

## Comparative forecast of the convergence of lateral rocks in the longwall taking into account hydrodynamic load in the area of primary caving of the main roof

Sergii Vlasov<sup>1\*</sup>, Yevhen Moldavanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

\*Corresponding author: [vlasov.s.f@nmu.one](mailto:vlasov.s.f@nmu.one)

**Abstract.** The article represents the results of modelling the gradual stope movement within a layered transversely isotropic rock mass containing waterlogged layers of roof rocks. The forecast was made within the section from the installation chamber for the displacement value up to 50 meters, with a spacing of 5 meters in eleven stages. Also, as a result of numerical calculation, a pattern of the stress-strain state around the moving stope was obtained. The simulation was performed in order to compare the magnitude of convergence, taking into account both the available and non-available hydrodynamic load. In terms of the development of coal seam C<sub>6</sub> of Stepova mine, Pershotravneve Colliery Group, DTEK Pavlogradvuhillia PJSC, regularities of the distribution of lateral rock convergence in the longwall were specified depending on the present waterlogged coal layer being 0.53 m thick and occurring at the distance of 11.2 higher than the roof of the seam under development. The revealed regularities of the changes in convergence value will make it possible to predict the probable zones of rigid settlement of the powered support units along the longwall length at any stope position along the simulated area. The analysis of the results of numerical modelling will help take into account a factor of hydraulic load and optimize the parameters of coal seam development under complicated conditions of the Western Donbas mines.

**Keywords:** coal seam, hydrodynamic load, landing «on a hard base», layer collectors, longwall, sections of mechanized fastening, waterproof rocks

## Порівняльний прогноз конвергенції бічних порід у лаві з урахуванням гідродинамічного навантаження в зоні первинної посадки основної покрівлі

Сергій Власов<sup>1\*</sup>, Євген Молдаванов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

\*Відповідальний автор: [vlasov.s.f@nmu.one](mailto:vlasov.s.f@nmu.one)

**Анотація.** У статті наведено результати моделювання поетапного переміщення очисного вибою в шаруватому трансверсально-ізотропному гірському масиві, що вміщує обводнені шари порід покрівлі. Прогноз виконано на ділянці від монтажної камери на величину відходу до 50 м, з кроком 5 м в одинадцять етапів. Також в результаті чисельного розрахунку отримано картину напружено-деформованого стану навколо очисної виробки, яка рухається. Моделювання проводилось з метою порівняння величини конвергенції як з урахуванням гідродинамічного навантаження, так і за його відсутності. В умовах відробки вугільного пласта С<sub>6</sub> шахти «Степова» ШУ «Першотравневе» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» встановлено закономірності характеру розподілу величини конвергенції бічних порід у лаві залежно від наявності обводненого вугільного прошарку потужністю 0,53 м, який залягає на відстані 11,2 м вище покрівлі розроблюваного пласта. Виявлені закономірності зміни величини конвергенції дозволять спрогнозувати ймовірні зони посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» за довжиною лави в будь-який момент положення очисного вибою уздовж модельованої ділянки. Аналіз результатів чисельного моделювання дозволить у подальшому врахувати чинник гідралічного навантаження та оптимізувати параметри відпрацювання вугільних пластів у складних умовах шахт Західного Донбасу.

**Ключові слова:** водостійкі породи, вугільний пласт, гідродинамічне навантаження, лава, посадка «на жорстку базу», секції механізованого кріплення, породи-колектори

## 1. Вступ

У сучасних умовах вугільної галузі лишається невирішеною проблема оптимізації параметрів очисного виймання. Зокрема це стосується управління станом порід покрівель з урахуванням наявності в них водонасичених шарів гірських порід. В результаті закриття шахт відбувається дренаж підземних вод до діючих поблизу вугледобувних підприємств. Так, наприклад, у 2024 році планується завершення роботи шахти «Ювілейна» ШУ «Першотравневе» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Це призведе до збільшення водопритоку у водовмісні шари гірських порід та появи гідралічного навантаження на секції механізованого кріплення в умовах шахти «Степова» однойменного шахтоуправління. З метою попередження негативних наслідків було проведено геомеханічний прогноз.

Питанням прогнозного моделювання напружено-деформованого стану шаруватого породного масиву присвячена робота [1], де було розкрито механізм посадки «на жорстку базу» секцій механізованого кріплення та встановлено залежність його характеру від величини гідралічного навантаження та положення навантажених поверхонь розшарування відносно очисного вибою. В роботі [2] наведено аналіз шахтних спостережень та вимірювання формування навантаження на механізоване кріплення очисного комплексу ІМКД-80 в умовах відпрацювання вугільного пласта у тонкошаруватому обводненому масиві слабких порід. Групою науковців [3] розглянуто питання відпрацювання запасів вугілля по пласту С<sub>5</sub> у «шахматному порядку – через виїмкову ділянку» в умовах ШМ «Самарська» ВСП «Шахтоуправління Тернівське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» в умовах підвищеної обводненості. Дослідниками [4] представлено дослідження закономірностей зміни величини конвергенції бічних порід уздовж посадкового ряду стояків механізованого кріплення залежно від наявності пісковиків у покрівлі, глибини розробки, довжини лави, а також його положення за довжиною виїмкового стовпа на підставі результатів виконання чисельних експериментів. Вченими [5] виконано чисельний аналіз вивчення проблеми підвищення стійкості очисного вибою. Зокрема виявлено закономірності зв'язку між раціональними режимами роботи гірничого кріплення та основними геомеханічними факторами, які суттєво впливають на його навантаження та взаємодію. В роботі [6] представлено дослідження конвергенції в лаві та розвитку тиску в гідралічних стояках механізованого кріплення до та після руйнування основної покрівлі з урахуванням різної потужності, довжини її звисання позаду кріплення та типу гірських порід. Науковцями з Китаю [7] наведено результати чисельного дослідження стійкості очисного вибою, а також характеристик динамічного розвитку вертикальних напружень та пластичного стану гірського масиву, в результаті якого було визначено, що з переходом із пружного стану в пластичний відбулися великі деформації та руйнування. Для забезпечення безпечної роботи вибою було запропоновано комбіновану технологію управління покрівлею. Дослідниками у роботі [8] було досліджено поступову еволюцію напруженості, спричиненої видобутком вугілля. Аналіз результатів показав, що траєкторії основних напружень мають дугоподібну форму. В експерименті було досягнуто високої точності між польовими спостереженнями та результатами фізичної моделі, що вказує на те, що фізична модель зафіксувала реалістичну реакцію верхніх шарів. Вченими [9] на базі чисельного моделювання, а також польових спостережень було досліджено еволюцію напружень гірського масиву вище покрівлі пласта і зроблено висновок про те, що процес відновлення напружень після посадки основної покрівлі має характер періодичного ступінчастого наростання, а покрівля над виробленим простором руйнується пошарово. У роботі [10] було проведено масштабний тривимірний експеримент з фізичною моделлю подібності, а також чисельне моделювання для

перевірки надійності фізичної моделі, де досліджувались характеристики полів деформації та руйнування гірського масиву, викликані очисним вийманням вугільного пласта.

У вищезазначених роботах авторами не виконано порівняння величини конвергенції як з урахуванням гідравлічного навантаження, так і за його відсутності. Саме цьому аспекту і присвячено наше дослідження.

## 2. Методика проведення досліджень

Для вирішення задачі прогнозу поведінки гідравлічно навантажених породних шарів покрівель, характерних для умов Західного Донбасу, доцільним є застосування програмного середовища SolidWorks 2019.

Застосування чисельних моделей дозволило оцінити умови формування гідравлічно перевантажених зон у межах підроблених очисним вийманням шаруватих породних масивів і розкрити механізм осідання на жорстку основу механізованих кріплень з потужними технічними характеристиками [1].

З урахуванням результатів попередніх досліджень було виконано прогноз конвергенції бічних порід в лаві для гірничо-геологічних умов відпрацювання вугільного пласта С<sub>6</sub> 155-ї лави шахти «Степова» ШУ «Першотравневе» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

Вибір досліджуваного об'єкта обумовлений закриттям шахти «Ювілейна» ШУ «Першотравневе» у 2024 році, яка знаходиться поряд та з якої очікується приплив води через породи-колектори.

Чисельна модель породного масиву, що вміщує вугільний пласт, представлена неоднорідно-шаруватим трансверсально-ізотропним середовищем.

Фізико-механічні властивості літологічних різностей породного масиву комп'ютерної моделі встановлені за даними геологічного прогнозу виїмкової ділянки шахтного поля і характеризуються наступними величинами (табл.1).

Таблиця 1. Задання фізико-механічних властивостей в моделі

Характеристика	Вугілля	Алевроліт	Аргіліт	Пісковик
Модуль пружності $E_1$ , ГПа	5,57	2,81	2,86	3,66
Модуль пружності $E_2$ , ГПа	4,57	1,43	1,14	2,93
Модуль пружності $E_3$ , ГПа	5,57	2,81	2,86	3,66
Коефіцієнт Пуассона $\mu_{12}$	0,25	0,28	0,23	0,29
Коефіцієнт Пуассона $\mu_{21}$	0,21	0,14	0,09	0,23
Коефіцієнт Пуассона $\mu_{31}$	0,27	0,25	0,21	0,26
Модуль зсуву $G_{13}$ , ГПа	2,31	1,23	1,31	1,48
Модуль зсуву $G_{21}$ , ГПа	2,05	0,80	0,72	1,29
Модуль зсуву $G_{32}$ , ГПа	2,05	0,80	0,72	1,29
Межа міцності на стиск $\sigma_{ct1}$ , МПа	27,00	21,00	17,00	23,00
Межа міцності на стиск $\sigma_{ct2}$ , МПа	35,00	52,00	35,00	51,00
Межа міцності на розтяг $\sigma_{ct1}$ , МПа	6,40	4,20	3,20	5,00
Межа міцності на розтяг $\sigma_{ct2}$ , МПа	4,00	2,00	1,50	3,00
Межа міцності на зсув $\sigma_{sc13}$ , МПа	6,57	4,70	3,69	5,09
Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1320	2510	2370	2600

Дослідження величини гідравлічного навантаження в межах виїмкової ділянки полягало у визначенні вертикальних переміщень безпосередньої покрівлі в межах посадкового ряду гідростояків механізованого кріплення [1]. Гідравлічне навантаження в зоні розшарування контактів між колектором та водостійкими породами було прийнято за величину напору в буцакському водоносному горизонті, який для умов шахти «Степова» становив близько 80,0 м.

Значення глибини розробки, довжини лави, виймана потужність пласта, тип механізованого кріплення, тип кріплення підготовчих виробок, а також відстань

задання гідравлічного навантаження вище покрівлі пласта відповідали умовам шахти «Степова» ШУ «Першотравневє» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Величина відходу приймалася з урахуванням суми величин первинного, а також подальшого кроку посадки основної покрівлі, які характерні для умов розробки пласта С<sub>6</sub> шахти «Степова» (табл. 2). Вихідні дані для проведення прогнозу наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Вихідні дані для проведення прогнозу

Параметр	Значення
Глибина розробки, м	521
Довжина лави, м	300
Максимальний відхід лави, м	50
Крок відходу лави, м	5
Виймана потужність пласта, м	1,05
Довжина моделі в напрямку посування лави, м	571
Висота моделі вище покрівлі пласта, м	100
Висота моделі нижче покрівлі пласта, м	50
Відстань задання гідравлічного навантаження вище покрівлі пласта, м	11,2
Величина задання гідравлічного навантаження, кПа	0; 800
Величина задання гірського тиску на вершину моделі, Н/м <sup>2</sup>	10002000
Урахування сили тяжіння, м/с <sup>2</sup>	9,81
Тип механізованого кріплення	КД-80
Тип кріплення підготовчої виробки	КШПУ-14,4
Кількість виконаних прогнозів	22

Геометричні параметри моделі залежать, перш за все, від розмірів зони впливу очисних робіт на масив гірських порід. Для правильного визначення цих параметрів необхідно застосувати нормативно-правові документи, що регламентують порядок визначення цієї зони. На цей час в Україні юридичну силу мають «Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом» [11], [12], згідно з якими межі впливу очисної виробки на земну поверхню (мульди зрушення) визначаються граничними кутами [13].

Керуючись [11], [12] було визначено геометричні розміри моделі в плані. Вертикальні розміри моделі приймалися за умови моделювання всієї товщі гірських порід, які безпосередньо брали участь у формуванні НДС гірського масиву навколо очисної виробки, тобто всіх літологічних різниць від пласта до земної поверхні і не менше 50-кратної потужності вийманого шару вглиб підстиляючого вугільний пласт масиву. Згідно [11], [12] зона впливу очисної виробки на породи підосви пласта розповсюджується не більше ніж 50 вийманих потужностей [13].

Для спрощення математичних розрахунків було прийнято рішення зменшити висоту моделі вище покрівлі пласта до 100 м з міркувань незначного відходу очисного вибою від монтажною камери (0 – 50 м), по друге, – в роботі не ставиться за мету дослідження напружено-деформованого стану на усю глибину, від земної поверхні до безпосередньої покрівлі [13].

Для спрощення математичної обробки і дискретизації модельованої області гірського масиву як об'ємної геометричної фігури, в яку необхідно вкласти досліджувану область, було вибрано форму циліндра [13].

З огляду на те, що модель мала одну площину симетрії, яка проходила нормально до середини очисного вибою, математичний розрахунок проводився тільки для однієї симетричної частини, а також дотримувалися необхідні граничні умови на крайових частинах моделі на площині симетрії [13].

Потужність шару порід, яку спростили, було замінено на прикладене навантаження залежно від глибини розробки [14], що розраховується за формулою:

$$\sigma = \gamma \cdot H, \text{ МПа}, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – питома вага гірських порід,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;  $H$  – глибина розробки, м.

Для врахування верхніх шарів гірських порід прикладене навантаження в умовах глибини розробки 471 м склало  $10002000 \text{ Н/м}^2$ .

### 3. Результати та обговорення

Результати проведення порівняльного прогнозу наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Результати проведення порівняльного прогнозу величини конвергенції бічних порід

№ прогнозу	Відхід лави від монтажної камери, м	Гідравлічне навантаження, кПа	Величина конвергенції, мм		Зона посадки, метрів/кількість секцій
			Min	Max	
1	0	0	273,5	379,8	-
2		800	297,0	404,5	-
3	5	0	340,2 ↑	391,0 ↑	-
4		800	364,2 ↑	416,5 ↑	-
5	10	0	371,2 ↑	417,2 ↑	-
6		800	395,0 ↑	440,7 ↑	-
7	15	0	381,9 ↑	429,5 ↑	-
8		800	406,3 ↑	453,9 ↑	4/4
9	20	0	399,5 ↑	449,8 ↑	-
10		800	425,0 ↑	475,4 ↑	65/48
11	25	0	410,1 ↑	450,0 ↑	-
12		800	436,4 ↑	489,0 ↑	125/94
13	30	Відбудеться первинна посадка основної покрівлі на відстані 30 м від монтажної камери!			
		0	309,2 ↓	431,0 ↓	-
14	35	800	334,9 ↓	459,0 ↓	19/14
15		0	316,1 ↑	445,0 ↑	-
16	40	800	342,1 ↑	474,0 ↑	35/26
17		0	389,8 ↑	447,0 ↑	-
18	45	800	416,8 ↑	475,9 ↑	34/24
19		0	391,0 ↑	450,0 ↑	-
20	50	800	421,0 ↑	480,0 ↑	42/32
21		Відбудеться вторинна посадка основної покрівлі на відстані 50 м від монтажної камери! Початок зони встановленого кроку посадки! Подальші посадки передбачаються з кроком 20 м!			
		0	369,0 ↓	434,0 ↓	-
22	55	800	398,0 ↓	465,2 ↓	22/16

Згідно табл. 3 величина конвергенції з посуванням лави від монтажної камери неухильно зростає до моменту величини відходу – 30 м.

На кожні 5 м максимальна величина конвергенції без урахування гідравлічного навантаження в середньому збільшується на 11,7 мм, а з урахуванням гідравлічного навантаження – на 14,08 мм.

У момент відходу лави на відстань 30 м від монтажної камери відбулася первинна посадка основної покрівлі. Це призвело до зменшення конвергенції бічних порід на 19 мм в умовах відсутності гідравлічного навантаження, та на 30 мм з урахуванням гідравлічного навантаження.

В умовах гідравлічного навантаження, на відміну від її відсутності величина конвергенції бічних порід збільшується на 24,7 – 31,2 мм, що провокує посадку секцій механізованого кріплення «на жорстку базу», починаючи з відстані відходу 15 м від монтажної камери.

Посадка секцій кріплення «на жорстку базу» з урахуванням гідравлічного навантаження спостерігається систематично. Зі збільшенням відстані відходу від монтажної камери збільшується кількість секцій, які зазнали аварії, від 4 до 94

одиниць. В середньому на кожні 5 м кількість секцій, які зазнали аварії, збільшується на 45 одиниць.

Розглянемо детальніше характер розподілу величини конвергенції бічних порід в момент відходу 25 м від монтажно́ї камери та порівняємо його з урахуванням гідравлічного навантаження (рис. 1).



Рисунок 1. Порівняння величин конвергенції бічних порід в умовах відходу 25 м від монтажно́ї камери як з урахуванням гідравлічного навантаження, так і за його відсутності

Аналізуючи рис. 1 можна стверджувати, що зони максимальної конвергенції як з урахуванням гідравлічного навантаження, так і за його відсутності знаходяться в середній частині лави та на її сполученнях – там, де є розвантаження гірського масиву та непружні деформації у бічних зонах опорного гірського тиску.

При появі гідравлічного навантаження величина максимальної конвергенції збільшується на 8,6% або на 39 мм, що призводить до посадки 94 одиниць секцій кріплення «на жорстку базу». На сполученнях довжиною по 30 м з кожного боку та в середній частині лави – на довжину 64 м.

Також у роботі отримано характер розподілу напружено-деформованого стану гірського масиву навколо очисної виробки, який наведено на рис. 2.

З рисунку 2,а видно, що діапазон величин напружень гірського масиву навколо очисної виробки без урахування гідравлічного навантаження коливається в межах від 272,8 МН/м<sup>2</sup> у безпосередній покрівлі позаду секцій до 89970,0 МН/м<sup>2</sup>, які містяться у вугільному пласті.

З рисунку 2,б можна зробити висновок, що величина напружень гірського масиву з урахуванням гідравлічного навантаження збільшилась на 1,4 – 6,6% і коливається від 276,6 МН/м<sup>2</sup> до 95950,0 МН/м<sup>2</sup> аналогічно у тих же місцях, що і на рис. 2, а.

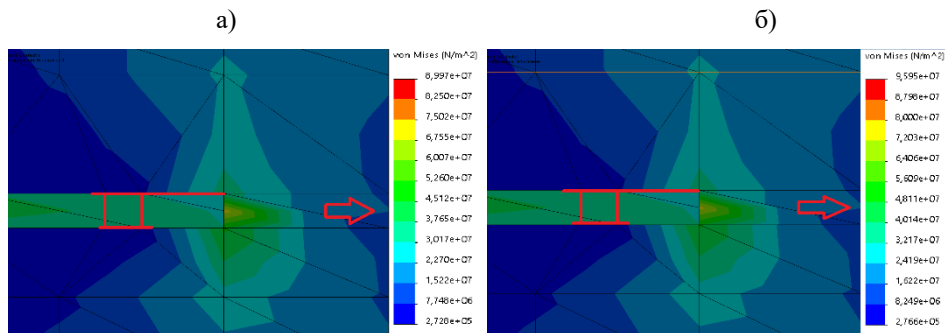
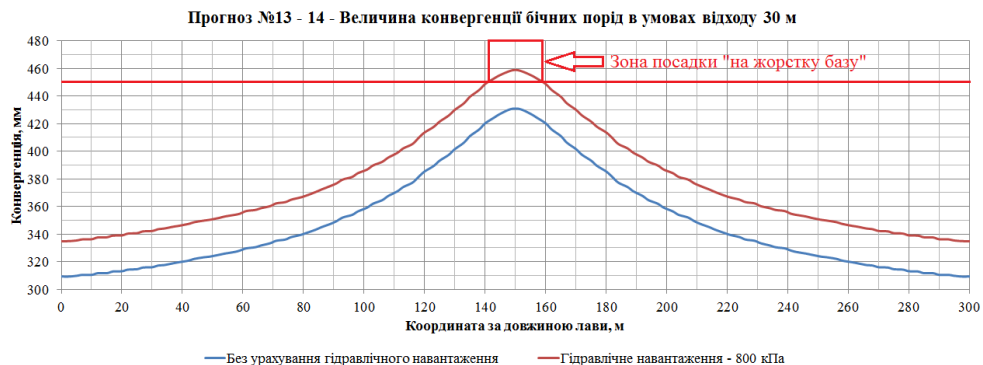


Рисунок 2. Характер напружено-деформованого стану гірського масиву для умов відстані відходу 25 м: а – без урахування гідравлічного навантаження; б – з урахуванням гідравлічного навантаження

Далі розглянемо характер розподілу величини конвергенції бічних порід в момент первинної посадки основної покрівлі на відстані 30 м від монтажно́ї камери та порівняємо ці величини з урахуванням гідравлічного навантаження (рис. 3).

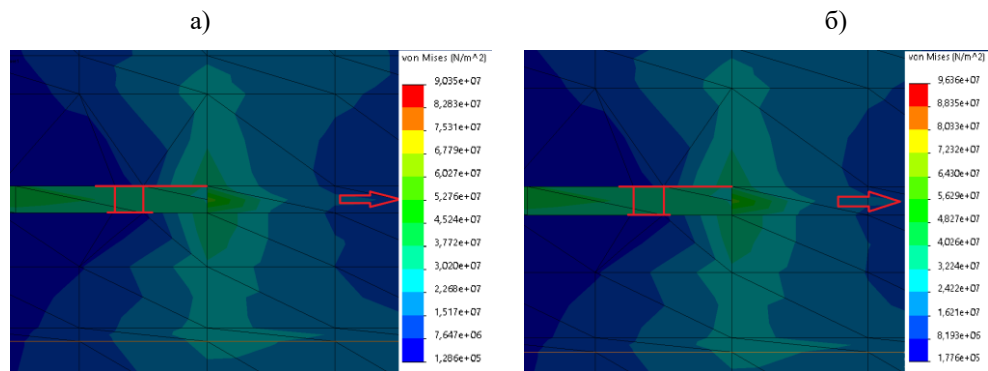


*Рисунок 3. Порівняння величин конвергенції бічних порід в умовах відстані відходу лави на 30 м від монтажно́ї камери як з урахуванням гідравлічного навантаження, так і за його відсутності*

Аналізуючи рис. 3 можна стверджувати, що зони максимальної конвергенції як з урахуванням гідравлічного навантаження, так і за його відсутності знаходяться в середній частині лави. Різниця між цими величинами становить 30 мм. Величина конвергенції в середній частині у порівнянні з величиною відходу знизилась на 5,0 – 10,0 мм, що свідчить про первинну посадку основної покрівлі та розвантаження секцій механізованого кріплення. На сполученнях зі штреками у порівнянні з відстанню відходу 25 м величина конвергенції знизилась на 140,8 – 154,1 мм, що свідчить про посадку основної покрівлі та релаксацію напружень у гірському масиві в цій зоні.

При появі гідравлічного навантаження величина максимальної конвергенції збільшується на 6,9% або на 30 мм, що призводить до посадки 14 одиниць секцій кріплення «на жорстку базу».

Також для умов відстані відходу 30 м отримано характер розподілу напружено-деформованого стану гірського масиву навколо очисної виробки, який наведено на рис. 4.



*Рисунок 4. Характер напружено-деформованого стану гірського масиву для умов відстані відходу 30 м: а – без урахування гідравлічного навантаження; б – з урахуванням гідравлічного навантаження*

З рисунку 4,а видно, що діапазон величин напружень гірського масиву навколо очисної виробки без урахування гідравлічного навантаження коливається в межах від

128,6 МН/м<sup>2</sup> у безпосередній покрівлі позаду секцій до 90350,0 МН/м<sup>2</sup>, які містяться у вугільному пласті.

З рисунку 4,б можна зробити висновок, що величина напружень гірського масиву з урахуванням гідравлічного навантаження збільшилась на 6,6 – 38,1% і коливається від 177,6 МН/м<sup>2</sup> до 96360,0 МН/м<sup>2</sup> аналогічно у тих же місцях що і на рис. 4,а.

Аналізуючи умови відстані відходу 35 м можна стверджувати, що зона максимальної конвергенції як з урахуванням гідравлічного навантаження, так і за його відсутності аналогічно знаходиться в середній частині лави.

Різниця між цими величинами становить 30 мм. Величина конвергенції в середній частині у порівнянні з величиною відходу 30 м збільшилась на 15,0 мм, що свідчить про збільшення довжини породної консолі та відповідно збільшення навантаження на механізоване кріплення. На сполученнях зі штреками у порівнянні з відстанню відходу 30 м величина конвергенції збільшилась на 6,9 – 7,2 мм.

При появі гідравлічного навантаження величина максимальної конвергенції збільшується на 6,9% або на 29 мм, що призводить до посадки 26 одиниць секцій кріплення «на жорстку базу».

Також для умов відстані відходу 35 м отримано характер розподілу напружено-деформованого стану гірського масиву навколо очисної виробки.

Діапазон величин напружень гірського масиву навколо очисної виробки без урахування гідравлічного навантаження коливається в межах від 524,7 МН/м<sup>2</sup> у безпосередній покрівлі позаду секцій, до 92180,0 МН/м<sup>2</sup>, які містяться у вугільному пласті.

Величина напружень гірського масиву з урахуванням гідравлічного навантаження збільшилась на 5,6 – 6,6% і коливається від 554,2 МН/м<sup>2</sup> до 98310,0 МН/м<sup>2</sup> аналогічно у тих же місцях.

Аналізуючи умови відстані відходу 40 м можна стверджувати, що зона максимальної конвергенції як з урахуванням гідравлічного навантаження, так і за його відсутності аналогічно для умов попередніх відстаней відходу знаходиться в середній частині лави.

Різниця між цими величинами становить 28,9 мм. Величина конвергенції в середній частині у порівнянні з величиною відходу 35 м збільшилась на 2,0 мм, що свідчить про збільшення довжини породної консолі та відповідно збільшення навантаження на механізоване кріплення. На сполученнях зі штреками у порівнянні з відстанню відходу 35 м величина конвергенції збільшилась на 73,7 – 74,7 мм.

При появі гідравлічного навантаження величина максимальної конвергенції збільшується на 6,4% або на 28,9 мм, що призводить до посадки 24 одиниць секцій кріплення «на жорстку базу».

Також для умов відстані відходу 40 м отримано характер розподілу напружено-деформованого стану гірського масиву навколо очисної виробки.

Діапазон величин напружень гірського масиву навколо очисної виробки без урахування гідравлічного навантаження коливається в межах від 325,5 МН/м<sup>2</sup> у безпосередній покрівлі позаду секцій до 95590,0 МН/м<sup>2</sup>, які містяться у вугільному пласті.

Величина напружень гірського масиву з урахуванням гідравлічного навантаження збільшилась на 4,4 – 6,7% і коливається від 340,1 МН/м<sup>2</sup> до 102000,0 МН/м<sup>2</sup> аналогічно у тих же місцях.

#### **4. Висновки**

Аналіз результатів моделювання показав, що в умовах наявності гідравлічного навантаження величина конвергенції бічних порід в лаві збільшується на 5,6 – 8,6%, що, в свою чергу, в умовах глибини розробки 521 м у слабометаморфізованому



гірському масиві з водонасиченими прошарками призводить до втрати несучої здатності та посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу».

На кожні 5 м максимальна величина конвергенції без урахування гідравлічного навантаження в середньому збільшується на 11,7 мм. З урахуванням гідравлічного навантаження – на 14,08 мм.

У момент відходу лави на відстань 30 м від монтажної камери відбулася первинна посадка основної покрівлі, що призвело до зменшення конвергенції бічних порід на 19 мм в умовах відсутності гідравлічного навантаження, та на 30 мм з урахуванням гідравлічного навантаження.

В умовах гідравлічного навантаження на відміну від її відсутності величина конвергенції бічних порід збільшується на 24,7 – 31,2 мм, що провокує посадку секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» починаючи з відстані відходу 15 м від монтажної камери.

Посадка секцій кріплення «на жорстку базу» з урахуванням гідравлічного навантаження спостерігається систематично починаючи з моменту відходу 15 м. Зі збільшенням відстані відходу від монтажної камери збільшується кількість секцій, які зазнали аварії, від 4 до 94 одиниць. В середньому на кожні 5 м кількість секцій, які зазнали аварії, збільшується на 45 одиниць.

У ході роботи отримано розподіл величин напружень гірського масиву навколо очисного вибою залежно від відстані відходу від монтажної камери.

Вказані закономірності характеру розподілу конвергенції дозволили спрогнозувати зону первинної посадки основної покрівлі, а також ймовірні зони посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» за довжиною лави в будь-який момент положення очисного вибою уздовж виїмкового стовпа в умовах відпрацювання пласта С<sub>6</sub> шахти «Степова» ШУ «Першотравневе» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

Встановлені закономірності за результатами чисельного моделювання дозволяють визначити вплив гідравлічного перевантаження. Гідравлічне перевантаження утворюється в зоні розшарування контактів між колектором та водостійкими породами. Воно негативно впливає на характер розподілу конвергенції бічних порід в лаві, а також на напружено-деформований стан порід покрівлі.

Дане дослідження складає основу для розробки заходів з попередження аварійних ситуацій та обґрунтування параметрів відпрацювання вугільних пластів у складних умовах шахт Західного Донбасу.

## Література

1. Sadovenko, I., & Tymoshchuk, V. (2012). Modelyuvannya mekhanizmu gidrogeodinamichnogo navantazhennya osnovnoї pokrivli vugil'nih plastiv nad mekhanizovanim kriplennyam ochisnogo viboyu. *The Collection of Research Papers of the National Mining University*, (39), 5-11.
2. Symanovych, H., Astafiev, D., & Husiev, O. (2013). On the question of face complex support loading in hard mine-geological conditions. *Mining of Mineral Deposits*, (7), 81-85.
3. Medianyuk, V., Shevchenko, O., & Poymanov, S. (2013). Analysis of coal reserves development on seam C<sub>5</sub> mine "Samarskaya" PSS "Mine management Ternovskoe" PJSC "DTEK Pavlogradugol". *Mining of Mineral Deposits*, (7), 171-182.
4. Vlasov, S., & Moldanov, Ye. (2021). Effect of geological and technological parameters on the convergence in a stope. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (6), 122-131.
5. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Symanovych, G., Sotskov, V., & Barabash, M. (2018). Geomechanics of interference between the operation modes of mine working support elements at their loading. *Mining Science*, 25, 219-235. <https://doi.org/10.5277/msc182515>
6. Sreenivasa, R., Debasis, D., & Hemant, K. (2020). Development of a roof-to-floor convergence index for longwall face using combined finite element modelling and statistical approach. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (127), 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104221>

7. Ze, X., Qiang, I. Y., Guosheng, M., Qiang, X., Chuanjin, T., Liu, Z., ... Qian, S. (2021). Numerical study of stability of mining roadways with 6.0-m section coal pillars under influence of repeated mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (138), 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2021.104641>
8. Jinfu, L., Fuqiang, G., Jinghe, Y., Yanfang, R., Jianzhong, L., Xiaoqing, W., & Lei, Y. (2021). Characteristics of evolution of mining-induced stress field in the longwall panel: insights from physical modeling. *International Journal of Coal Science & Technology*, (1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00390-5>
9. Guojun, Z., Quansheng, L., Yong, Z., & Feng, D. (2021). Failure characteristics of roof in working face end based on stress evolution of goaf. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, (53), 18-30. <https://doi.org/10.1007/s40948-021-00252-7>
10. Jun, L., Changbao, J., Zhuo, J., Wensong, W., Wanjun, Z., & Huan, Y. (2021). Three-dimensional physical model experiment of mining-induced deformation and failure characteristics of roof and floor in deep underground coal seams. *Process Safety and Environmental Protection*, (150), 400-415. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.04.029>
11. DSTU 101.00159226.001-2003. Pravila pidrobki budivel, sporud i prirodnih ob'ektiv pri vidobuvanni vugillya pidzemnim sposobom (2004).
12. Chetverik, M. S. (2004). *Teoriya sdvizheniya massiva gornyh porod i upravlenie deformatsionnymi processami pri podzemnoj vyemke uglya*. Dnepropetrovsk, 148 p.
13. Vlasov, S., & Moldavanov, Y. (2021). Substantiation of parameters of the experiment with three-dimensional computer modeling of the rock mass around a longwall. *Journal of Donetsk Mining Institute*, (1), 37-48. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2021-1-37-48>
14. Sidelnikov, A. A. (2009). Obosnovanie parametrov objomnogo modelirovaniya massiva gornyh porod vokrug ochistnoy i podgotovitelnyh vyrabotok. *Geo-Technical Mechanics*, (82), 77-85.