

© В.І. Бондаренко¹, І.А. Ковалевська¹, Г.А. Симанович¹, Є.С. Цівка¹, І.В. Шека¹
¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КРІПЛЕННЯ З ВУГЛЕПЛАСТИКУ ДЛЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК НА ШАХТАХ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

© V. Bondarenko¹, I. Kovalevska¹, H. Symanovych¹, Ye. Tsivka¹, I. Sheka¹
¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

SUBSTANTIATION OF EFFICIENCY OF USE OF CARBON-FIBER REINFORCED PLASTIC FASTENERS FOR MINING PRODUCTS IN WESTERN DONBASS MINES

Мета. Проаналізувати можливість використання кріплення із композитних матеріалів та оцінити його перспективи для гірничих виробок вугільних шахт. Провести порівняльний аналіз фізико-механічних властивостей кріплень з вуглепластику та металу, а також порівняти їх особливості. Визначити можливість використання нового виду кріплення для гірничих виробок в умовах шахт Західного Донбасу.

Методика дослідження. Виконати аналіз кріпильних матеріалів та отримати загальну оцінку, завдяки фізико-механічним властивостям. Провести аналіз напружено-деформованого стану щодо можливого застосування арочного композитного кріплення круглого перерізу та визначити доцільність його використання для системи кріплення в складних гірничо-геологічних умовах.

Результати дослідження. Проведено детальний порівняльний аналіз напружено-деформованого стану шаруватого масиву після проходження виробки із застосуванням нового матеріалу в системі кріплення. У результаті дослідження було встановлено, що для вирішення проблеми нерівномірного розподілу гірського тиску навколо виробки краще застосувати нове композитне кріплення. Оцінено переваги та недоліки інноваційного кріплення для гірничих виробок вугільних шахт Західного Донбасу. Виявлено стримуючий фактор, який на сьогоднішній день негативно впливає на широке застосування даного матеріалу, а саме – висока вартість вуглецевих волокон. Встановлено, що при використанні композитного кріплення круглого перерізу можна досягти збільшення темпу проведення виробок, зменшення трудомісткості робіт та покращення умов праці гірників у складних гірничо-геологічних умовах.

Наукова новизна. Визначено закономірності напружено-деформованого стану шаруватого масиву з арочним композитним кріпленням щодо можливого застосування підтримки виробки зонах нерівномірного розподілу гірського тиску.

Практичне значення. За результатами дослідження встановлено, що при застосуванні арочного композитного кріплення можна досягти підвищення продуктивності, забезпечення надійності підтримки виробленого простору та покращення умов праці шахтарів.

Ключові слова: напружено-деформований стан, вуглепластик, композитне кріплення, фізико-механічні властивості, гірничі виробки.

Вступ. У ХХІ столітті вугільна промисловість залишається однією з найважливіших галузей світової економіки у багатьох країнах. В даний час значення

вугілля [1–2] знижується в основному через його негативний вплив на навколишнє середовище та переходу на альтернативні джерела енергії. Однак його використання в енергетиці в кілька разів дешевше за природний газ, що може дозволити вугледобувним компаніям нарощувати видобуток у періоди зростання цін на нафту та призвести до подорожчання вугілля. Впровадження нових технологій у галузі переробки та утилізації вугілля зробило його «чистим» джерелом енергії.

Довгострокові макроекономічні показники свідчать, що світ готовий повністю відмовитися від «вугільної» економіки. У той час як деякі країни поступово відмовляються від енергетичного вугілля, майбутні продажі та виробництво знизяться, але світовий попит залишиться стабільним. Наприклад, нині на вугілля припадає близько 40% світового виробництва енергії [3].

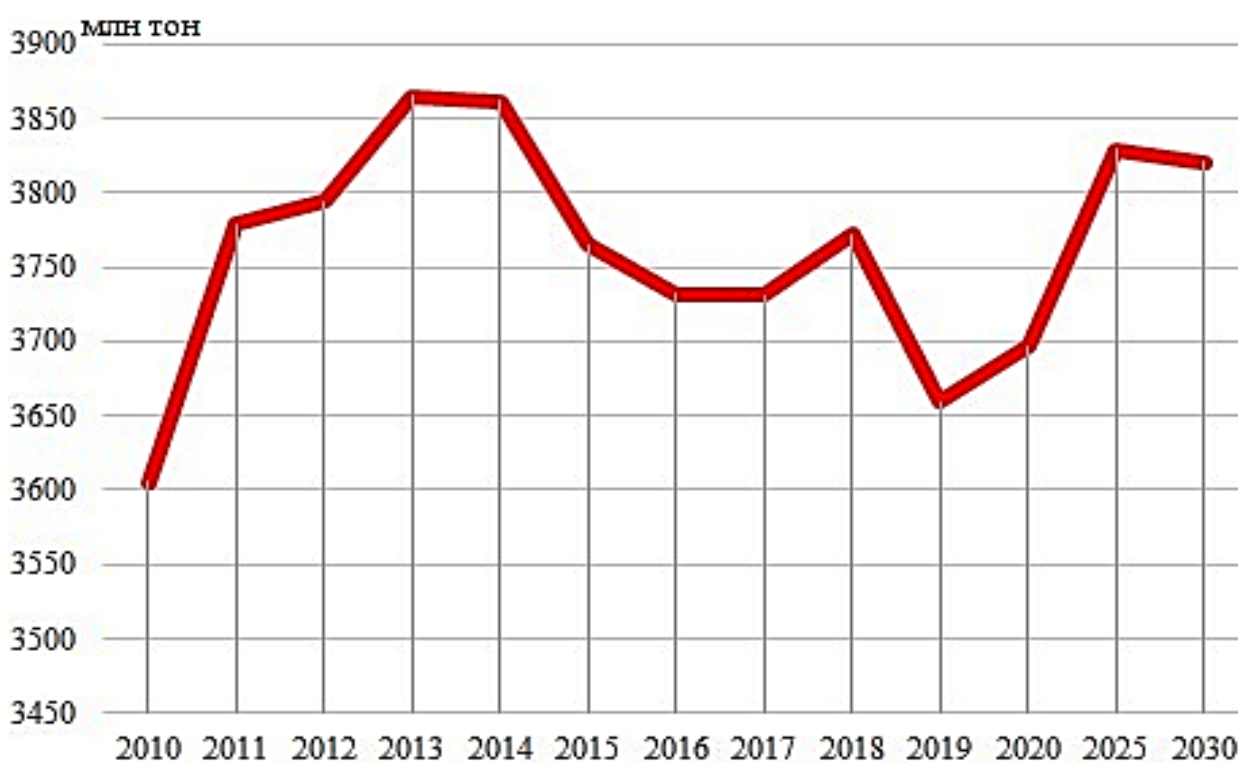


Рис. 1. Динаміка споживання вугілля у світі з 2010 по 2030 рр.

З даних рис. 1 можна зробити висновок, що вугільна промисловість є галуззю, що динамічно розвивається [4]. Високе споживання світових енергетичних компаній забезпечує стабільний попит. На думку експертів, за нинішнього рівня споживання світові запаси можуть бути використані приблизно за 230 років (60 років за природним газом та 40 років за нафтою), що вказує на перспективність вугілля як джерела енергії.

Аналізуючи тенденції розвитку вугільної промисловості України [5], слід зазначити, що умови видобутку дедалі більше ускладнюються, що є серйозною проблемою її розвитку (рис. 2). Тобто у міру збільшення глибини розробки погіршуються гірничо-геологічні умови та зростає потреба у забезпеченні стійкості гірничих виробок [6 – 7].

В Україні середня глибина видобутку вугілля близька до 800 м, при цьому 60,8% шахт працюють на глибині понад 600 метрів та 15% – понад 1000 м. Глибина розробки в Україні протягом останніх 30 років збільшилася в середньому на 505 м, або 16,8 м на рік.

Результати оцінки стійкості гірничих виробок українських шахт [9, 10] свідчать про те, що 14 – 17% із них перебувають у незадовільному стані. Деформація контуру виробки шахт в основному визначається напружено-деформованим станом вмісних порід. У гірничо-геологічних умовах шахтах Західного Донбасу [11] для забезпечення тривалої стабільності роботи застосовують до 100 різних видів кріплення. Найбільш поширені металеві аروحні кріплення, які в різних шахтах використовують від 52% до 96% свого обсягу. Більшість діючих шахт України переходять на металомісткі спеціальні профілі, такі як СВП 27 та СВП 33. Матеріали, що застосовуються для кріплення виробок, характеризуються великою витратністю конструкційних матеріалів, наслідком чого є низька швидкість монтажу, що супроводжується високою трудомісткістю та іншими недоліками.



Рис. 2. Деформація кріплення виробках на глибоких шахтах [8]

У міру збільшення глибини розробки погіршуються характеристики металу [12] як кріпильного матеріалу – його схильність до корозії і досить висока вартість. У зв'язку з цим потрібна модернізація системи кріплення за рахунок підвищення властивостей міцності конструкції залежно від навантаження тавмісної породи. Впровадження інноваційних матеріалів активно розвивається і відповідає певним цілям та завданням. До них відносяться: міцність, гнучкість, ресурсозбереження, екологічність та довговічність.

На думку авторів, підвищити властивості міцності системи кріплення можна за рахунок використання композиційних матеріалів [12]. Інноваційні матеріали володіють багатьма властивостями, придатними для кріплення гірничих виробок, але дослідження фізико-механічних властивостей показали [13, 14], що

вуглецеве волокно найкраще використовувати як кріпильний матеріал у вугільній промисловості завдяки його високій міцності на вигин (1190 МПа), низькій щільності (1500 кг/м^3), міцності на розтяг (1400 МПа) та ін.

Аналіз фізико-механічних властивостей композитів [15] показує, що вуглецеві волокна легкі (наприклад, у 5 разів легші за метали), стійкі до механічних впливів, гнучкі і можуть бути виготовлені будь-якої геометричної форми.

Однією із проблем використання вуглецевого волокна [16, 17] є його висока вартість. Після аналізу світових тенденцій на ринку композитів побудовано залежність, що вказує на те, що приблизно через 5 – 10 років вартість матеріалу зрівняється з вартістю металу (рис. 3).

Єдиний спосіб знизити собівартість – удосконалити автоматизований процес виробництва вуглецевого волокна, що дозволить знизити вартість матеріалів і допоможе бути конкурентоспроможними на ринку інноваційних та металевих матеріалів.

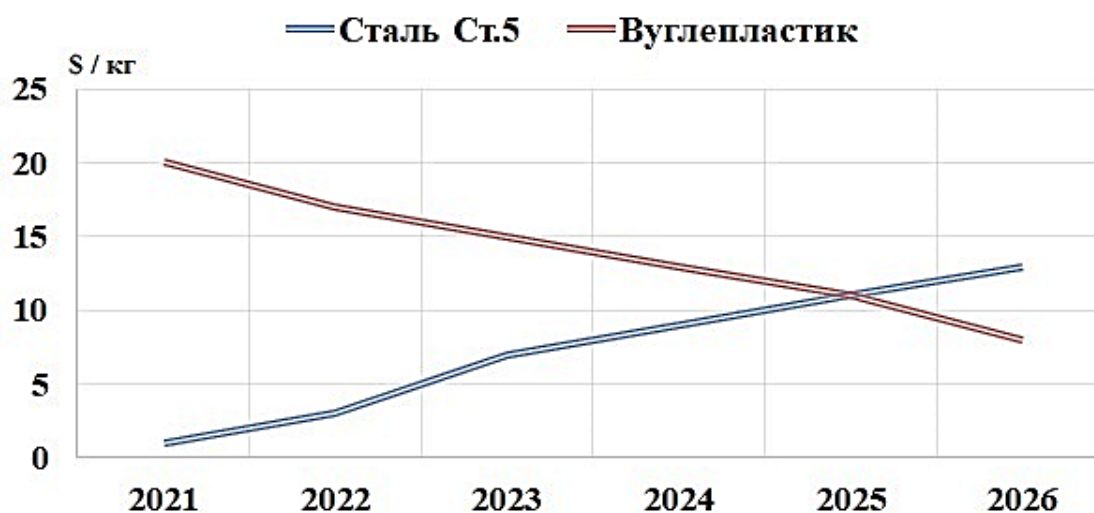


Рис. 3. Динаміка вартості сталі та вуглепластику з 2021 по 2026 рр.

Метою нашого дослідження було математичне моделювання гірського масиву із використанням вуглепластику для кріплення в реальних гірничо-геологічних умовах, аналіз напружено-деформованого стану та обґрунтування пропозицій щодо можливого застосування інноваційних кріплень.

Постановка та вирішення завдань дослідження. Для досягнення поставленого завдання дослідження, а саме використання вуглепластику у кріпленнях підготовчих виробок при видобуванні вугілля, необхідно детально створити модель шаруватого масиву із заданими фізико-механічними властивостями, використовуючи програмний продукт.

Існує безліч програмних продуктів для рішення задач з використанням методу скінченних елементів (ANSYS, SolidWorks, PHASE II, ELCUT та багато інших). Кожна програма має свої переваги і недоліки при розрахунку конкретної задачі [18 – 21].

Для моделювання напружено-деформованого стану масиву та рішення геомеханічної задачі ми обрали програмний продукт SolidWorks, який має широке

використання, здатний розв'язувати складні задачі геомеханіки та має доступний для користування.

Модель шаруватого масиву побудована за даними геологічних досліджень шахти імені Героїв Космосу. Для нашого дослідження ми обрали вугільний пласт C_5 501-ї лави. Геологічна потужність у цій лаві змінюється від 0,6 м до 1,62 м. В основній покрівлі пласта залягають пісковики (55%), аргіліти (25%) та алевроліти (20%). Безпосередня покрівля представлена шаруватим пісковиком та горизонтально-шаруватим аргілітом із залишками обвугленого детриту ($f = 0,7 - 1,8$). Безпосередня підшва представлена аргілітом комковатої текстури, який є дуже нестійким.

При веденні очисних робіт лава зустрічає складну гіпсометрію пласта і мурлоподібні прогини. Амплітуда прогину становить 2 – 2,5 м, що зумовлює залишок невідбитої вугільної пачки у покрівлі та підшві.

Модель структури прилеглого породного масиву навколо пласта C_5 (на базовій ділянці) містить 10 породних шарів та вугільних пластів, які побудовані відповідно до стратиграфічної колонки і представлена в такому вигляді: алевроліт потужністю 3,92 м; вугільний прошарок потужністю 0,78 м; аргіліт потужністю 0,7 м; пісковик потужністю 18,4 м; алевроліт потужністю 4 м; вугільний пласт C_5 потужністю 1,05 м; аргіліт потужністю 2,2 м; алевроліт потужністю 1,8 м; аргіліт потужністю 0,8 м; алевроліт потужністю 1,37 м.

Для отримання аналізу напружено-деформованого стану та точного розрахунку моделі необхідно прийняти висоту породного масиву 35 м (по координаті Y), а ширину моделі рівну 35 м (по координаті X). Відповідно до плану гірничих робіт глибина розташування 501 лави [22] становить $H = 450$ м (по вугільному пласту C_5).

Прийнята висота та ширина моделі дозволить зробити адекватний розрахунок напружено-деформованого стану шаруватого масиву у складних гірничо-геологічних умовах у програмному продукті SolidWorks (рис. 4).

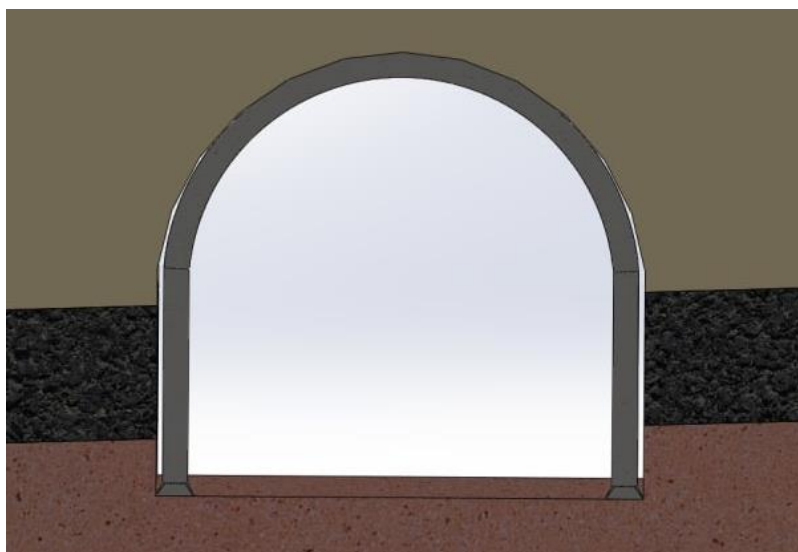


Рис. 4. Композитне арочне кріплення в умовах шахти ім. Героїв Космосу ($H = 450$ м)

Досягти мети нашого дослідження нам вдалось за допомогою комп'ютерного моделювання в програмному продукті SolidWorks, завдяки детально змодельованому кріпленню з вуглепластику круглого перерізу та сталі Ст.5 профілю СВП 27 для відповідних гірничо-геологічних умов. Для отримання коректного розподілу НДС масиву в умовах шахт Західного Донбасу (приклад, шахта ім. Героїв Космосу) нами використовувалася пружно-плоска постановка задачі та були враховані такі умови, як фізико-механічні властивості матеріалів та гірських порід, глибина ведення видобувних робіт, кут залягання пласта, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, модуль зсуву, масова щільність, межа міцності на стиск та розтяг (табл. 1). Також було використано спрощені розміри, у зв'язку з труднощами у розрахунках програми було взято висоту та ширину моделі рівні 35 м, товщину моделі – 10 м (10000 мм), кут падіння – 1°, глибина, де проводилося моделювання, – 450 м.

Для обґрунтування можливого застосування нового виду кріплення для гірничих виробок необхідно змодельувати та провести порівняльний аналіз напружено-деформованого стану: шаруватого масиву, арочного металевого кріплення (СВП 27) та композитного кріплення круглого перетину.

Головним етапом нашого дослідження був аналіз напружено-деформованого стану масиву по вертикальних та горизонтальних напруженнях, а також його інтенсивності.

Проблема визначення проявів гірського тиску, як і раніше, не втратила своєї актуальності, що підтверджується численними сучасними дослідженнями геомеханічних процесів навколо виробки.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості гірських порід [18]

Властивість	Найменування порід			
	алевроліт	аргіліт	пісковик	вугілля
Модуль пружності, МН/м ²	1970	2000	2500	3600
Коефіцієнт Пуассона	0,25	0,21	0,26	0,25
Модуль зсуву, МН/м ²	6000	6000	9500	1500
Масова щільність, кг/м ³	2510	2370	2600	1240
Межа міцності на розтяг, МН/м ²	3	2,8	5,6	5
Межа міцності на стиск, МН/м ²	25	18,5	28	30
Границя текучості, МН/м ²	25	18,5	28	30

Було прикладено навантаження 11,75 МПа, розраховане за формулою:

$$\sigma = \gamma \cdot H,$$

де γ – щільність породи (в середньому 2500 кг/м³), H – глибина видобутку (450 м).

Аналіз напружено-деформованого стану масиву гірських порід у незайманому стані, що знаходяться на глибині ($H = 450$ м) показав, що інтенсивність напружень коливається від 2,8 МПа до 13,9 МПа. Також можливе підвищення здимання в місцях залягання вугільного пласта і вугільного прошарку (рис. 5).

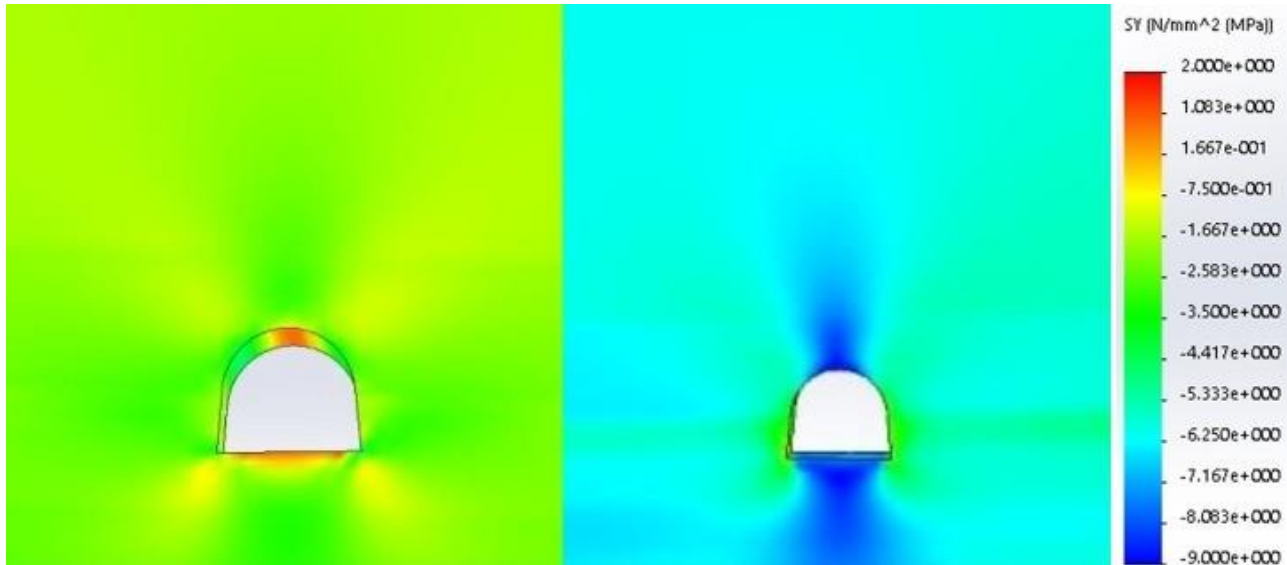


Рис.5. Аналіз НДС за горизонтальними та вертикальними напруженнями

Для цього стану масиву характерний такий діапазон від +1,15 МПа напруження на розтяг до -2,9 МПа на стиск, з точки зору горизонтальних напружень. Також спостерігається, що поблизу залягання вугільного пласта, а саме під ним розташована зона стиснення приблизно 8 м заввишки та 20 м завширшки, що є характерним для заданих умов.

При аналізі безпосередньої покрівлі спостерігаються напруження на розтяг. Значення від +1,15 до -9,5 МПа створюють зону ослаблення гірських порід, які руйнуються.

Розподіл вертикальних напружень у всьому масиві відбувається рівномірно (+3,5 – +4,5 МПа), тільки в місцях залягання вугільного прошарку та вугільного пласта видно напруження на стиск приблизно 9,9 МПа. Аналіз даних епюр показує, що результат значень напружень відповідають геостатичним напруженням масиву.

На наведених епюрах (рис. 5.) розподіл напружень відповідає умовам Західного Донбасу, тобто у нижній частині робочої області спостерігається здимання підосви. Площа цих змін більша, ніж у верхній частині області, спостерігається стиснення нижчих напружень, які зростають ближче до контуру. Розтяжні напруження створюють ослаблені зони знизу, оскільки гірські породи чинять слабкий опір розтягу при факторах пом'якшення. Звертаючи увагу на верхній і нижній шари вугільного пласта з коефіцієнтом Пуассона ($\mu = 0,21$), можна зробити висновок, що в стінках виробки діє напруження на стиск [23 – 25]. Якщо розрахувати горизонтальний тиск, ми отримаємо бічне навантаження виробки при цьому шару рівне приблизно 1,65 МПа.

Підсумовуючи результати моделювання, отримуємо обґрунтування у тому, що проведені дослідження суперечать чисельним геомеханічним дослідженням у цьому напрямі. Це підтверджує еквівалентність змодельованої моделі умов підтримання гірничих робіт у підземних умовах.

За результатами моделювання була виявлена проблема нерівномірного розподілу гірського тиску навколо виробки для заданих умов. Таким чином (рис.6), нами було змодельовано шаруватий масив з використанням арочного кріплення зі сталі Ст.5 (СВП27).

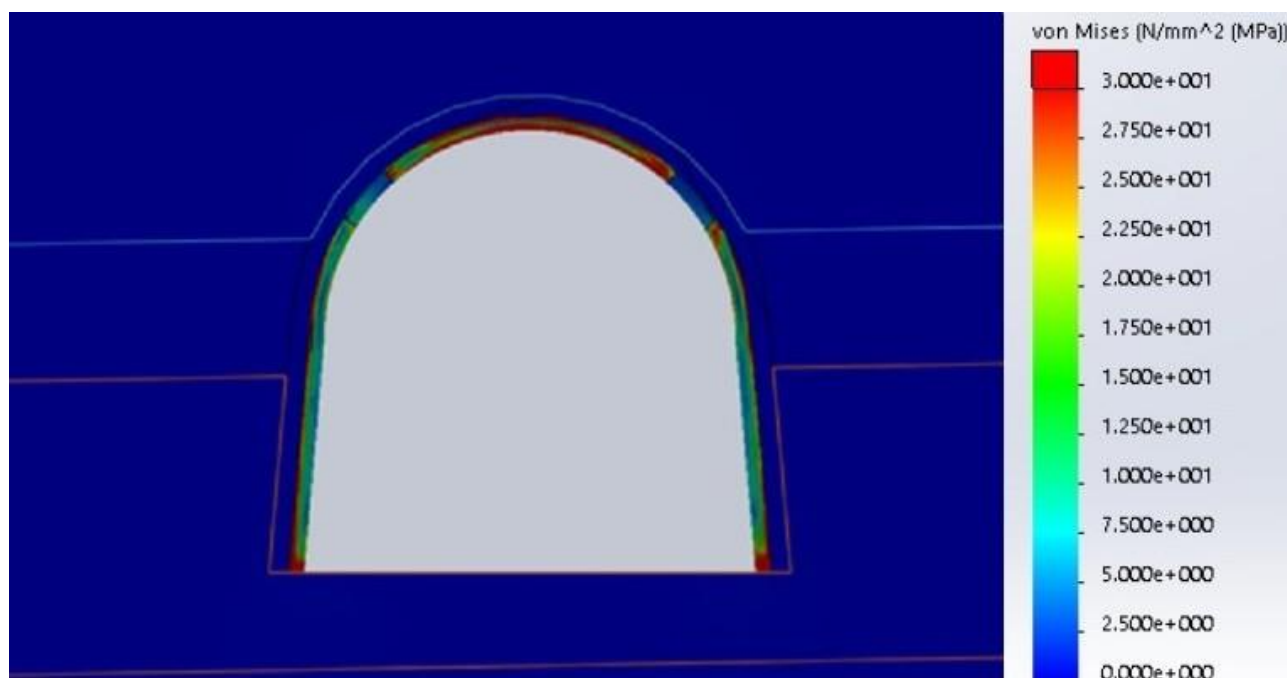


Рис.6. Аналіз НДС кріплення СВП 27 за інтенсивністю

При завантаженні масиву до 300 МПа було видно місцеві ділянки напружень при розтягу в замках та стояках рами, які позначено червоним кольором.

Верхняк рами піддавався місцевим розтяжним і невеликим стискаючим напруженням, а в стояках рами було видно значні стискаючі напруження, оскільки вони сприймають усі вертикальні навантаження. Горизонтальне напруження має високий ступінь стиснення у п'яті рами через накопичення тиску на стінки.

З аналізу цього виду кріплення видно, що інтенсивність напружень при кріпленні рами дуже велика. Таким чином, це кріплення зі сталі Ст.5 не є надійним та не виконує функції для рівномірного розподілу тиску навколо контуру виробки. Головними недоліками є корозія та складність монтажу кріплення.

Наступним кроком моделювання було використання композитного арочного кріплення круглого перерізу. За основу при дослідженні була використана модель арочного кріплення (розробники Бондаренко В.І, Ковалевська І.А, Цівка Є.С., Шека І.В., патент на корисну модель № 148395), зображено на рис.7.

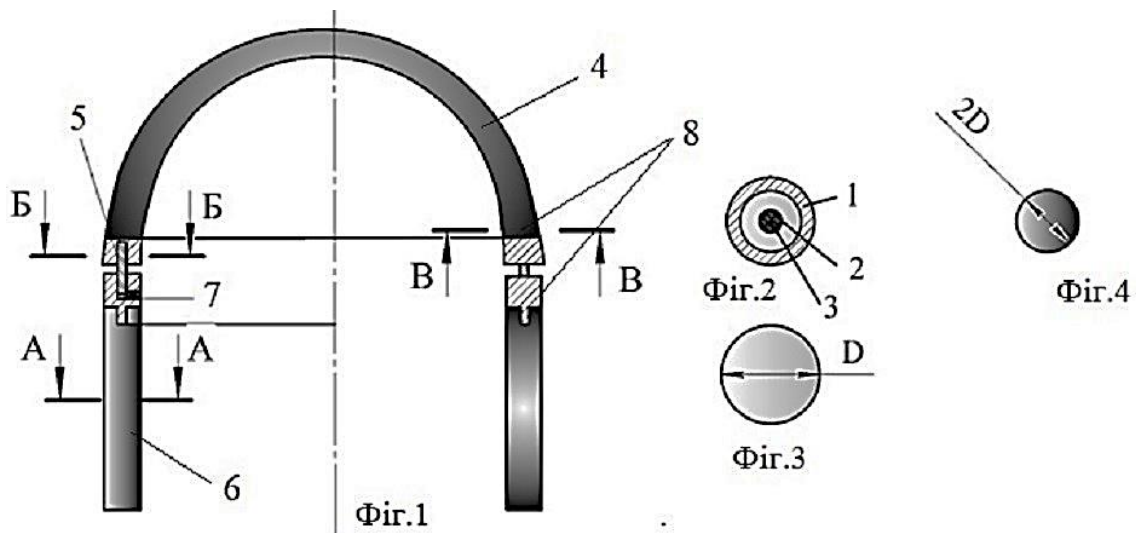


Рис. 7. Композитне арочне кріплення: 1 – сталь Ст.5, 2 – вуглепластик; 3 – пластиковий матеріал; 4 – арка постійного профілю; 5 – металевий стрижневий поршень; 6 – стояк постійного профілю; 7 – отвір для парафіну; 8 – податливий вузол

Дане кріплення працює при виникненні навколо гірничої виробки зони непружних деформацій, коли відбувається всебічне обтиснення порушеними породами.

При аналізі взаємодії стану шаруватого масиву з композитним кріпленням був встановлений діапазон від -30 МПа для напружень на стиск до +30 МПа для напружень на розтяг.

Враховуючи інтенсивність напружень, при аналізі НДС для арочного композитного кріплення, було встановлено напруження від 0 МПа до +300 МПа (рис. 8). У верхняку рами спостерігалися напруження від 20 МПа до 50 МПа, у п'ятах стояків спостерігалися найвищі напруження, що є нормальним станом роботи даного виду кріплення. Напруження в податливих вузлах коливались від 5 МПа до 15 МПа, бо це обумовлено новою технологією кріплення.

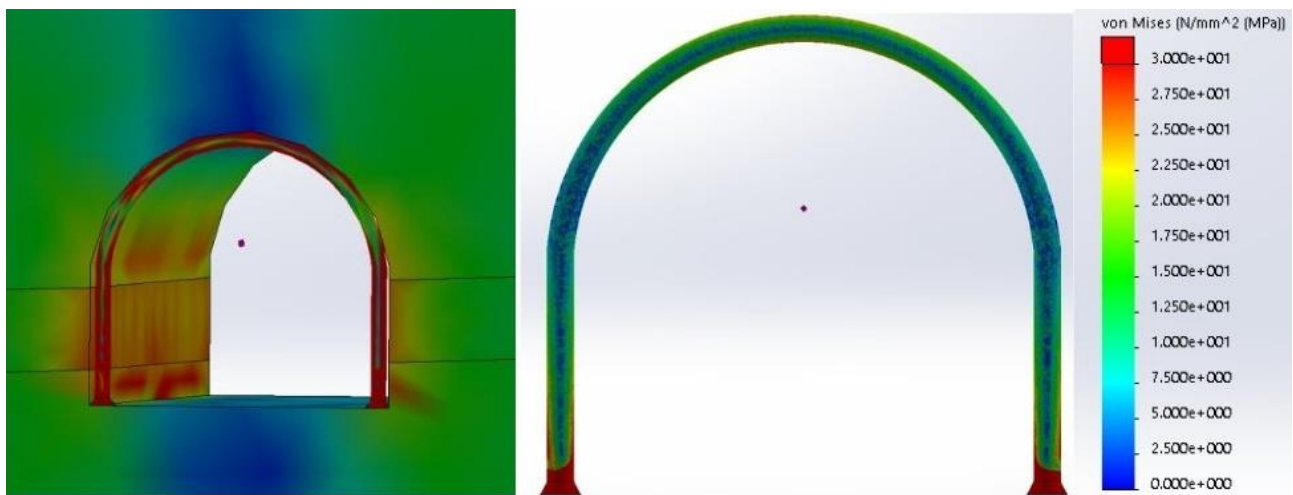


Рис. 8. Аналіз НДС композитного арочного кріплення

Порівнявши результати дослідження напружено-деформованого стану шаруватого гірського масиву з типовим кріпленням профілю СВП 27 та новим композитним кріпленням круглого перерізу, можна з упевненістю зробити такі висновки, що саме на глибинах розробки, притаманних для шахт Західного Донбасу, та складних гірничо-геологічних умовах з нестійкими породами необхідно звернути увагу на роль опорних характеристик систем кріплення.

Компоненти розподілу напружень відповідають існуючому уявленню про процеси деформації навколо виробки [26, 27]. Отримані результати не суперечили численним геомеханічним дослідженням в цій галузі.

При порівнянні характеристик кріплень видно, що арочне композитне кріплення має суттєві переваги над типовим. Дослідження показало, що інноваційне кріплення у 5 разів легше, ніж металеве; є стійкішим до механічних напружень, є гнучким та може бути виготовлене будь-якої геометричної форми. Таким чином, це кріплення допоможе забезпечити високу продуктивність роботи та буде безпечним при монтажі для гірників.

Висновки. Встановлено, що завдяки фізико-механічним властивостям вуглепластику зі своїми унікальними характеристиками такими, як висока щільність (1500 кг/м^3), питома міцність ($83 \cdot 10^3 \text{ км}$) та міцність при вигині (1190 МПа) він здатний сприймати високі напруження та може бути виготовлений різної геометричної форми.

Встановлено фізико-механічні властивості кріплень з металу та вуглепластику, які призначені для підтримки гірничих виробок та допоможуть запобігти нерівномірному розподілу гірського тиску.

Досліджено закономірності розподілу напружено-деформованого стану шаруватого масиву з використанням арочного металевого та композитного кріплень. Вони показали, що металеве кріплення з профілю СВП 27 має високу інтенсивність напружень у замках податливості (270 МПа) та у стояках рами (225 МПа), а композитне кріплення круглого перерізу має розподілену інтенсивність напружень по всьому контуру від 75 МПа до 180 МПа завдяки новим замкам податливості.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що арочне композитне кріплення круглого перерізу здатне протидіяти нерівномірному розподілу гірського тиску і його можна використовувати для підтримки гірничих виробок шахт Західного Донбасу в складних гірничо-геологічних умовах.

Використання нового виду кріплення виробок дозволить збільшити темпи проведення виробок, зменшити трудомісткість робіт та підвищити безпеку праці гірників.

Перелік посилань

1. Tkach, S.M., & Gavrilov, V.L. (2019). On regularities in coal industry development. *Problemy nedropol'zovaniâ*, (3).
2. *Powering Past Coal Alliance: 20 countries sign up to phase out coal power by 2030.*, (November 17, 2018). ABC News
3. Jewell, J., Vinichenko, V., Nacke L. et al. (2019). Prospects for power in gpast coal. *Nature Climate Change*, (9).

4. Timofeev, O.A., Sharipov, F.F., & Petrenko, B.V. (2021). COVID-19 pandemic impact on China's coal market. *Ugol'*, (1), 63-67.
<https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-1-63-673>
5. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (2017). Постанова Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. №605.
6. Бондаренко, В.И., Ковалевская, И.А., Симанович, Г.А., & Черватюк, В.Г. (2012). *Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве сланцевых пород*. ЛізуновПрес.
7. Бондаренко, В.И., Ковалевская, И.А., Симанович, Г.А., Барабаш, М.В., & Гусев, А.С. (2015). *Взаимодействие грузонесущих элементов крепижной системы выемочных выработок «массив – рама – анкер»*. Літограф.
8. Уголь в Украине <http://energetika.in.ua/ru/books/book-1/part-2/section-7/7-7>
9. *Coal industry across Europe*, 7th edition. <https://euracoal.eu/info/coal-industry-across-europe/>
10. Дрибан, В.А. (2000). Механизм деформирования массива горных пород вокруг выработок. *Проблеми гірського тиску*, (4), 172-182.
11. Забигаило, В.Е., Лукинов, В.В., Пимоненко, Л.И., & Сахневич, Н.В. (1994). *Тектоника и горно-геологические условия разработки угольных месторождений Донбасса*. Наукова думка.
12. Янко, С.В. (1993). *Повышение эффективности работы угольных шахт Украины*. Технпса.
13. *Composite materials* (n.d.). <https://compositesuk.co.uk/composite-materials/introduction>
14. Goncharov, A. A., Dub, S. N., Agulov, A. V., & Petukhov, V. V. (2015). Structure, composition, and mechanical properties of thin films of transition metals diborides. *Journal of Super hard Materials*, 37(6), 422-428.
<https://doi.org/10.3103/s1063457615060076>
15. Шека, І. В., & Цівка, Є. С. (2021). Обґрунтування вуглепластику як інноваційного матеріалу для кріплення гірничих виробок вугільних шахт. *Збірник Наукових Праць НГУ*, 64, 112–121.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.112>
16. Гращенко, Д.В., & Чурсова, Л.В. (2012). Стратегия развития композиционных и функциональных материалов. *Авиационные материалы и технологии*, 231-242.
17. Каблов, Е.Н. (2012). Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года. *Авиационные материалы и технологии*, (5), 7-17.
18. Amir, S.M.M., Sultan, M.T.H., Jawaaid, M., Ariffin, A.H., Mohd, S., Salleh, K.A.M., Ishak, M.R., & Shah, A.U.M. (2019). Nondestructive testing method for Kevlar and natural fiber and their hybrid composites. In *Durability and Life Prediction in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. Elsevier. 367-388.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102290-0.00016-7>
19. Kovalevska, I., Zhuravkov, M., Chervatiuk, V., Husiev, O., & Snihur, V. (2019). Generalization of trends in the influence of geomechanics factors on the choice of operation modes for the fastening system in the preparatory mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 13(3), 1-11.
<https://doi.org/10.33271/mining13.03.001>
20. Bondarenko, V., Kovalevs'ka, I., Svystun, R., & Cherednichenko, Yu. (2013). Optimal parameters of wall bolts computation in the united bearing system of extraction workings frame-bolts support. *Annual Scientific-technical Collection – Mining of Mineral Deposits 2013*, 5-10.
<https://doi.org/10.1201/b16354-2>
21. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Demchenko, Yu. (2019). Models and methods to make decisions while mining production scheduling. *Mining of Mineral Deposits*, 13(4), 53-62.
<https://doi.org/10.33271/mining13.04.053>

22. Fomychov, V., Fomychova, L., Khorolskyi, A., Mamaikin, O. & Pochevov, V. (2020). Determining optimal border parameters to design a reused mine working. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(24), 3039-3049.
23. Małkowski, P., Niedbalski, Z., Majcherczyk, T., & Bednarek, Ł. (2020). Underground monitoring as the best way of road ways support design validation in a long time period. *Mining of Mineral Deposits*, 14(3), 1-14.
<https://doi.org/10.33271/mining14.03.001>
24. Małkowski, P., Niedbalski, Z., & Balarabe, T. (2020). A statistic analysis of geomechanical data and its effect on rockmass numerical modeling: a case study. *International Journal of Coal Science & Technological*, 8(4), 1-12.
<https://doi.org/10.1007/s40789-020-00369-2>
25. Begalinov, A., Almenov, T., Zhanakova, R., & Bektur, B. (2020). Analysis of the stress deformed state of rocks around the haulage road way of the Beskempirfield (Kazakhstan). *Mining of Mineral Deposits*, 14(3), 28-36.
<https://doi.org/10.33271/mining14.03.028>
26. Babets, D., Sdvyzhkova, O., Shashenko, O., Kravchenko, K., & Cabana, E.C. (2019). Implementation of probabilistic approach to rock mass strength estimation while excavating through fault zones. *Mining of Mineral Deposits*, 13(4), 72-83.
<https://doi.org/10.33271/mining13.04.072>
27. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Symanovych, G., Sotskov, V., & Barabash, M. (2018). Geomechanics of interference between the operation modes of mine working support element at their loading. *Mining Science*, (25), 219-235.
<https://doi.org/10.5277/msc182515>

ABSTRACT

Purpose. To analyze the possibility of using support made of composite materials and evaluate its prospects for mine workings in coal mines. Conduct a comparative analysis of the physical and mechanical properties of carbon fiber and metal support, as well as compare their features. Determine the possibility of using a new composite lining for mine workings in the conditions of mines in the Western Donbas.

Research methodology. An analysis of fastening materials was carried out and a general assessment was obtained, thanks to the physical and mechanical properties. An analysis of the stress-strain state of the possible use of an arched composite fastening of a circular cross section was carried out and the expediency of its use for a fastening system in difficult mining and geological conditions was determined.

Research results. A detailed comparative analysis of the stress-strain state of a layered mass after the passage of a mine working was carried out using a new material in the fastening system. As a result of the study, it was concluded that in order to solve the problem of uneven distribution of rock pressure around the working, it is better to use a new composite fastening. The advantages and disadvantages of the innovative lining for the mine workings of coal mines in the Western Donbas are assessed. A limiting factor has been identified that today has a negative impact on the widespread use of this material, namely the high cost of carbon fibers. It was concluded that when using a composite lining of a circular cross section, it is possible to achieve an increase in the rate of workings, a decrease in the labor intensity of work and an improvement in the working conditions of miners in difficult mining and geological conditions.

Scientific novelty. The regularities of the stress-strain state of a layered massif with an arched composite lining are determined in relation to the possible use of working support in zones of uneven distribution of rock pressure.

Practical value. According to the results of the study, it was found that when using an arched composite lining, it is possible to achieve an increase in productivity, ensure the reliability of support for the goaf and improve the working conditions of miners.

Keywords: *stress-strain state, carbon fiber, composite support, physical and mechanical properties, mine workings.*