

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.012.45:622.012.2

І. В. МЯСНИКОВ\*

\*Кафедра «Будівництво, геотехніка і геомеханіка», НТУ «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького 19, м. Дніпро, Україна, 49005, тел. (095) 706 91 66, ел. пошта miasnykov.i.v@nmu.one, ORCID 0000-0002-7525-6196

### АРМУВАННЯ БЕТОНУ СПЕЦІАЛЬНИМ ВОЛОКНИСТИМ МАТЕРІАЛОМ ПРИ ТОРКРЕТУВАННІ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

**Мета.** Практика застосування торкрет-бетону при кріпленні гірничих виробок виявила недолік даного методу. Він полягає в тому, що шар бетону налипаючи до сітки, не прилягає до поверхні виробки, тим самим утворюючи порожнини. Вирішення проблеми можливе в заміні армованої сітки на альтернативний матеріал. Таким чином, метою досліджень є – шляхом порівняльного аналізу обґрунтувати доцільність оптимізації технології кріплення гірничих виробок методом торкретування, на предмет заміни залізної сітки на спеціальну добавку до бетону на основі волокнистого матеріалу. **Методика.** Мета дослідження досягалась шляхом порівняльного аналізу результатів випробувань зразків бетону з доданими в його склад волокнистого матеріалу (поліпропілен), виконаними за іноземними нормами, і попередньо-отриманими даними комп'ютерного моделювання залізобетонної плити, щодо несучої здатності майбутнього шару торкретбетону. **Результати.** Аналіз отриманих даних виявив, що: 1) додавання такого матеріалу до складу бетону підвищить його несучу здатність як на стиск, так і на вигин; 2) його несуча здатність, в залежності від типу матеріалу та його дозування в суміші, може перевищувати несучу здатність залізобетону. Таким чином, беручи до уваги результати аналізу, можливо розглянути доцільність заміни залізної сітки на волокнистий матеріал. **Наукова новизна.** В дослідженні обґрунтована необхідність впровадження передових будівельних матеріалів, які вже почали використовувати в промисловому та цивільному будівництві, у складі бетону при кріпленні підземних гірничих виробок в умовах шахт або інших підземних виробок, які кріплять методом нанесення торкрет-бетону. **Практична значимість.** Запропонована в матеріалах дослідження добавка із поліпропіленового волокна, у порівнянні зі сталеву сіткою, має наступні переваги: виключення корозії; рівномірне, а також однорідне нанесення торкрет-бетону, зменшення усадкових тріщин в бетоні, запобігання розшаруванню бетонної суміші, зниження відскоку суміші, зменшення трудових витрат.

*Ключові слова:* залізобетон; дисперсноармований бетон; торкрет-бетон; гірничі виробки

#### Вступ

Поступове вичерпання запасів вугільних родовищ змушує проводити роботи з видобутку корисних копалин там, де раніше вони могли вважатися недоцільними, за рахунок значних матеріальних витрат, що в свою чергу неминуче знайде своє відображення в підвищенні вартості видобутої корисної копалини.

Забезпечення можливості таких робіт, за гірничо-геологічних умов, які поступово ускладнюються (Гапеев, & Сторчак, 2011; Солодянкін, А. В., Прокудин, Солодянкина, О. А., & Букин, 2020; Петренко, Банніков, & Нетеса, 2020), ставлять перед інженерами завдання розробки нових типів кріплення гірничих виробок, які при достатній несучої здатності мали б оптимальну ціну.

Прикладом вирішення такого завдання є широко розповсюджене застосування анкерного кріплення разом з тампонажем закріпного простору (Sdvyzhkova, Babets, Kravchenko, & Smirnov, 2016; Tereshchuk, Khoziaikina, & Babets, 2018). Показовим прикладом кріплення такого типу є система АСН-А (Солодянкін, А. В., Прокудин, Солодянкина, О. А., & Букин, 2020).

Для подальшого вдосконалення кріплення замість залізобетонної затяжки (міжрамна огорожа), яка має низьку міцність, високу вартість і трудомісткість установки, і, по суті, виконує функцію опалубки, може бути використаний більш технологічний і менш дорогий матеріал, а саме – міжрамна огорожа підвищеної несучої здатності (рис. 1) (Мясников, Гапеев, & Вигодин, 2019; Мясников, 2019; Мясников, 2020).

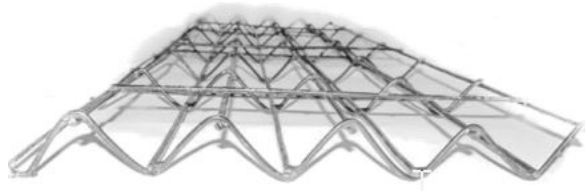


Рис. 1. Загальний вигляд міжрамної огорожі підвищеної несучої здатності

Практика використання торкрет-бетону по сталевій сітці виявила деякий недолік даного методу, а саме – торкретбетон, потрапляючи на поверхню сітки прилипає до неї, не досягаючи поверхні виробки. Таким чином з'являються порожнини між шаром бетону та поверхнею виробки, які в подальшому необхідно ліквідувати.

Одним із способів усунення недоліку може бути застосування волокнистого матеріалу в складі бетону, який вже зарекомендував себе в області промислового і цивільного будівництва. Матеріал на його основі отримав назву – дисперсноармований бетон (фібробетон) (Клюев, 2012; Клюев, & Авилова, 2013; Каприелов, & Чилин, 2013; Клюев, А. В., Клюев, С. В, Нетребенко, & Дураченко, 2014).

Фібробетон – бетон, армований рівномірно розподіленими в його об'ємі волокнами, що мають зчеплення з бетоном по їх поверхні.

Залежно від матеріалу, волокна діляться на п'ять основних різновидів: сталеві, полімерні, базальтові, поліпропіленові (рис. 2), скляні. Кожні з яких мають свої переваги і недоліки (Клюев, Нетребенко, Дураченко, & Пикалова, 2014). Варто зазначити, що для конкретного випадку необхідно підбирати як тип волокна, так і його дозування в суміші.



Рис. 2. Поліпропіленове волокно (фібра)

## Мета

Беручи до уваги результати наукових досліджень, обґрунтувати доцільність оптимізації технології кріплення гірничих виробок методом торкретування, на предмет заміни залізної сітки на спеціальну добавку до бетону – фібру.

## Методика

Як приклад, бралися випробування компанії «Fiberk» згідно зі стандартом EFNARC EN 14488-5: 2006. При випробуванні брався зразок квадратної пластини з певним дозуванням волокна, який пресом навантажується зосередженим зусиллям в центрі до тих пір, поки вигин зразка не досягне 25 мм.

Для випробувань використовувалася поліпропіленова фібра з такими характеристиками: довжина – 55 мм, діаметр – 0,91 мм, міцність на розтяг 560-650 МПа. Бетон класу С 20/25 (B25) з міцністю на стиск 32 МПа (326 кгс/см<sup>2</sup>).

## Результати

В процесі проведення досліджень підсумки заносили до таблиці (табл. 1).

Таблиця 1

Результати дослідів

Дозування, кг/м <sup>3</sup>	Максимальне навантаження, кг/см <sup>2</sup>
3,0	3,2
3,5	3,6
5,0	5,3

Оскільки зіставляти показники армованого і неармованого бетону некоректно, раніше було проведено комп'ютерне моделювання різних типів залізобетонних затяжок (Мясников, Гапеев, & Вигодін, 2019), в тому числі, підвищеної несучої здатності. В результаті випробувань було встановлено, що при бетоні В25, товщиною 5 см і арматурою діаметром 4 мм зразок досягне граничних деформацій при рівномірно розподіленому навантаженні в 2,5 т/м<sup>2</sup> (0,25 кг/см<sup>2</sup>).

Підвищення характеристик бетону при додаванні різного роду фібри також доведено іноземними дослідженнями, які показали, що, поліпропіленові волокна, які включаються в бетонні зразки збільшують міцність бетону на

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

стиск від 10 % до 60 %, при вигині – від 10 % до 200 %.

**Наукова новизна та практична значимість**

Шляхом порівняльного аналізу результатів випробувань, була обґрунтована можливість заміни сталеві сітки на фібру у складі бетону при торкретуванні гірничих виробок.

Переваги такої заміни:

- 1) виключення корозії;
- 2) рівномірне, а також однорідне нанесення торкретбетону;
- 3) зменшення усадкових тріщин в бетоні;
- 4) запобігання розшарування бетонної суміші;
- 5) зниження відскоку суміші;
- 6) зменшення трудомісткості робіт.

Дані переваги також важливі не тільки для підземних виробок шахт, а і для виробок, при спорудженні яких використовується метод торкретування наприклад – тунелів метрополітену методом НАТМ (Мясников, 2020). Адже складні інженерно-геологічні умови будівництва тунелів метрополітенів, обумовлені наявністю водонасичених ґрунтів суттєво зменшують можливість надійної і довготривалої експлуатації підземних об'єктів. В таких умовах, разом з роботами по водовідведенню, застосування даної технології дозволить створити більш гладку поверхню виробки, що поліпшить якість проклейки майбутнього шару гідроізоляції.

**Висновки**

Зважаючи на вищевикладені переваги, до яких відносяться як спрощення самої технології торкретування, так і підвищення несучої здатності самого шару бетону – заміна сталеві (арматурної) сітки на матеріал на основі поліпропіленової фібри можлива. Однак, з метою запобігання нерегламентованих випадків, слід розробити систему науково-технічного супроводу в процесі будівельних робіт. В якому необхідно буде зазначити наступне:

- 1) визначити рецептуру суміші з описом методики контролю її якості (рухливість, жорсткість, осадку конуса і т.п.);
- 2) методику контролю якості майбутнього торкретбетону;
- 3) програму майбутнього геотехнічного моніторингу за станом закріпленого гірського масиву.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Sdvyzhkova, O. O., Babets, D. V., Kravchenko, K. V., & Smirnov, A. V. (2016). Determining the displacements of rock mass nearby the dismantling chamber under effect of plow longwall. *Scientific bulletin of National Mining University*, 2, 34-42.
- Tereshchuk, R. M., Khoziaikina, N. V., & Babets, D. V. (2018). Substantiation of rational roofbolting parameters. *Scientific bulletin of National Mining University*, 1, 19-26.
- Гапеев, С. Н., & Сторчак, Г. Г. (2011). *Анализ причин возникновения несимметричной нагрузки на рамную металлическую крепь и направления повышения ее несущей способности*. Перспективы освоения подземного пространства. 94-99.
- Каприелов, С. С., & Чилин, И. А. (2013). Сверхвысокопрочный самоуплотняющийся фибробетон для монолитных конструкций. *Строительные материалы*, 28-30.
- Клюев, С. В. (2012). Высокопрочный фибробетон для промышленного и гражданского строительства. *Инженерно-строительный журнал*, 8(34), 61-66.
- Клюев, С. В., & Авилова, Е. Н. (2013). Мелкозернистый фибробетон с использованием полипропиленового волокна для покрытия автомобильных дорог. *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*, 1, 37-40.
- Клюев, А. В., Клюев, С. В., Нетребенко, А. В., & Дураченко, А. В. (2014). Мелкозернистый фибробетон армированный полипропиленовым волокном. *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*, 4, 67-72.
- Клюев, С. В., Нетребенко, А. В., Дураченко, А. В., & Пикалова, Е. К. (2014). *Монолитный фибробетон для полов промышленных зданий*. Искусствоведение, архитектура и строительство – Современные строительные технологии и материалы.
- Мясников, І. В. (2019). *Загальні передумови до розробки моделі комбінованого кріплення виробок глибоких вугільних шахт*. Перспективи розвитку будівельних технологій. Дніпро: НТУ «ДП», 28-32.
- Мясников, І. В. (2020). *Система НАТМ та капітальні гірничі виробки вугільних шахт*. Перспективи розвитку будівельних технологій. Дніпро: НТУ «ДП», 85-90.
- Мясников, І. В., Гапеев, С. М., & Вигодін, М. О. (2019). Випробування міжрамних огорожень за допомогою комп'ютерного моделювання. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 15, 47-53.
- Петренко, В. Д., Банніков, Д. О., & Нетеса, М. І. (2020). Геофізичні дослідження та укріплення шаруватого та водонасиченого ґрунтового ма-

сиву в умовах Київського метрополітену. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 17, 62-72.

Солодянкин, А. В., Прокудин, А. З., Солодянкина, О. А., & Букин, Я. А. (2020). *Конструкция и*

*технология возведения комбинированной крепи капитальных выработок шахт, проводимых в сложных геотехнических условиях*. Перспективы розвитку будівельних технологій. Дніпро: НТУ «ДП», 140-144.

И. В. МЯСНИКОВ\*

\*Кафедра «Строительство, геотехника и геомеханика», НТУ «Днепропетровская политехника», пр. Д. Яворницького 19, Днепр, Украина, 49005, тел. (095) 706 91 66, эл. почта miasnykov.i.v@nmu.one, ORCID 0000-0002-7525-6196

## АРМИРОВАНИЕ БЕТОНА СПЕЦИАЛЬНЫМ ВОЛОКНИСТЫМ МАТЕРИАЛОМ ПРИ ТОРКРЕТИРОВАНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

**Цель.** Практика применения торкрет-бетона при креплении горных выработок обнаружила недостаток данного метода. Он заключается в том, что слой бетона прилипает к сетке, не достигая поверхности выработки, тем самым образуя пустоты. Решение проблемы возможно в замене армированной сетки на альтернативный материал. Таким образом, целью исследований является – путем сравнительного анализа обосновать целесообразность оптимизации технологии крепления горных выработок методом торкретирования на предмет замены металлической сетки на специальную добавку к бетону на основе волокнистого материала. **Методика.** Цель исследования достигалась путем сравнительного анализа результатов испытаний образцов бетона с добавленными в его состав волокнами (полипропиленовая фибра), выполненными согласно иностранным нормами, с предварительно полученным данным компьютерного моделирования железобетонной плиты, касательно несущей способности будущего слоя набрызг-бетонной крепи. **Результаты.** Анализ полученных данных выявил, что: 1) добавка волокнистого материала в состав бетона повысит его несущую способность как на сжатие, так и на изгиб; 2) его несущая способность, в зависимости от типа материала и его дозировки в смеси, может превышать несущую способность железобетона. Таким образом, принимая во внимание результаты анализа, можно судить о целесообразности замены металлической сетки на волокнистый материал. **Научная новизна.** В исследовании обоснована необходимость внедрения передовых строительных материалов, которые уже начали использовать в промышленном и гражданском строительстве, в составе бетона при креплении подземных горных выработок в условиях шахт или других подземных сооружений, которые крепят методом торкретирования. **Практическая значимость.** Предложенная в материалах исследования добавка из полипропиленового волокна к бетону, по сравнению со стальной сеткой, имеет следующие преимущества: исключение коррозии; равномерное, а также однородное нанесение торкрет-бетона, уменьшение усадочных трещин в бетоне, предотвращает расслаивание бетонной смеси, снижение отскока смеси, уменьшение трудоемкости работ.

*Ключевые слова:* железобетон; дисперсноармированный бетон; торкрет-бетон; горные выработки

I. V. MIASNYKOV\*

\*Department «Construction, geotechnics and geomechanics», NTU «Dnipro Polytechnic», pr. Dmytra Yavornytskoho 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. (095) 706 91 66, e-mail miasnykov.i.v@nmu.one, ORCID 0000-0002-7525-6196

## CONCRETE REINFORCEMENT WITH A SPECIAL FIBROUS MATERIAL WHEN MINE WORKINGS GUNNING

**Purpose.** The practice of using shotcrete for fastening mine workings has revealed the disadvantage of this method. It consists in the fact that a layer of concrete adheres to the mesh, not reaching the working surface, thereby forming voids. The solution to the problem is possible in replacing the reinforced mesh with an alternative material. Thus, the purpose of the research is – by means of a comparative analysis, to substantiate the expediency of optimizing the technology of fastening mine workings by the method of gunning in order to replace the metal mesh with a special additive to concrete based on fibrous material. **Methodology.** The purpose of the study was achieved by comparative analysis of the results of testing concrete samples with added fibers (polypropylene fiber), made in accordance with foreign standards, with preliminary data obtained from computer modeling of a reinforced concrete

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

slab, regarding the bearing capacity of the future layer of sprayed concrete lining. **Results.** Analysis of the data obtained revealed that: 1) the addition of fibrous material to the composition of concrete will increase its bearing capacity both in compression and in bending; 2) its bearing capacity, depending on the type of material and its dosage in the mixture, may exceed the bearing capacity of reinforced concrete. Thus, taking into account the results of the analysis, it is possible to judge the advisability of replacing the metal mesh with a fibrous material. **Originality.** The study substantiates the need for the introduction of advanced building materials, which have already begun to be used in industrial and civil construction, in the composition of concrete for fastening underground mine workings in mines or other underground structures, which are fastened by the method of gunning. **Practical value.** The addition of polypropylene fiber to concrete proposed in the research materials, in comparison with steel mesh, has the following advantages: elimination of corrosion; uniform, as well as uniform application of shotcrete, reduction of shrinkage cracks in concrete, prevents delamination of the concrete mixture, reduction of rebound of the mixture, reduction of labor intensity.

*Keywords:* reinforced concrete; dispersed reinforced concrete; shotcreting; mine workings

## REFERENCES

- Sdvyzhkova, O. O., Babets, D. V., Kravchenko, K. V., & Smirnov, A. V. (2016). Determining the displacements of rock mass nearby the dismantling chamber under effect of plow longwall. *Scientific bulletin of National Mining University*, 2, 34-42. (in English)
- Tereshchuk, R. M., Khoziaikina, N. V., & Babets, D. V. (2018). Substantiation of rational roofbolting parameters. *Scientific bulletin of National Mining University*, 1, 19-26. (in English)
- Gapeev, S. N., & Storchak, G. G. (2011). *Analiz prichin vozniknoveniya nesimmetrichnoy nagruzki na ramnyuyu metallicheskiy krep i napravleniya povysheniya ee nesushchey sposobnosti*. Perspektivy osvoeniya podzemnogo prostranstva. 94-99. (in Russian)
- Kaprielov, S. S., & Chilin, I. A. (2013). Sverkhvysokoprochnyy samouplotnyayushchiysya fibrobeton dlya monolitnykh konstruksiy. *Stroitelnye materialy*, 28-30. (in Russian)
- Klyuev, S. V. (2012). Vysokoprochnyy fibrobeton dlya promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*, 8(34), 61-66. (in Russian)
- Klyuev, S. V., & Avilova, Ye. N. (2013). Melkozernisty fibrobeton s ispolzovaniem polipropilenovogo volokna dlya pokrytiya avtomobilnykh dorog. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova*, 1, 37-40. (in Russian)
- Klyuev, A. V., Klyuev, S. V., Netebenko, A. V., & Durachenko, A. V. (2014). Melkozernisty fibrobeton armirovanny polipropilenovym voloknom. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova*, 4, 67-72. (in Russian)
- Klyuev, S. V., Netebenko, A. V., Durachenko, A. V., & Pikalova, Ye. K. (2014). *Monolitnyy fibrobeton dlya polov promyshlennykh zdaniy*. Iskusstvovedenie, arkhitektura i stroitelstvo – Sovremennye stroitelnye tekhnologii i materialy. (in Russian)
- Kljuev, S. V., Netebenko, A. V., Durachenko, A. V., & Pikalova, E. K. (2014). *Monolitnyy fibrobeton dlja polov promyshlennykh zdaniy*. Iskusstvovedenie, arkhitektura i stroitel'stvo – Sovremennye stroitel'nye tekhnologii i materialy.
- Miasnykov, I. V. (2019). *Zahalni peredumovy do rozrobky modeli kombinovanoho kriplennia vyrobok hlybokykh vuhilnykh shakht*. Perspektivy rozvytku budivelnykh tekhnolohii. Dnipro: NTU «DP», 28-32. (in Ukrainian)
- Miasnykov, I. V. (2020). *Systema NATM ta kapitalni hirnychi vyrobky vuhilnykh shakht*. Perspektivy rozvytku budivelnykh tekhnolohii. Dnipro: NTU «DP», 85-90. (in Ukrainian)
- Miasnykov, I. V., Hapieiev, S. M., & Vyhodin, M. O. (2019). Vyprovuvannya mizhramnykh ohorodzhen za dopomohoiu kompiuternoho modeliuвання. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 15, 47-53. (in Ukrainian)
- Petrenko, V. D., Bannikov, D. O., & Netesa, M. I. (2020). Heofizychni doslidzhennia ta ukriplennia sharuvatoho ta vodonasychenoho gruntovoho masyvu v umovakh Kyivskoho metropolitenu. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 17, 62-72. (in Ukrainian)
- Solodyankina, A. V., Prokudin, A. Z., Solodyankina, O. A., & Bukin, Ya. A. (2020). *Konstruksiya i tekhnologiya vozvedeniya kombinirovannoy krepki kapitalnykh vyrobok shakht, provodimykh v slozhnykh geotekhnicheskikh usloviyakh*. Perspektivy rozvytku budivelnykh tekhnolohii. Dnipro: NTU «DP», 140-144. (in Russian)

Надійшла до редколегії 30.04.2020.

Прийнята до друку 22.05.2020.