

УДК 622.28.042.44

<https://doi.org/10.37101/ftpgv25.01.006>

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАДПРАЦЮВАННЯ  
НА ГІРНИЧІ ВИРОБКИ, ЩО ЗАКРІПЛЕНІ КОМПОЗИТНИМ  
КРІПЛЕННЯМ**

І.В. Шека<sup>1\*</sup>

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

\*Відповідальний автор: e-mail: vsheka1996@mail.com

**RESULTS OF THE RESEARCH OF THE INFLUENCE OF  
OVERWORKING ON MINING WORKINGS FIXED BY ARCHED  
SUPPORTS MADE OF COMPOSITE MATERIALS**

I. Sheka<sup>1\*</sup>

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

\*Corresponding author: e-mail: vsheka1996@gmail.com

**ABSTRACT**

**Purpose.** Analysis of the effect of overworking on the mining workings fixed by arched supports made of composite materials.

**Methods.** The computational experiment was carried out on the basis of three-dimensional modeling of the geomechanical system of the preparatory work with a layered rock massif overworked by longwall, using the finite element method using non-linear regularities of changes in the stress-strain state of the object under study.

**Findings.** The developed calculation models of the geomechanical system made it possible to determine the deformation pattern of the composite fastener for its various cross-sections. the highest stress concentration is observed when using a basic metal fastener. The region  $\sigma_{\max}$  extends to 1.2 m and 1 m, respectively, after which a uniform reduction of stresses begins. The region with maximum stresses is formed in the central part of the upper part with a slight inclination to the left. At the same time, when the cross-section of the composite fastener increases to 39, a gradual decrease in the  $\sigma_{\max}$  areas is observed. The results of the research allow us to obtain the most complete picture of the stress-strain state of the composite fastening of mine workings. On the basis of the conducted experiments, it is possible to determine with a high degree of objectivity the shortcomings of the composite fastening system, which will be the basis for the development of rational fastening parameters from composite materials at great depths.

**Originality.** For the first time, a three-dimensional model of a layered massif with a composite fastening system of various cross-sections was developed and calculated. It was established that when installing a composite fastener with a cross-section of 39, the  $\sigma_{\max}$  regions have the smallest values.

**Practical implications.** The obtained results prove that it is better to use a composite fastener with a cross-section of 39 when working overtime, which, together with the lightening of the structure and speeding up the work of the shift, will contribute to the development of underground coal mining.

**Keywords:** mine workings, composite support, maximum stresses, modeling, overworking, stress-strain state

## 1. ВСТУП

Вугільна промисловість України знаходиться на роздоріжжі: з одного боку глобальний вплив тенденцій декарбонізації [1, 2], ESG-стратегії [3] та закриття шахт, а з іншого – виклики повоєнної відбудови та збереження енергетичної незалежності [4].

В даний час одним з головних завдань удосконалення підземного вуглевидобутку є створення ефективних засобів та способів забезпечення стійкості виробок, тому що, питання забезпечення стійкості гірничих виробок на вугільних шахтах залишається одним з найактуальніших у гірничому виробництві [5, 6], так як від їх експлуатаційного стану залежить ефективність та безпечність проведення гірничих робіт.

Виходячи із проаналізованих досліджень [7–9], зі збільшенням глибини розробки вугільних пластів на шахтах України с 500 до 1000 м зміщення порід у підготовчих виробках зростають майже у 3 рази, а навантаження на кріплення збільшується більш ніж у 2 рази, тим не менш, апрочне піддатливе кріплення забезпечує несучу здатність. Однак, при збільшенні глибини розробки з 1000 м і більше, металеве кріплення вже не в повному обсязі може забезпечити надійність виробок [10], що обумовлюється незадовільним їх станом, та у майбутньому зумовлює перекріплення гірничих виробок, що будуть використовуватись повторно [11, 12].

Проблема підтримки підземних гірничих виробок новими видами кріплення набуває для гірничодобувної промисловості дедалі більшої актуальності з основних причин:

- по-перше, неухильна тенденція до ускладнення гірничо-геологічних умов розробки;
- по-друге, постійно зростаючі матеріальні та трудові витрати на кріплення виробок;
- по-третє, необхідність посилення вимог безпечного ведення підземних робіт.

В дослідженнях [13, 14], обґрунтовувалась можливість використання вуглепластику як кріпильного матеріалу, а головною його якістю є висока міцність при вкрай високому модулі пружності та низькій щільності і повзучості. У роботі [15] авторами проведено дослідження взаємодії кріплення з гірським масивом у пружній постановці задачі.

Проблемою кріплення гірничих виробок в умовах надпрацювання у різні роки присвячено роботи Соцкова В.О. [16], Ільяшова М.А. [17], Новікової Л.В. [18], Каніна В.А. [19], та Фомичова В.В. [20].

Надпрацювання досить сильно впливає на стан прохідницьких виробок, особливо на великих глибинах розробки. Розглянуті дослідження вказують

на те, що при надпрацюванні досить часто доводиться перекріплювати таку виробку.

Виходячи із вищесказаного, метою роботи є встановлення впливу надпрацювання на виробку, що закріплена композитним кріпленням в умовах «ШУ Покровське». Необхідно оцінити зміну напружено-деформованого стану (НДС) у кріпленні, яке пропонується до використання.

## **2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Для досягнення поставленої мети роботи дослідження проводилось за допомогою математичного моделювання методом скінченних елементів (МСЕ) у програмному продукті Ansys Mechanical.

Проведення обчислювального експерименту передбачало цілий комплекс досліджень по збору даних, їх обробці, підготовці та проведенню розрахунку та аналізу отриманих результатів. Таким чином, розв'язання задачі із застосуванням МСЕ необхідно розділити на кілька основних етапів, таких як

1. Постановка задачі. На основі проведеного аналізу сучасних уявлень про проблеми підтримки підготовчих виробок визначена необхідність проведення досліджень за допомогою обчислювального експерименту для обґрунтування раціональних параметрів композитного кріплення.

2. Обґрунтування та створення геометричної моделі. Аналітичними методами встановлено оптимальну форму та розміри моделі шаруватого гірського масиву. Змодельовано конструкції композитного кріплення відповідно до розроблених моделей та даних паспорта кріплення штреку.

3. Обґрунтування фізико-механічних властивостей матеріалів. Відповідно до гірничо-геологічних умов відпрацювання 1 північної лави блоку № 11 ШУ «Покровське», а також геологічного прогнозу, заснованого на даних геологорозвідувальних свердловин № 3650 та № 3751 для дренажного вентиляційного штреку, задані всі необхідні фізико-механічні властивості порід для проведення максимально адекватного розрахунку.

4. Додавання граничних умов. На цьому етапі відбувається визначення та додавання навантажень та обмежень, що відповідають реальним умовам, вибір типу аналізу на основі умов навантаження та реакції системи.

5. Побудова сітки скінченних елементів. Розбивається кожний окремий елемент моделі на скінченні елементи, пов'язані між собою у вузлах. Вибирається оптимальний тип та розмір сітки кожного елемента для досягнення максимально високої точності результатів експерименту.

6. Проведення автоматичного розрахунку системи рівнянь. При запуску розрахунку програма звертається за інформацією про модель та навантаження до бази даних та виконує обчислення.

7. Аналіз одержаних результатів. Для аналізу результатів розрахунку напружено-деформованого стану використовуються епюри інтенсивності  $\sigma$ , які дозволяють оцінити якісну та кількісну картину розподілу напружень у кріпленні. На розробленій моделі методом скінченних елементів розраховується поле розподілу інтенсивності напружень  $\sigma$  для композитного кріплення.

Під час проведення обчислювальних експериментів вдалося врахувати максимальну кількість негативних факторів, які прямо чи опосередковано

впливають на збереження перерізу виробки та роботу композитного кріплення. Отримано та проаналізовано велику кількість даних про стан гірського масиву навколо прохідницької виробки та очисного вибою.

В умовах ШУ «Покровське» оптимальним є використання комбінації двох основних видів кріплення [34]. При цьому відмінно зарекомендувала себе методика, яка дозволяє об'єднати анкерне та рамне кріплення в єдину вантажонесучу систему за допомогою канатних зв'язків. В результаті анкера, що закріплені в масиві, використовуються для підвищення ефекту опору рами від тиску порід, спираючись на властивості міцності гірського масиву. Виходить повністю замкнута структура, яка максимально ефективно підтримує контур виробки

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В результаті проведеного комплексного дослідження з використанням сучасних обчислювальних технологій встановлено низку особливостей проявів гірського тиску при кріпленні виробок, що надпрацьовуються.

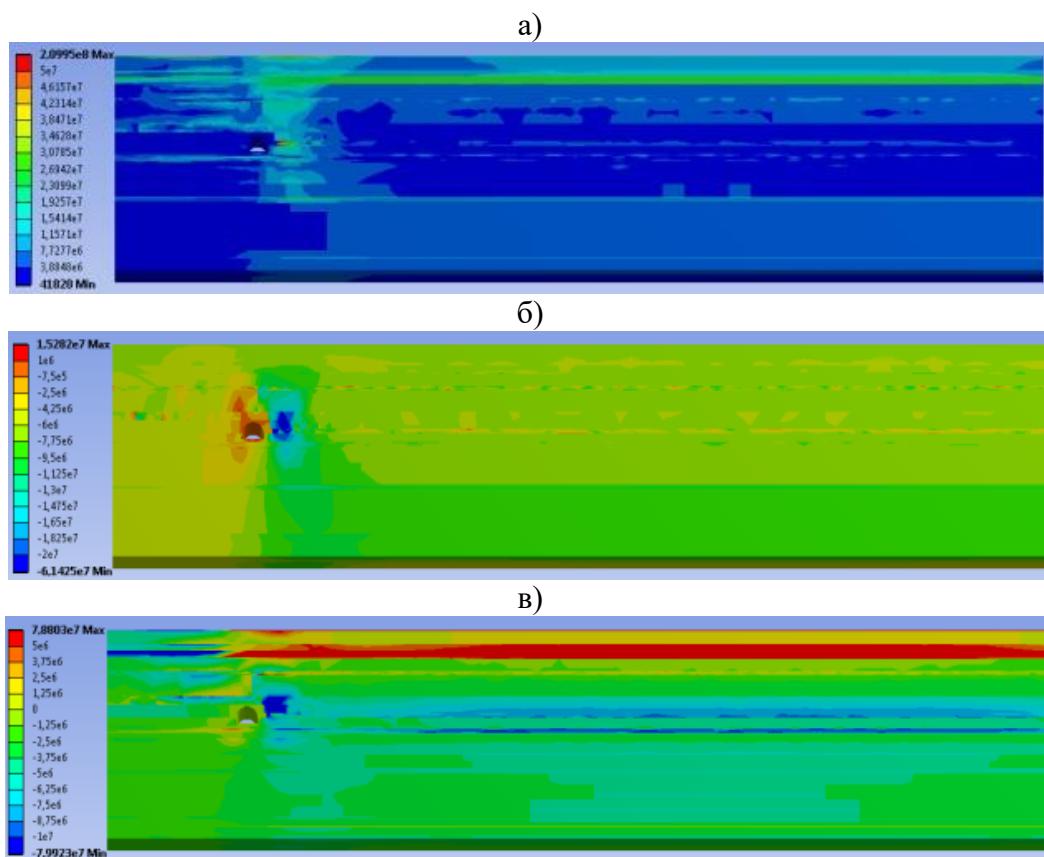
Проведено серію розрахунків у пружно-пластичній постановці з різним перерізом композитного кріплення безпосередньо при надпрацюванні дренажного штреку. Використовувалася просторова модель вуглевмісного гірського масиву в околиці 1 північної лави блоку № 11 ШУ «Покровське».

Для представлення результатів обчислювального експерименту вибрано епюри інтенсивності  $\sigma$ , вертикальних напружень  $\sigma_y$  та горизонтальних  $\sigma_x$  у породному масиві, а для системи композитного кріплення штреку використано епюри інтенсивності  $\sigma$ .

Особливістю використання просторового моделювання є отримання результатів, які можна розглядати в різних площинах і робити зрізи у необхідних місцях моделі для отримання максимально повної картини розподілу напружень у масиві. У зв'язку з цим для аналізу використано 63 епюри загального виду масиву, а також поперечного перерізу для детального аналізу стану дренажного вентиляційного штреку.

У роботі представлені епюри загального вигляду моделі лише для останнього етапу розрахунку (Рис. 1), коли очисний вибій розташовується над підготовчою виробкою. Це зумовлено незначними відмінностями у розподілі напружень на різних етапах розрахунку, що свідчить про правильне обґрунтування розмірів моделі.

З усіх трьох епюр чітко проглядається утворення опорної зони тиску в боках виробки з боку залягання відпрацьованого вугільного пласта. Насамперед такий розподіл напружень пов'язаний з тим, що обидва сусідні виїмкові стовпи вже відпрацьовані і сталися порушення цілісності породної товщі, пов'язані зі заміщенням порожнин, що утворилися. Характер розподілу напружень практично повністю симетричний, розміри цих зон досягають 5 м завширшки і до 10 м заввишки. Концентрація напружень згідно епюри інтенсивності  $\sigma$  знаходиться в діапазоні 20 – 30 МПа, згідно з епюрами вертикальних напружень  $\sigma_y$  і горизонтальних  $\sigma_x$  стиснення перевищує 20 МПа. Ця концентрація напружень перевищує модуль пружності для породних шарів алевроліту та аргіліту, що залягають у цій зоні.



**Рисунок 1.** Епюри загального виду моделі при розташуванні очисного вибою над підготовчою виробкою: а – інтенсивність напружень  $\sigma$ ; б – вертикальні напруження  $\sigma_y$ ; в – горизонтальні напруження  $\sigma_x$

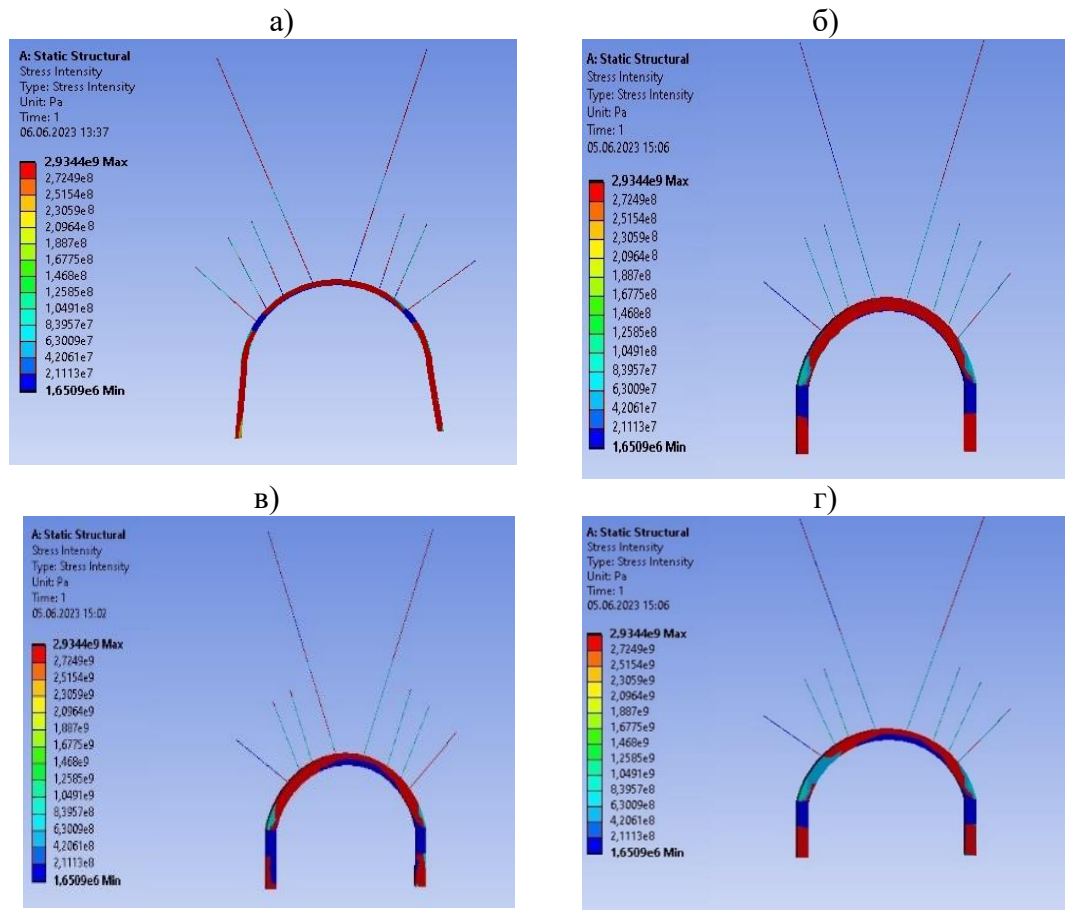
Також, з іншого боку виробки відбувається утворення зони розвантаження, яке показано на епюрі (Рис. 1, б). Концентрація розтягуючих напружень відбувається в діапазоні 0,5 – 2 МПа, які поширюються в покрівлю виробки на відстань 2 – 3 м і займають в ширину не більше 5 – 6 м.

Варто зазначити, що отримані епюри показують цілком характерний розподіл напружень для виїмкових виробок після відпрацювання однієї з лав [21].

У зв'язку зі специфікою проведеного дослідження, більше значення має ситуація навколо надпрацьованої виробки, тому детальніше проаналізуємо поперечний переріз цієї моделі, де власне і показаний дренажний вентиляційний штрек. Для цих цілей також використані епюри інтенсивності  $\sigma$ , вертикальних напружень  $\sigma_y$  та горизонтальних  $\sigma_x$  для гірського масиву на останньому етапі із серії експериментів, а також епюри інтенсивності  $\sigma$  для композитного кріплення. У зв'язку зі специфікою пружно-пластичної поведінки матеріалів після переходу з пружного стану в пластичний практично припиняється зростання напружень, але при цьому збільшується приріст деформацій.

Для ретельного аналізу НДС рамного та композитного кріплення використана епюра інтенсивності напружень  $\sigma$ , на яку окремо винесено тільки елементи кріплення без гірського масиву. По базовому варіанту рамного кріплення та композитного кріплення перерізом 33 (Рис. 2-а – 2-б), яке встанов-

люється у виробку, в умовах безпосереднього впливу фронтальної зони опорного тиску очисного вибою піддається досить високим навантаженням. У результаті 80 – 85% площі стояків і верхняка рами відбувається розподіл напружень, що перевищують 270 МПа. Це є критичним для збереження стійкості виробки, оскільки перевищує межу міцності легованої сталі, яка використовується для виготовлення спецпрофілю СВП.



**Рисунок 2. Епюра інтенсивності напружень  $\sigma$  при розташуванні очисного вибою над виробкою для кріплення: а – базового металевого; б) композитного кріплення 33; в) композитного кріплення 36; г) композитного кріплення 39**

Анкери, які встановлені у покрівлю виробки, піддаються менш високим напруженням, однак у місцях контакту породних шарів між собою відбувається зсув літологічних різниць відносно один одного, що призводить до защемлення та можливого зрізу анкерів. У цій ситуації анкер не може повноцінно використати всю свою довжину, що в результаті може послабити кріпильний ефект.

Композитне кріплення більшим перерізом (Рис. 2-в – 2-г), що встановлене у виробку, в умовах безпосереднього впливу фронтальної зони опорного тиску очисного вибою також піддається досить високим навантаженням. Але площа стояків та верхняка, де відбувається розподіл напружень, які перевищують 270 МПа є меншою, ніж по базовому варіанту металевого кріплення

та композитного 33 перерізу, та складає 50 – 70 %. В результаті у стояках та верхняку рами відбувається розподіл напружень, які дорівнюють приблизно 240 – 250 МПа.

Анкерне кріплення піддається менш високим напруженням, як і у базовому варіанті кріплення, однак у місцях контакту породних шарів між собою відбувається зсув літологічних різниць відносно один одного, що призводить до защемлення та можливого зрізу анкерів. У цій ситуації анкер не може повноцінно використати всю свою довжину, що в результаті може послабити кріпильний ефект. Виходячи з одержаних значень встановлено залежності зміни концентрації напружень  $\sigma_{\max}$  при надпрацюванні виробки лавою для різних видів кріплень.



**Рисунок 3.** Залежність зміни концентрації напружень  $\sigma_{\max}$  при надпрацюванні виробки лавою для кріплення: 1 – базове металеве кріплення, 2 – композитне кріплення 33, 3 – композитне кріплення 36, 4 – композитне кріплення 39

При аналізі отриманого графіка найбільш висока концентрація напружень спостерігається при використанні базового металевого кріплення. Область  $\sigma_{\max}$  поширюється на 1,2 м і 1 м відповідно, після чого починається рівномірне зниження напружень. Область з максимальними напруженнями утворюється в центральній частині верхняка з невеликим ухилом у ліву сторону. При цьому при збільшенні перерізу композитного кріплення до 39 спостерігається поступове зменшення областей  $\sigma_{\max}$ .

Результати досліджень дозволяють отримати максимально повну картину НДС композитного кріплення виробки. На підставі проведених експериментів можна з високим ступенем об'єктивності визначити недоліки системи композитного кріплення, що буде покладено в основу для розробки раціональних параметрів кріплення із композитних матеріалів на великих глибинах.

Отримані результати не суперечать численним геомеханічним дослідженням у цій області [22–25]. Це підтверджує відповідність моделей реальним умовам проведення гірничих виробок у вугільних шахтах.

#### 4. ВИСНОВКИ

У роботі розроблена максимально деталізована геометрія моделі гірського масиву та композитного кріплення. Розроблено повноцінну просторову модель досліджуваної ділянки з урахуванням шарнірно-блокового зсуву порід.

За результатами серії розрахунків було підтверджено адекватність моделі реальних умов, а також більш висока ефективність нелінійного розрахунку порівняно з лінійним.

Зі зміною перерізу композитного кріплення області  $\sigma_{\max}$  зменшуються, аж до зниження напружень нижче цього рівня. При цьому зниження відбувається майже симетрично. Це пов'язано з перерозподілом НДС у боках виробок та зміною впливу тиску очисного вибою, що за різної величини перерізу композитного кріплення дає різну картину напружень.

В результаті можна відзначити, що найбільш підходящим видом кріплення буде композитне з перерізом 39, так як при використанні цього кріплення області  $\sigma_{\max}$  мають найменші значення.

Найбільш тісна кореляція має місце між параметром перерізу композитного кріплення і відношенням  $H/R$ , що дозволило сформулювати один із основних наукових висновків наступним чином: навантаження на композитне кріплення підготовчої виробки, знаходиться в прямо пропорційній степеневій залежності від параметра  $H/R$  і зворотно пропорційно перерізу композитного кріплення. Це забезпечує вибір параметрів системи композитного кріплення зі зниженою матеріаломісткістю без погіршення стійкості виробки.

Результати досліджень дозволяють отримати максимально повну картину НДС композитного кріплення виробки в умовах надпрацювання. На підставі проведених експериментів можна з високим ступенем об'єктивності визначити недоліки системи композитного кріплення, що буде покладено в основу для розробки раціональних параметрів кріплення із композитних матеріалів на великих глибинах.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Karanfil, F., & Omgba, L.D. (2023). The energy transition and export diversification in oil-dependent countries: The role of structural factors. *Ecological Economics*, 204 <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107681>
2. Kermeli, K., Crijns-Graus, W., Johannsen, R.M., & Mathiesen, B.V. (2022). Energy efficiency potentials in the EU industry: Impacts of deep decarbonization technologies. *Energy Efficiency*, 15(8) <https://doi.org/10.1007/s12053-022-10071-8>
3. Bondarenko, V., Salieiev, I., Kovalevska, I., Chervatiuk, V., Malashkevych, D., Shyshov, M., & Chernyak, V. (2023). A new concept for complex mining of mineral raw material resources from DTEK coal mines based on sustainable development and ESG strategy. *Mining of Mineral Deposits*, 17(1), 1-6. <https://doi.org/10.33271/mining17.01.001>
4. Mamaikin, O., Kicki, J., Salli, S., & Horbatova, V. (2017). Coal industry in the context of ukraine economic security. *Mining of Mineral Deposits*, 11(1), 17-22. <https://doi.org/10.15407/mining11.01.017>



5. Snihur, V. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Husiev, O., & Shaikhlislamova, I. (2022). Optimization solution substantiation for resource-saving maintenance of workings. *Mining of Mineral Deposits*, 16(1), 9-18. <https://doi.org/10.33271/mining16.01.009>
6. Bondarenko, V., Symanovych, H., Barabash, M., Husiev, O., & Salieiev, I. (2020). Determining patterns of the geomechanical factors influence on the fastening system loading in the preparatory mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 14(1), 44-50. <https://doi.org/10.33271/mining14.01.044>
7. Bondarenko, V.I., Symanovych, H.A., Kovalevska, I.A., Shyshov, M.V., & Yakovenko, V.H. (2023). Geomechanical substantiation of parameters for safe completion of mining the coal reserves adjacent to main workings. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 46-52. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/046>
8. Krukovskyi, O., Bulich, Y., Kurnosov, S., Yanzhula, O., & Demin, V. (2022). Substantiating the parameters for selecting a pillar width to protect permanent mine workings at great depths. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 970(1) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012049>
9. Symanovych, H., Salieiev, I., Shyshov, M., & Odnovol, M. (2022). Substantiating the optimization solutions for the mine working fastening system interaction with the enclosing rock mass. *Mining of Mineral Deposits*, 16(3), 54-60. <https://doi.org/10.33271/mining16.03.054>
10. Bondarenko, V.I., Kovalevska, I.A., Podkopaiev, S.V., Sheka, I.V., & Tsivka, Y.S. (2022). Substantiating arched support made of composite materials (carbon fiber-reinforced plastic) for mine workings in coal mines. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012026>
11. Bondarenko, V.I., Kovalevska, I.A., Biletskyi, V.S., & Desna, N.A. (2022). Optimization principles implementation in the innovative technologies for re-used extraction workings maintenance. *Petroleum and Coal*, 64(2), 424-435. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104182>
12. Fomychov, V., Fomychova, L., Khorolskyi, A., Mamaikin, O., & Pochepov, V. (2020). Determining optimal border parameters to design a reused mine working. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(24), 3039-3049
13. Шека, І.В., Салєєв, І.А., Шишов, М.В., Малова, О.К., Почепов, В.М., & Мамайкін, О.Р. (2023). Аналіз використання композитних матеріалів для подальшого застосування у кріпленнях гірничих виробок. *Збірник Наукових Праць НГУ*, 72, 30-42. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.062>
14. Бондаренко, В., Салєєв, І., Шека, І., & Цівка, Є. (2020). Обґрунтування використання композитних матеріалів для підвищення стійкості гірничих виробок. *Ukrainian School of Mining Engineering 2020*, 25-26. <https://doi.org/10.33271/usme14.025>
15. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Sheka, I., & Sachko, R. (2023). Results of research on the stability of mine workings, fixed by arched supports made of composite materials, in the conditions of the pokrovske mine administration. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1156. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1156/1/012011>

16. Соцков В.О. (2015). *Обґрунтування параметрів розташування та кріплення виробок, що надпрацьовуються, при веденні очисних робіт на шахтах Західного Донбасу*: дис. канд. техн. наук: 05.15.02 / НГУ. Дніпропетровськ
17. Ильяшов, М.А. (2010). Обеспечение безопасности угледобычи с учетом развития очистных работ на соседних пластах. *Записки Горного института*, 185, 148-151.
18. Новикова Л.В., Бузило, В.И., & Наливайко, Я.М. (2001). Прогнозирование проявлений горного давления при подработке и надработке угольного пласта. *Вестник ХГТУ*, №12. – С.193-196.
19. Канин, В.А., Ходырев, Е.Д., & Галемский, П.В. (2012). Опережающая разработка защитных пластов для предотвращения выбросов песчаников при проведении подготовительных выработок. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*, 11, 239-250
20. Фомичов, В.В., & Соцков, В.А. (2014). Исследование модели изменения состояния дренажного штрека в условиях надработки в шахтах Западного Донбасса. *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво"*, (24), 71-77.
21. Sotskov, V., & Saleev, I. (2013). Investigation of the rock massif stress strain state in conditions of the drainage drift overworking. *Paper presented at the Annual Scientific-Technical Colletion - Mining of Mineral Deposits 2013*, 197-201.
22. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Symanovych, H., Sachko, R., & Sheka, I. (2023). Integrated research into the stress-strain state anomalies, formed and developed in the mass under conditions of high advance velocities of stope faces. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1226/1/012031>
23. Iordanov, I., Buleha, I., Bachurina, Y., Boichenko, H., Kayun, O., Kohtieva, O., Dovgal, V. (2021). Experimental research on the haulage drifts stability in steeply dipping seams. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 56-67. <https://doi.org/10.33271/MINING15.04.056>
24. Nurpeissova, M., Rysbekov, K., Kenesbayeva, A., Bekbassarov, Z., & Levin, E. (2021). Simulation of geodynamic processes. *Engineering Journal of Satbayev University*, 143(4), 16-24. <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i4.03>
25. Kovalevska, I., Samusia, V., Kolosov, D., Snihur, V., & Pysmenkova, T. (2020). Stability of the overworked slightly metamorphosed massif around mine working. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 43-52. <https://doi.org/10.33271/mining14.02.043>

## REFERENCES

1. Karanfil, F., & Omgba, L.D. (2023). The energy transition and export diversification in oil-dependent countries: The role of structural factors. *Ecological Economics*, 204 <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107681>
2. Kermeli, K., Crijns-Graus, W., Johannsen, R.M., & Mathiesen, B.V. (2022). Energy efficiency potentials in the EU industry: Impacts of deep decarbonization technologies. *Energy Efficiency*, 15(8) <https://doi.org/10.1007/s12053-022-10071-8>

3. Bondarenko, V., Salieiev, I., Kovalevska, I., Chervatiuk, V., Malashkevych, D., Shyshov, M., & Chernyak, V. (2023). A new concept for complex mining of mineral raw material resources from DTEK coal mines based on sustainable development and ESG strategy. *Mining of Mineral Deposits*, 17(1), 1-16. <https://doi.org/10.33271/mining17.01.001>
4. Mamaikin, O., Kicki, J., Salli, S., & Horbatova, V. (2017). Coal industry in the context of ukraine economic security. *Mining of Mineral Deposits*, 11(1), 17-22. <https://doi.org/10.15407/mining11.01.017>
5. Snihur, V. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Husiev, O., & Shaikhislamova, I. (2022). Optimization solution substantiation for resource-saving maintenance of workings. *Mining of Mineral Deposits*, 16(1), 9-18. <https://doi.org/10.33271/mining16.01.009>
6. Bondarenko, V., Symanovych, H., Barabash, M., Husiev, O., & Salieiev, I. (2020). Determining patterns of the geomechanical factors influence on the fastening system loading in the preparatory mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 14(1), 44-50. <https://doi.org/10.33271/mining14.01.044>
7. Bondarenko, V.I., Symanovych, H.A., Kovalevska, I.A., Shyshov, M.V., & Yakovenko, V.H. (2023). Geomechanical substantiation of parameters for safe completion of mining the coal reserves adjacent to main workings. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 46-52. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/046>
8. Krukovskyi, O., Bulich, Y., Kurnosov, S., Yanzhula, O., & Demin, V. (2022). Substantiating the parameters for selecting a pillar width to protect permanent mine workings at great depths. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 970(1) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012049>
9. Symanovych, H., Salieiev, I., Shyshov, M., & Odnovol, M. (2022). Substantiating the optimization solutions for the mine working fastening system interaction with the enclosing rock mass. *Mining of Mineral Deposits*, 16(3), 54-60. <https://doi.org/10.33271/mining16.03.054>
10. Bondarenko, V.I., Kovalevska, I.A., Podkopaiev, S.V., Sheka, I.V., & Tsivka, Y.S. (2022). Substantiating arched support made of composite materials (carbon fiber-reinforced plastic) for mine workings in coal mines. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012026>
11. Bondarenko, V.I., Kovalevska, I.A., Biletskyi, V.S., & Desna, N.A. (2022). Optimization principles implementation in the innovative technologies for re-used extraction workings maintenance. *Petroleum and Coal*, 64(2), 424-435. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104182>
12. Fomychov, V., Fomychova, L., Khorolskyi, A., Mamaikin, O., & Pochevov, V. (2020). Determining optimal border parameters to design a reused mine working. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(24), 3039-3049
13. Sheka, I., Salieiev, I., Shyshov, M., Malova, O., Pochevov, V., & Mamaikin, O. (2023). Analysis of the use of composite materials for further application in the support of mine workings. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 72, 62-76. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.062>

14. Bondarenko, V., Salieiev, I., Sheka, I., & Tsivka, Ye. (2020). Obgruntuvannia vykorystannia kompozytnykh materialiv dlia pidvyshchennia stiikosti hirnychykh vyrobok. *Ukrainian School of Mining Engineering 2020*, 25-26. <https://doi.org/10.33271/usme14.025>
15. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Sheka, I., & Sachko, R. (2023). Results of research on the stability of mine workings, fixed by arched supports made of composite materials, in the conditions of the pokrovske mine administration. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1156. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1156/1/012011>
16. Sotskov V.O. (2015). Obgruntuvannia parametriv roztashuvannia ta kriplennia vyrobok, shcho nadpratsovuiutsia, pry vedenni ochysnykh robot na shakhtakh Zakhidnoho Donbasu.: dys. kand. tekhn. nauk: 05.15.02 / NHU. Dnipropetrovsk
17. Iliashov, M.A. (2010). Obespechenye bezopasnosti uhledobychy s uchetom razvytyia ochy-stnykh robot na sosednykh plastakh. *Zapysky Hornoho instytuta*, 185, 148-151.
18. Novikova L.V., Buzylo, V.Y., & Nalyvaiko, Ya.M. (2001). Prohnozyrovanye proiavlenni hornoho davleniia pry podrobotke i nadrobotke uholnoho plastu. *Vestnyk KhHTU*, №12. – S.193-196.
19. Kanin, V.A., Khodyrev, E.D., & Halemskyi, P.V. (2012). Ope-rezhaiushchaia razrobotka zashchytnykh plastov dlia predotvrashchennia vybrosov peschanykov pry provedennyi podhotovytelnykh vyrabotok. *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy*, 11, 239-250
20. Fomychov, V.V., & Sotskov, V.A. (2014). Issledovaniye modely izmeneniya sostoiannya drenazhnogo shtreka v usloviakh nadrobotky v shakhtakh Zapadnoho Donbassa. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyivskiy politekhnichnyi instytut". Seriya "Hirnyctvo"*, (24), 71-77.
21. Sotskov, V., & Saleev, I. (2013). Investigation of the rock massif stress strain state in conditions of the drainage drift overworking. *Paper presented at the Annual Scientific-Technical Colletion - Mining of Mineral Deposits 2013*, 197-201.
22. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Symanovych, H., Sachko, R., & Sheka, I. (2023). Integrated research into the stress-strain state anomalies, formed and developed in the mass under conditions of high advance velocities of stope faces. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1226/1/012031>
23. Iordanov, I., Buleha, I., Bachurina, Y., Boichenko, H., Kayun, O., Koh-tieva, O., Dovgal, V. (2021). Experimental research on the haulage drifts stability in steeply dipping seams. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 56-67. <https://doi.org/10.33271/MINING15.04.056>
24. Nurpeissova, M., Rysbekov, K., Kenesbayeva, A., Bekbassarov, Z., & Levin, E. (2021). Simulation of geodynamic processes. *Engineering Journal of Satbayev University*, 143(4), 16-24. <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i4.03>
25. Kovalevska, I., Samusia, V., Kolosov, D., Snihur, V., & Pysmenkova, T. (2020). Stability of the overworked slightly metamorphosed massif around mine working. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 43-52. <https://doi.org/10.33271/mining14.02.043>

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Аналіз впливу надпрацювання на гірничі виробки, що закріплені композитним кріпленням.

**Методика.** Обчислювальний експеримент проведено на основі тривимірної моделювання геомеханічної системи підготовчої виробки із шаруватим породним масивом, що надпрацьовується лавою, методом скінченних елементів з використанням нелінійних закономірностей зміни напружено-деформованого стану досліджуваного об'єкта у програмному продукті Ansys Mechanical.

**Результати.** Розроблені розрахункові моделі геомеханічної системи дозволили визначити картину деформації композитного кріплення за різного його перерізу. найбільш висока концентрація напружень спостерігається при використанні базового металевих кріплення. Область  $\sigma_{\max}$  поширюється на 1,2 м і 1 м відповідно, після чого починається рівномірне зниження напружень. Область з максимальними напруженнями утворюється в центральній частині верхняка з невеликим ухилом у ліву сторону. При цьому при збільшенні перерізу композитного кріплення до 39 спостерігається поступове зменшення областей  $\sigma_{\max}$ . Результати досліджень дозволяють отримати максимально повну картину напружено-деформованого стану композитного кріплення виробки. На підставі проведених експериментів можна з високим ступенем об'єктивності визначити недоліки системи композитного кріплення, що буде покладено в основу для розробки раціональних параметрів кріплення із композитних матеріалів на великих глибинах.

**Наукова новизна.** Вперше розроблено та розраховано тривимірну модель шаруватого гірського масиву з системою композитного кріплення різних перерізів. Встановлено, що при використанні композитного кріплення з перерізом 39 області  $\sigma_{\max}$  мають найменші значення.

**Практична значимість.** Отримані результати доводять, що при надпрацюванні краще використовувати композитне кріплення перерізом 39, що разом з полегшенням конструкції та пришвидшенням роботи зміни буде сприяти розвитку підземного вуглевидобутку.

**Ключові слова:** гірничі виробки, композитне кріплення, максимальні напруження, моделювання, надпрацювання, напружено-деформований стан

## ABOUT AUTHOR

Sheka Ivan, PhD student, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho Avenue, Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: vsheka1996@gmail.com