

УДК 622.28.042.44

**Шека І.В. доктор філософії зі спеціальності 184 «Гірництво», доцент кафедри гірничої інженерії та освіти***(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)***КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК:  
СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

В останні роки світовий ринок композитних матеріалів швидко розвивається [1], і в 2024 році його вартість перевищила 99 мільярдів доларів, при цьому фізичний обсяг становив 12 мільйонів тон [2, 3].

Композитні матеріали для кріплення гірничих виробок являють собою сучасні рішення, що використовують поєднання різних матеріалів з метою поліпшення механічних і експлуатаційних характеристик кріплень, а також підвищення безпеки гірників. Розвиток цих матеріалів пов'язаний із потребою в поліпшенні довговічності, ефективності та стійкості гірничих виробок, а також із вимогами до зниження ваги конструкцій і підвищення їхньої стійкості до впливу агресивних чинників.

Колектив авторів кафедри гірничої інженерії та освіти НТУ «Дніпровська політехніка» у своїх дослідженнях [4-7], спираючись на досвід застосування аналітичних методів розрахунку НДС гірського масиву та системи кріплення виробки, обґрунтував взаємодію композитного кріплення (з вуглепластику) з гірським масивом залежно від умов постановки задачі.

В даній роботі за допомогою аналітичного підходу досліджено основні типи композитних матеріалів для застосування у елементах кріплення гірничих виробок, їхні переваги та недоліки, актуальні тенденції розвитку та перспективи подальшого застосування.

Основні типи композитних матеріалів:

*Полімерні композитні матеріали (ПКМ).* Ці матеріали часто використовують як основу для анкерів, арматурних сіток та інших елементів кріплення. Вони містять полімери, армовані різними наповнювачами (скловолокном, вуглеволокном, базальтовим волокном тощо). Основні їхні переваги: стійкість до корозії – полімерні матеріали не піддаються впливу вологи, хімічних речовин і агресивних середовищ, що робить їх ідеальними для роботи в умовах високої вологості або за наявності гірських вод; легкість – вони значно легші за традиційні металеві матеріали, що спрощує транспортування і встановлення кріпильних елементів; висока міцність на розтягнення – завдяки армуванню волокнами такі матеріали мають високу міцність і здатні ефективно сприймати навантаження.

*Силові композитні матеріали.* Включають армовані полімери з посиленням вуглецевими або скляними волокнами. Ці матеріали можуть використовуватися для виробництва різних зміцнювальних елементів, таких як анкери, шпильки, стійки та інші елементи конструкції, що піддаються динамічним навантаженням. Їхні головні особливості: збільшена міцність і жорсткість; термостійкість і стійкість до хімічних впливів; пластичність і можливість створення складних форм для різних конструктивних рішень.

*Цементно-композитні матеріали.* Застосовуються як основа для створення облицювань і посиленних структур у гірничих виробках. Основні характеристики: використання полімерних добавок у цементній матриці дає змогу поліпшити її водовідштовхувальні властивості та підвищити опір механічним впливам. Можуть використовуватися для створення бетонних кріплень, які мають високу міцність і довговічність.

*Базальтові та вуглецеві композити.* Це нові та перспективні матеріали, які активно

досліджуються і застосовуються в гірничій справі. Базальтові волокна, наприклад, мають високий показник міцності та стійкості до високотемпературних впливів, що робить їх ідеальними для роботи в умовах високих температур і агресивних гірських вод. Вуглецеві волокна мають унікальні характеристики, такі як висока подовженість і міцність, а також хороша стійкість до механічних пошкоджень.

Сучасні тенденції використання композитних матеріалів полягає у наступному:

1. Нанотехнології. Використання наноматеріалів для створення поліпшених композитних смол і армувальних волокон. Це дає змогу істотно підвищити характеристики міцності та довговічності матеріалів.

2. Екологічність. Розвиток екологічно чистих і безпечних для довкілля композитних матеріалів, що важливо в умовах сучасного гірничого виробництва.

3. Інтеграція з цифровими технологіями. Застосування датчиків і систем моніторингу, інтегрованих у композитні матеріали, для контролю за станом кріплень і своєчасного виявлення проблем.

4. Перспективи в галузі поєднання з традиційними матеріалами: комбіновані кріплення, де використовуються як металеві, так і полімерні компоненти, дають змогу поєднувати переваги обох типів матеріалів.

Композитні матеріали для кріплення гірничих виробок – це сучасний і перспективний варіант розв'язання проблем, пов'язаних із довговічністю та безпекою у гірничих виробках. В майбутньому можна очікувати розвиток нових матеріалів, які будуть ще більш стійкими до зовнішніх впливів, а також такими, що знижують вплив на екологічну ситуацію.

#### Список використаних джерел:

1. Zhou, Y., Zhang, Y., Nie, Y., Sun, D., Wu, D., Ban, L., ... & Pan, X. (2025). Recent advances and perspectives in functional chitosan-based composites for environmental remediation, energy, and biomedical applications. *Progress in Materials Science*, 101460. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2025.101460>

2. Dagdag, O., & Kim, H. (2024). Advances in Flame Retardant Technologies for Epoxy Resins: Chemical Grafting onto Carbon Fiber Techniques, Reactive Agents, and Applications in Composite Materials. *Molecules*, 29(24), 5996. <https://doi.org/10.3390/molecules29245996>

3. Liu, J., Wei, X., Gao, L., Tao, J., Xu, L., Peng, G., & Zhou, J. (2023). An overview of C-SiC microwave absorption composites serving in harsh environments. *Journal of the European Ceramic Society*, 43(4), 1237-1254. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.11.040>

4. Tsivka, Y. (2024). Determination of the type of arched carbon fiber reinforced fastening of the preparatory opening for the conditions of the «Dniprovsk» mine in weakly metamorphized rocks. *Technology audit and production reserves*, 3(1 (77)), 35-40. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.306879>

5. Шека, І.В., Салеев, 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>

6. Бондаренко, В.І., Ковалевська І.А., Симанович, Г.А., Цівка, Є.С., & Шека, І.В. (2022). Обґрунтування ефективності використання кріплення з вуглепластику для гірничих виробок на шахтах Західного Донбасу. *Збірник Наукових Праць НГУ*, 68, 30–42. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/68.030>

7. Kovalevska, I.A., Bondarenko, V.I., Symanovych, H.A., Sheka, I.V., & Tsivka, Ye.S. (2023). Modeling the rational parameters for innovative fastening systems in mine workings using composite materials. *15th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering & 72nd Geomechanics Colloquium – Challenges in Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1538-1543.