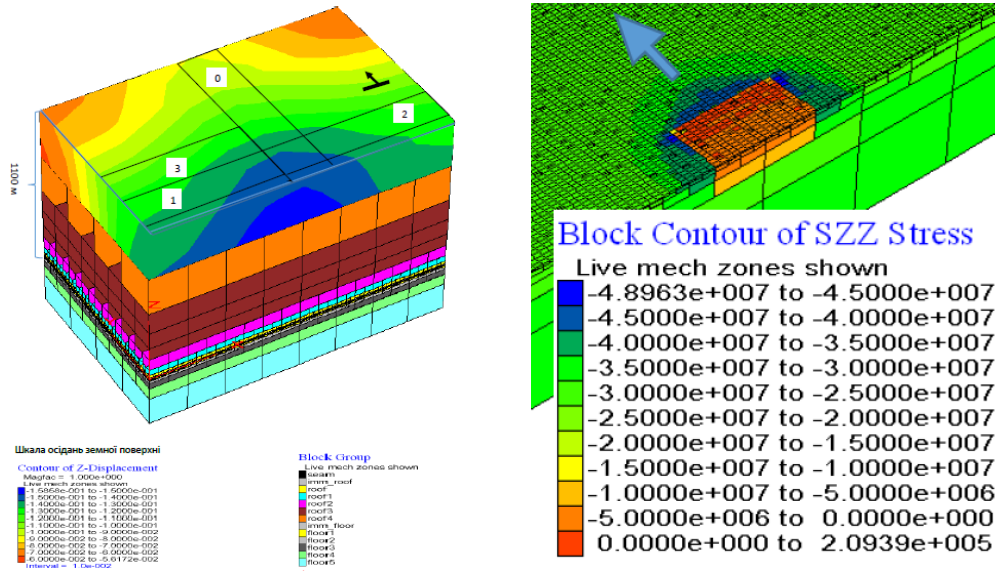


Рисунок 3. Розрахункова схема, суміщена з осіданнями земної поверхні, й розподілом вертикальної компоненти гірського тиску під час відходу розвантажувальної лави

Будову вугленосної товщі прийнято згідно узагальненій стратиграфічній колонці для умов ш/у Покровське в районі повітряно-подавального стволу ВПСЗ. Деформаційні й міцнісні властивості вміщуючих порід прийняті згідно усередненій структурній колонці товщі у межах блоку 11. Потужність пласта становила 1,5 м. Швидкість посування лав 120–150 м/міс.

Оскільки основною метою роботи була оцінка перерозподілу гірського тиску навколо робочого пласта, найбільш детально здійснена розбивка на зони саме цієї області. Мінімальний крок розбивки вугільного пласта у плані, а також безпосередніх шарів покрівлі та ґрунту становив 10–15 м. З таким же кроком просувались й очисні вибої. Оскільки такий крок менше кроку посадки основної покрівлі, це дозволило змодельовати й динаміку обвалення порід у процесі відпрацювання лав.

Процес обвалення порід та переходу їх у позамежний стан визначався на основі спеціально розробленої комбінованої моделі Мора-Кулона з елементами емпіричної моделі Хоука-Брауна. Зокрема враховувалось зменшення межі міцності на розтягнення порід після їх руйнування. У якості вхідних даних застосовувались не лише модуль об'ємного стискування й модуль зсуву, але й зчеплення, кут внутрішнього тертя, межа міцності порід на розтягнення, а також кут дилатансії порід після їх переходу у позамежний стан.

На верхньому фрагменті розрахункової області рис. 3 показано розподіл осідань земної поверхні, який узгоджується з результатами оцінки осідань згідно нормативних Правил охорони земної поверхні, що свідчить про належне

налаштування параметрів моделі 14. При цьому розподіл відповідає моменту, коли була відпрацьована розвантажувальна лава (її номер – 0) і перші три лави з восьми: перша і друга лави першого ярусу і третя другого ярусу. Контури зазначених лав спроектовані на земну поверхню для прив'язки і наочності. Таким чином, зліва на всіх малюнках показані непарні лави (1, 3, 5 і 7), а праворуч парні (2, 4, 6 і 8). Як покаже подальший аналіз, тривимірна постановка завдання вкрай важлива, оскільки саме завдяки такому рішенню отримані важливі закономірності перерозподілу гірського тиску. Зокрема важливо врахувати, що прояв гірського тиску за умов неповної підробки земної поверхні є іншим й суттєво інтенсивнішим у порівнянні з ситуацією, коли досягнута повна підробка. До того ж необоротна природа зрушень масиву потребує тривимірної постановки задачі, оскільки двомірне наближення дає надто оптимістичні результати, що закладає необґрунтовані ризики під час прийняття рішень щодо планування розвитку очисних робіт на великих глибинах.

На правому фрагменті рис. 3 показана нижня частина розрахункової схеми, верхня межа якої обрізана по площині, у якій відпрацьовується пласт (по його безпосередній підошві). Видно, як у міру відпрацювання розвантажувальної лави у виробленому просторі формується розвантажена від гірського тиску зона, а навколо цього простору виникають зони опорного тиску. Концентрація напружень у зоні динамічного опорного тиску (та, що попереду лави) вище, ніж у зонах залишкового опорного тиску, що формується безпосередньо біля бічних кордонів виробленого простору позаду лави. Це закономірно, оскільки зависання породних консолей над діючим очисним вибієм більше, ніж над нерухомими бічними межами виробленого простору лави.

Вироблений простір моделювався прямим методом видалення зон моделі у межах потужності пласта (рис. 3), а обвалені породи моделювалися природним шляхом за рахунок осідання й розуцільнення підробленої товщі, а також здимання підошви пласта. Для цього була написана окрема підпрограма, яка відповідала за те, щоб підошва безпосередньої покрівлі відпрацьованого пласта у момент зустрічі з верхньою поверхнею безпосередньої підошви «впізнавали» одна одну й створювали реальний фізичний контакт, який передбачував не лише нормальні контакти напруження, але й дотичні напруження й можливі проковзування один відносно одного, що відповідає реальному механізму взаємодії покрівлі й підошви під час необоротних зрушень.

Це безпосередньо підвищує достовірність визначення ступеню розвантаження, оскільки без врахування фізичного контакту покрівлі й підошви величина розвантаження буде завищеною, що вносить небезпечну похибку, тобто не йде у запас міцності, а навпаки – робить результати оцінки занадто оптимістичними й нереальними.

Руйнування порід походить від дотичних й розтягуючих деформацій. Зазначений розподіл добре узгоджується з загальними уявленнями про механізм зрушень товщі навколо чинного довгого очисного вибію.

Усі породи у межах зони зрушень крім зон опорного тиску відчують розуцільнення. Найбільша ступінь розуцільнення спостерігається у зоні максимальних вигинів. Спостерігається також підвищене розуцільнення товщі біля верхньої межі зони повних зрушень у результаті розшарування товщі на

межі з зоною плавних прогинів. Це узгоджується з уявленнями про схему зрушень 2.

На рис. 4а, б видно, як відбувається прогин покрівлі та підняття ґрунту після відпрацювання першої лави, а над і під її виробленим простором формуються розвантажені від гірського тиску області (теплі тони). Найбільш розвантажені кутові частини виробленого простору, що примикають до виїмкових виробок (показані пунктирним контуром).

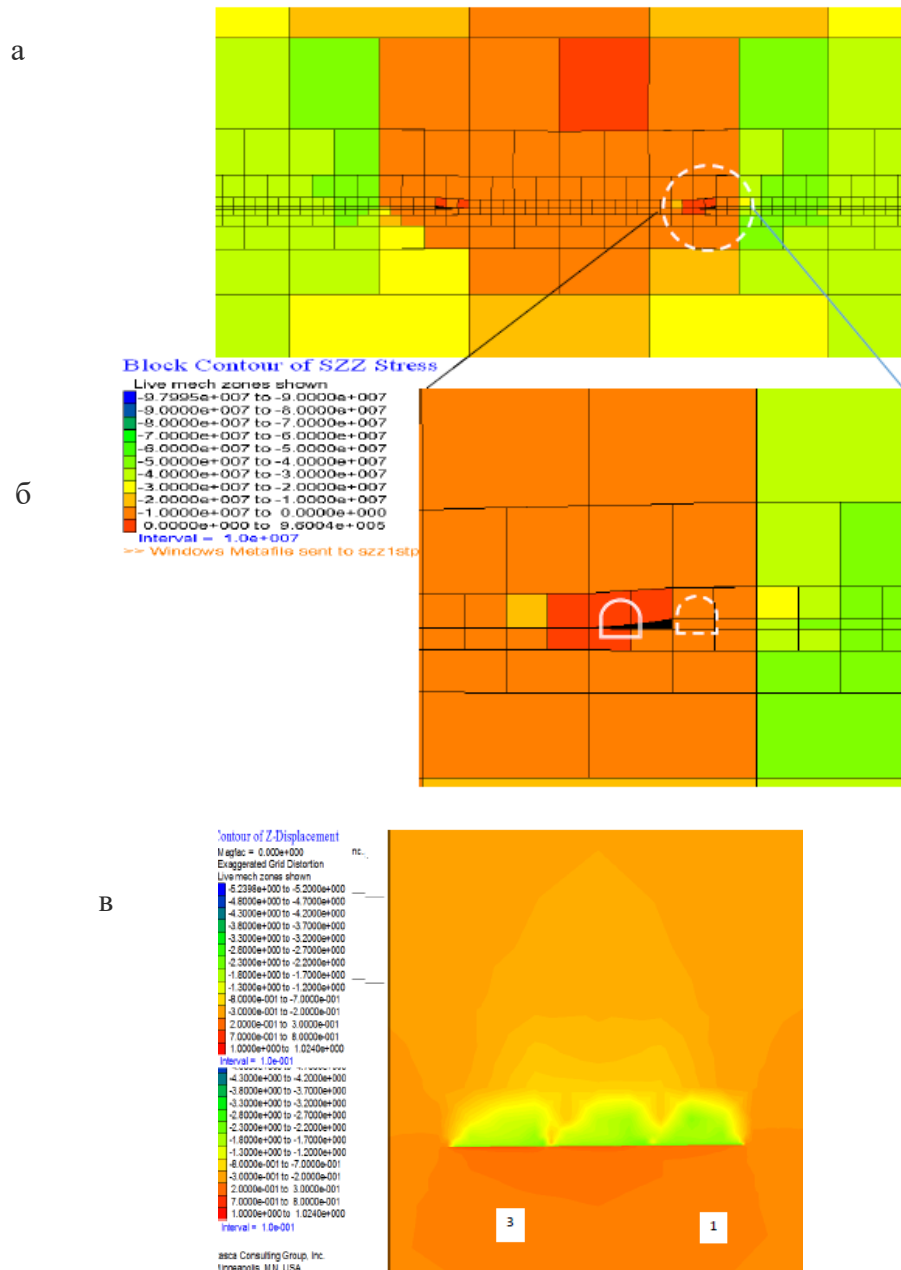


Рисунок 4. Розподіл вертикальної компоненти напружень (зліва) й вертикальних зрушень (справа) у вертикальному розрізі моделі

Тут рівень тиску вимірюється одним мегапаскалем, що відповідає еквівалентній глибині закладення виробки 40 м. Саме тому в цих областях рекомендується перш за все вкривати від гірського тиску виробки, щоб зберегти їх стійкість (виробка показана суцільним подвійним контуром). Пунктиром показаний контур виробки, яка проходиться вприсічку до виробленого простору. Тут напруження не перевищують 10 МПа, що майже в тричі нижче геостатичного рівня. У зонах опорного тиску його концентрація становить $2,13 = (58,5 / 27,5)$. Примітно, що у зоні максимального розвантаження рівень тиску в 27–33 рази нижче геостатичного.

На рис. 4в наведено розподіл вертикальних зрушень товщі після відпрацювання усіх трьох лав. На відміну від першої лави, над якою область осідань була приблизно симетрична щодо центру виробленого простору, лави 2 і особливо 3 мають несиметричні області осідань, які зміщені у бік загального (сумарного) виробленого простору. Це узгоджується з закономірностями термодинаміки необоротних зрушень, що відображають еволюцію дисипативних структур 15.

Надроблена товща здійснює підняття на 45 см у результаті розвантаження, решта порожнечі виробленого простору зайнята осілими породами покрівлі. Підняття надробленої товщі, яке зареєстроване за допомогою нівелювання кінцівок тяг від глибинних реперів на глибині 915 м в умовах шахти ім. Поченкова (рис. 5), склало 35 см, що задовільно узгоджується з отриманими в моделі 17.

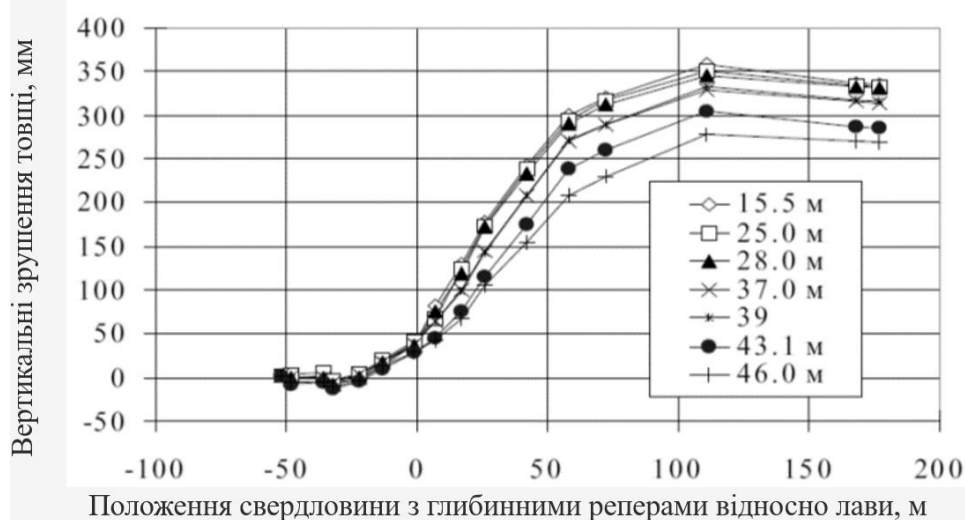


Рисунок 5. Динаміка зрушень надробленої товщі по мірі посування лави

Довжина зони статичного опорного тиску (ОД) на глибині 1000 м згідно з Інструкцією з безпечного ведення гірничих робіт 16 становить 80–90 м при потужності пласта в діапазоні 1,5–2 м, і 90–105 м згідно Вказівок 9 при міцності вміщуючих порід 40–50 МПа. Нагадаємо, що довжина зони ОД відбивається на підставі вимірів конвергенції на контурі виїмкових виробок попереду лави. Довжина зони динамічного ОД у середній частині лави досягає 180 м (рис. 6), його максимум досягає 63 МПа, уздовж штреків вона становить 90 м. Отже похибка моделювання не перевищує 6% (табл. 1). Довжина

статичного опорного тиску напроти бічних границь виробленого простору становить 112 м. При цьому виникає зона віджиму, а концентрація падає до 51 МПа. Іншими словами, позаду зони активних зрушень зона ОД розмазується на більшу відстань, а концентрація опорного тиску падає.

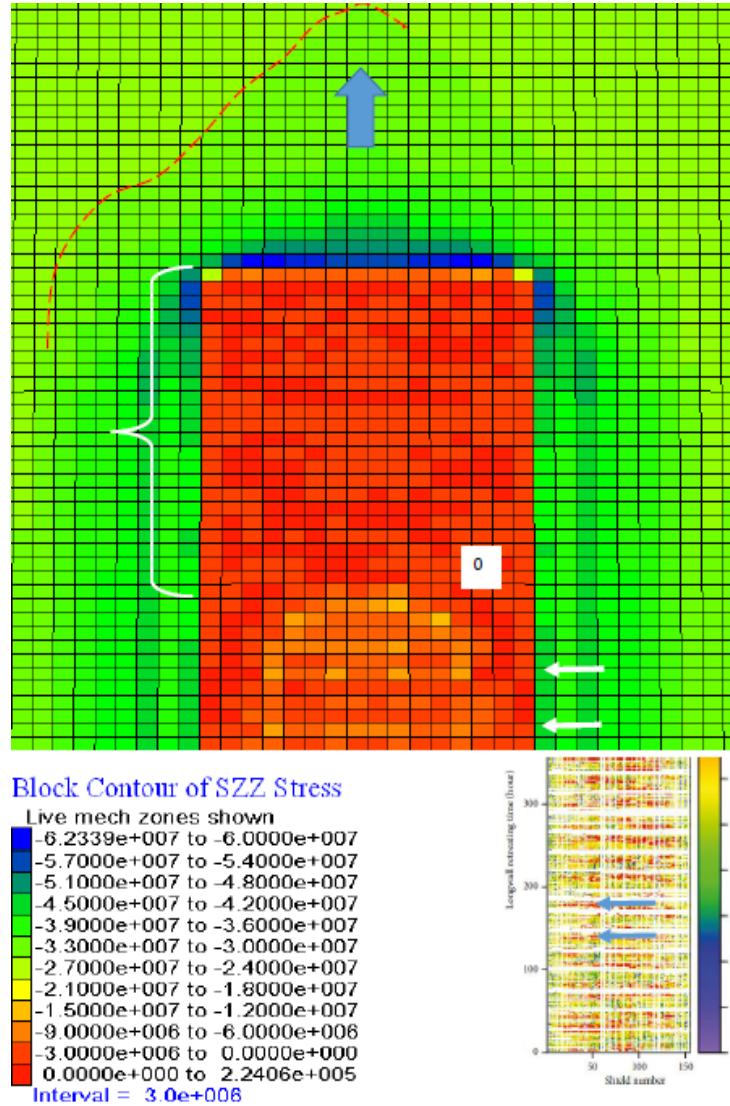


Рисунок 6. Динаміка перерозподілу вертикальної компоненти гірського тиску навколо одиночної лави

Таблиця 1. Порівняння розрахункової довжини зони опорного тиску (м) з такими, що наводяться у нормативних документах

Згідно Вказівок 9, м	Згідно Інструкції 16, м	Отримано в моделі, м	Похибка, %
90–105	80–90	90	5–6

Відзначимо також, що в процесі моделювання концентрація динамічного опорного тиску періодично змінюється, що обумовлено зависанням і обваленням основної покрівлі. Крок обвалення покрівлі у моделі відмічений світлими стрілками й становить 35 м (рис. 6). Аналогічний крок вказано темними стрілками на розподілі середньої величини відпору секцій механізованого кріплення у очисному виб'ї 18 на нижньому правому фрагменті рис. 6. Там величина кроку обвалення коливалась у межах 25–42 м, які перекривають результати нашої моделі. Це підтверджує правильність настройки параметрів моделі.

Довжина зони активних зрушень позаду лави не перевищує 240 м (помічено світлою фігурною стрілкою), що також задовільно узгоджується з Нормативними документами, а також результатами інструментальних спостережень за стійкістю виїмкових штреків позаду діючої 14-ї північної лави в умовах блоку 11 ш/у Покровське.

Таким чином параметри моделі налаштовані адекватно для того, щоб вирішити поставлене завдання, а саме: дослідити закономірності перерозподілу гірського тиску навколо розвантаженої зони на рівні пласта ± 25 м, тобто в діапазоні можливого розташування основних уклонів блоку 11 у процесі розвитку очисних робіт блоку 11.

5. ВИСНОВКИ

Для дослідження планування розвитку гірничих робіт у межах блоку 11 й параметрів розвантаженої від гірського тиску зони для охорони основних похилих виробок обґрунтована комплексна геомеханічна модель, яка базується на методі скінчених елементів й кінцевих різниць. Глибина робіт прийнята рівною 1100 м. Розмір розрахункової області в плані становить за простяганням 2048 м, за падінням 1280 м, що дозволило розташувати по обидві сторони від розвантаженої від гірського тиску зони по чотири повноцінні лави довжиною по 256 м й дало можливість змоделювати умови повної підробки земної поверхні і таким чином оцінити максимально можливі прояви гірського тиску під час розвитку очисних робіт.

Розрахункова схема розбита більш ніж на 60 тис. зон. Лава представлена 26 зонами (елементами), що цілком достатньо для отримання достовірного розподілу гірського тиску в межах розвантаженої зони. Мінімальний крок розбивки вугільного пласта у плані, а також безпосередніх шарів покрівлі та ґрунту становить 10–15 м, що дозволяє просувати з таким же кроком й очисні виб'ї. Оскільки такий крок менше кроку посадки основної покрівлі, це дозволяє змоделювати й динаміку обвалення порід у процесі відпрацювання лав.

Процес обвалення порід та переходу їх у позамежний стан визначався на основі спеціально розробленої комбінованої моделі Мора-Кулона з елементами емпіричної моделі Хоука-Брауна. Зокрема враховувалось зменшення межі міцності на розтягнення порід після їх руйнування. У якості вхідних даних застосовувались модуль об'ємного стискування, модуль зсуву, зчеплення, кут внутрішнього тертя, межа міцності порід на розтягнення, а також кут дилатансії порід після їх переходу у позамежний стан.

Модель прошла ретельну перевірку шляхом співставлення розподілів осідань земної поверхні з такими, що визначені згідно нормативних Правил, та порівняння параметрів зон динамічного та залишкового опорного тиску з рекомендованими у нормативних Вказівках та Інструкції з безпечного ведення гірничих робіт.

Також підняття надробленої товщі у моделі узгоджується з таким, що зафіксоване інструментальними спостереженнями за допомогою глибинних реперів в умовах глибокої шахти. До того ж крок періодичного обвалення покрівлі у моделі задовільно співпадає з тим, що визначений у шахтних умовах за допомогою моніторингу усередненого опору секцій механізованого кріплення.

Отже параметри моделі налаштовані адекватно для того, щоб детально дослідити закономірності перерозподілу гірського тиску навколо розвантаженої зони у діапазоні можливого розташування основних уклонів блоку 11 у процесі розвитку очисних робіт блоку 11.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Solodyankin, O.V., Hryhoriev, O.Y., Dudka, I.V., Mashurka, S.V. (2017) *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 19–27.
2. Зоря Н.М., Музафаров Ф.И. (1966). Схема механизма сдвижения толщи пород при выемке пологих пластов угля одиночной лавой. *Уголь Украины*, (12), 9–12
3. Рудько Г.І. (2011). *Геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин*. – К.: Вид-во «АДЕФ – Україна». 384с.
4. Bouzeran L. et al. (2017). Eighth International Conference on Deep and High Stress Mining –J Wesseloo (ed.) *Australian Centre for Geomechanics*, Perth, 667–680, doi:10.36487/ACG_rep/1704_45_Bouzeran
5. Bai Q. et al. (2017). *International Journal of Coal Geology*, 173, 176–199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2017.02.015>
6. Zhang N.C. et al. (2015). *Int. J. Min. Reclam. Environ.* doi:10.1080/17480930.2015.1024814.
7. Kang, H. (2014). Support technologies for deep and complex roadways in underground coal mines: a review. *International Journal of Coal Sciences Technology*, 1(3), 261–277. doi 10.1007/s40789-014-0043-0
8. Lubosik, Z., Prusek, S., Wrana, A., & Walentek, A. (2015). Underground Measurement of Gateroad Stability at the Depth Around 1000m. 34th International Conference on Ground Control in Mining. Morgantown, WVU.
9. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л. ВНИМИ, 1986.
10. FLAC3D Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions. Itasca Consulting Group, Inc. Version 3.10.F. (2008)
11. Зборщик М.П., Назимко В.В. (1991) *Охрана выработок глубоких шахт в зонах разгрузки: Монография*. К.: Техника, 248 с.
12. Nazimko V.V., Peng S.S., Lapteev A.A., Alexandrov S.N., Sazhnev V.P. (1997) Damage mechanics around a tunnel due to incremental ground pressure. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.* (Vol. 34, No. 3–4). ISSN 0148-9062, Paper No. 222
13. Nazimko V.V., Babenko K.V. (2011) *Proceedings of the 2nd International FLAC/DEM Symposium*. February, 14–16, Melbourne, Australia.-Pp.85 92 Use of FLAC3D for mining induced seismicity prediction

14. ГСТУ 101.00159226.001 – 2003. (2004) Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. – Вид. офіц. – Мінпаливенерго України, 128 с.

15. Захарова, Л.М. (2017). *Фізичні основи еволюції дисипативних структур під час незворотного деформування масиву гірничих порід*. Lambert Academic Publishing: Saarbrücken, 245 с.

16. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа. М. 1989.

17. Назимко В.В., Кузяра С.В. Механизм формирования целика лавами по смежным пластам. *Уголь Украины*.

18. Prasad. M V. N. S., et al. (2020). An Algorithm for Evaluation of Mining Cycle Parameters and Analysis of Periodic Roof Weighting Using Monitored Longwall Shield Pressures and Shearer Location. *Mining, Metallurgy & Exploration*. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00361-z>

REFERENCES

1. Solodyankin, O.V., Hryhoriev. O.Y., Dudka. I.V., Mashurka, S.V. (2017) *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 19–27.

2. Zorya N.M., Muzafarov F.I. (1966). Skhema mekhanizma sdvizheniya tolshchi porod pri vuyemke pologikh plastov uгля odinochnoy lavoy. *Ugol' Ukrainy*, (12), 9–12

3. Rud'ko H.I. (2011). *Heoloho-ekonomichna otsinka rodovyshch korysnykh kopalyn*. – K.: Vyd-vo «ADEF – Ukrayina». 384p.

4. Bouzeran L. et a. (2017). Eighth International Conference on Deep and High Stress Mining –J Wesseloo (ed.) *Australian Centre for Geomechanics*, Perth, 667–680, doi:10.36487/ACG_rep/1704_45_Bouzeran

5. Bai Q. et al. (2017) *International Journal of Coal Geology*, 173, 176–199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2017.02.015>

6. Zhang N.C. et al. (2015). *Int. J. Min. Reclam. Environ.* <https://doi:10.1080/17480930.2015.1024814>.

7. Kang, H. (2014). Support technologies for deep and complex roadways in underground coal mines: a review. *International Journal of Coal Sciences Technology*, 1(3), 261–277. <https://doi 10.1007/s40789-014-0043-0>

8. Lubosik, Z., Prusek, S., Wrana, A., & Walentek, A. (2015). Underground Measurement of Gateroad Stability at the Depth Around 1000m. 34th International Conference on Ground Control in Mining. Morgantown, WVU.

9. Ukazaniya po ratsional'nomu rasplozheniyu, okhrane i podderzhaniyu gornykh vyrabotok na ugol'nykh shakhtakh SSSR. – L. VNIMI, 1986.

10. FLAC3D Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions. Itasca Consulting Group, Inc. Version 3.10.F. (2008)

11. Zborshik M.P., Nazimko V.V. (1991). *Okhrana vyrabotok glubokikh shakht v zonakh razgruzki: Monografiya*. K.: Tekhnika, 248 s

12. Nazimko V.V., Peng S.S., Lapteev A.A., Alexandrov S.N., Sazhnev V.P. (1997) Damage mechanics around a tunnel due to incremental ground pressure. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.* (Vol. 34, No. 3–4). ISSN 0148-9062, Paper No. 222

13. Nazimko V.V., Babenko K.V. (2011) *Proceedings of the 2nd International FLAC/DEM Symposium*. February, 14–16, Melbourne, Australia.-Pp.85-92 Use of FLAC3D for mining induced seismicity prediction

14. HSTU 101.00159226.001 – 2003. (2004) Pravyly pidrobky budivel', sporud i pryrodnykh ob'yektiv pry vydobuvanni vuhillya pidzemnym sposobom. – Vyd. ofits. – Minpalyvenerho Ukrayiny, 128 p.

15. Zakharova, L.M. (2017). *Fizychni osnovy evolyutsiyi dysypatyvnykh struktur pid chas nezvorotnoho deformuvannya masyvu hirs'kykh porid*. Lambert Academic Publishing: Saarbrücken. – 245 c.

16. Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornykh robot na plastakh, opasnykh po vnezapnym vybrosam uglya, porody i gaza. M. 1989.

17. Nazimko V.V., Kuzyara S.V. Mekhanizm formirovaniya tselika lavami po smezhnym plastam. *Ugol' Ukrainy*

18. Prasad. M V. N. S., et al. (2020). An Algorithm for Evaluation of Mining Cycle Parameters and Analysis of Periodic Roof Weighting Using Monitored Longwall Shield Pressures and Shearer Location. *Mining, Metallurgy & Exploration*. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00361-z>

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Оцінка перерозподілу гірського тиску навколо робочого пласта.

Методи. Під час виконання проекту планувальних гірничих робіт використовували дані шахтних інструментальних спостережень зрушень навколо підготовчих виробок за допомогою контурних та глибинних реперів, моніторингу динаміки зростання тиску обвалених порід та підробленої товщі на підшову відпрацьованого вугільного пласта й кінцевих різниць.

Результати. Обґрунтована комплексна модель для аналізу планування гірничих робіт й визначення раціональних параметрів охорони основних підготовчих виробок у розвантажених від гірського тиску зонах. Вибрана допоміжна модель для дослідження поведінки гірничого масиву після його переходу у позамежний напружено-деформований стан. Уточнені параметри моделі, які дають можливість врахування фізичного контакту між осідаючою покрівлею й підшовою пласта, яка здимається у процесі його відпрацювання. Здійснена калібровка й тестування моделі за результатами шахтних інструментальних спостережень необоротних зрушень масиву гірничих порід.

Практичні результати. Для моделювання розвитку очисних робіт у межах блоку 11 згідно прийнятого планувального рішення була розроблена розрахункова схема, яка дала можливість змодельовати умови повної підробки земної поверхні і, таким чином, оцінити максимально можливі прояви гірського тиску під час розвитку очисних робіт.

Ключові слова: планування розвитку гірничих робіт, гірський тиск, розвантажена зона, охорона виробок, геомеханічна модель

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Оценка перераспределения горного давления вокруг рабочего пласта.

Методы. В ходе проекта плановых горных работ использовались данные шахтных инструментальных наблюдений сдвигов вокруг подготовительных выработок с помощью контурных и глубинных реперов, мониторинга динамики роста давления обрушившихся пород и подработанной толще на подошву отработанного пласта и конечных разностей.

Результаты. Обоснована комплексная модель для анализа планирования горных работ и определения рациональных параметров охраны основных подготовительных выработок в разгруженных от горного давления зонах.

Выбрана вспомогательная модель для исследования поведения горного массива после его перехода в запредельное напряженно-деформированное состояние. Уточнены параметры модели, которые дают возможность учета физического контакта между оседающей кровлей и подошвой пласта, которая вздувается в процессе его отработки. Осуществлены калибровка и тестирование модели по результатам шахтных инструментальных наблюдений необратимых сдвигов массива горных пород.

Практические результаты. Для моделирования развития очистных работ в пределах блока 11 согласно принятого планированного решения была разработана расчетная схема, которая позволила смоделировать условия полной подработки земной поверхности и, таким образом, оценить максимально возможные проявления горного давления во время очистных работ.

Ключови слова: планирование развития горных работ, горное давление, разгруженная зона, охрана выработок, геомеханическая модель

ABOUT AUTHORS

Yanzhula Oleksii, Candidate of Technical Sciences, director of technical development and investment, PJSC «Donetsksteel», 2 Shibankova Street, Pokrovsk, Ukraine, 85300.

Golovin Mykhailo, Chief Technologist, PJSC «Donetsksteel», 2 Shibankova Street, Pokrovsk, Ukraine, 85300.

Pidhurna Olga, technologist, PJSC «Donetsksteel», 2 Shibankova Street, Pokrovsk, Ukraine, 85300

Nazimko Viktor, Doctor of Technical Science, Professor, Chief Research Fellow, Institute for Physics of Mining Processes of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600. E-mail: victor.nazimko@gmail.com

Zakharova Ludmila, Doctor of Technical Science, Senior Researcher, Institute for Physics of Mining Processes of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600. E-mail: mila2017ma@gmail.com

Kusen Oleksiy, Candidate of Technical Sciences, Junior Researcher, Institute for Physics of Mining Processes of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600.