

В.Г. Кравець, Г.І. Гайко, С.В. Зайченко, С.М. Стовпник

ПРОГРЕСИВНИЙ СПОСІБ АНКЕР-БЕТОННОГО КРІПЛЕННЯ КАПІТАЛЬНИХ ВИРОБОК ШАХТ І ТУНЕЛІВ

Обґрунтовано ефективність формування бетонної оправи капітальних виробок роликвим ущільненням. Розкрито новий спосіб спорудження анкер-бетонного кріплення, що використовує технологію роликвого ущільнення бетону. Описано технічні засоби й наведено окремі параметри застосування способу.

ПРОГРЕССИВНЫЙ СПОСОБ АНКЕР-БЕТОННОГО КРЕПЛЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ШАХТ И ТОННЕЛЕЙ

Обоснована ефективність формування бетонної обделки капітальних виробок роликвим ущільненням. Раскрыто новый способ сооружения анкер-бетонной крепи, использующий технологию роликвого ущільнення бетону. Описаны технические средства и приведены отдельные параметры применения способа.

PROGRESSIVE METHOD OF ANCHOR-CONCRETE SUPPORT OF CAPITAL MINE WORKINGS AND TUNNELS

The efficiency of roller compaction under capital mine workings concrete frame formation is substantiated. New method of construction of anchor-concrete lining technology based on roller compaction is presented. The technical means and application parameters of this method are given.

ВСТУП

В умовах високого гірського тиску, значної площі перерізу виробок та тривалого терміну служби основним типом кріплення капітальних виробок залишаються монолітні бетонні (залізобетонні) оправи. Серед їх основних недоліків слід зазначити недостатньо ефективну роботу в умовах нерівномірного розподілу навантажень, неможливість швидкого введення кріплення в роботу, високу матеріаломісткість оправи, що значною мірою визначається недостатньою щільністю монолітного бетону, розміщеного в опалубці. Недостатня результативність традиційних способів ущільнення бетону в опалубці та підвищений вміст води (для забезпечення необхідної пластичності

пересування бетонної суміші) сприяють утворенню численних пор різних розмірів, які суттєво зменшують міцність і сповільнюють час тужавіння бетону [1].

Спроби замінити монолітні бетонні оправи кількома шарами набризк-бетону знайшли обмежену область застосування. Недоліками набризку є значні втрати бетону під час відскоку від поверхні, а також неможливість забезпечити значну товщину утвореного бетонного шару (понад 40 – 50 мм) за один цикл набризку, що передбачає повторення процесу набризку вже на затужавілий шар бетону (іноді кількаразове) і суттєво збільшує строк формування заданого відпору кріплення. Крім того, нанесення бетонного шару ведеться в умовах високого запилення рудникового повітря

(важкі умови праці), а естетичний вигляд кріплення, яке повторює нерівності контуру, поступається монолітним бетонним конструкціям. При цьому значно зростають коефіцієнт аеродинамічного опору оправи і витрати на провітрювання виробки. З погляду на це монолітні й набризкові технології тривалий час будуть співіснувати, що потребує вдосконалення обох способів зведення бетонних оправ.

Проблема зменшення й вирівнювання навантажень на периметрі оправи значною мірою може бути вирішена за допомогою анкерних систем. Проте для забезпечення відповідності за механічними характеристиками та терміном служби анкерів і бетонної оправи сталеві стрижні (або канати) необхідно закріплювати по всій довжині цементними розчинами, що потребує більш ефективних способів монтажу таких конструкцій (за прикладом сталевополімерних анкерів).

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Авторами було поставлено завдання створення анкер-бетонного кріплення капітальних виробок, яке б базувалося на сучасних енергоефективних і ресурсозберігаючих технологіях. Одним з прогресивних способів формування монолітних бетонних конструкцій є пресування бетону роликками (циліндрами), які, обертаючись, швидко переміщуються по поверхні бетонного шару. Метод знайшов застосування в наземному й дорожньому будівництві [2] і має значні перспективи впровадження в практику освоєння підземного простору.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для порівняння властивостей відформованих бетонних зразків, отриманих роликковим ущільненням, зі зразками, виготовленими традиційним вібраційним способом формування, використовувалась (в обох випадках) бетонна суміш з вмістом води $W = 12\%$, яка найкраще підходить

для умов звичайного віброущільнення. Для віброущільнення використовувалась лабораторна віброплощадка, яка забезпечувала коливання з кутовою швидкістю 300 с^{-1} й амплітудою $0,0005\text{ м}$. Роликкове ущільнення здійснювали на формувальному агрегаті на базі верстата ІМ 552 (рис. 1) [3].

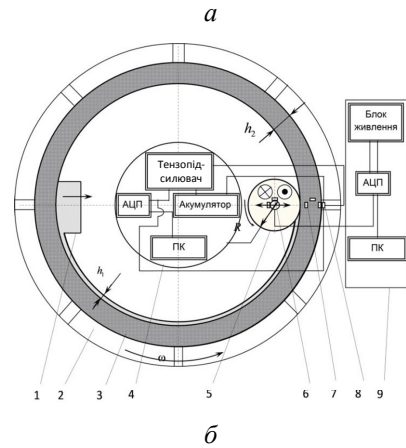


Рис. 1. Експериментальна установка роликкового формування: а – схема; б – зовнішній вигляд; 1 – завантажувальний бункер; 2 – планшайба; 3 – циліндрична форма; 4 – вимірювально-реєструючий блок напружень і переміщень форми; 5 – роликковий робочий орган; 6 – датчики зусилля; 7 – мембранні датчики тиску; 8 – датчик положення форми; 9 – блок реєстрації зусиль робочого органа

Роликові робочі органи встановлювали у конус силової вимірювальної головки, закріпленої на правому супорті верстата. Його кінематика дозволяла переміщувати роликові робочі органи у вертикальній площині за рахунок горизонтального та вертикального переміщення верхніх супортів. Процес роликового формування забезпечувався коловим рухом робочих органів відносно циліндричної форми, встановле-

ної на планшайбі верстата. В експериментальній установці було передбачено регулювання швидкості переміщення робочого органа, осьової швидкості формування, товщини виробу, типу і діаметра робочого органа, розміру зони взаємодії тощо.

Результати виміру міцності бетонних зразків на одноосьове стиснення у часі наведено в таблиці.

МІЦНІСТЬ БЕТОННИХ ЗРАЗКІВ НА СТИСНЕННЯ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ УЩІЛЬНЕННЯ

Таблиця

Час після формування, год	Вібрований бетон σ_{cm} , МПа	Бетон, отриманий роликовим ущільненням σ_{cm} , МПа
0,2	0,01	0,085
2	0,02	0,51
4	0,25	0,93
6	0,3	1,47

З аналізу даних, наведених у таблиці, випливає, що міцність бетону, отриманого роликовим ущільненням, має набагато вищі показники порівняно з віброваним бетоном, особливо на початкових стадіях роботи. Аналізуючи динаміку зміни міцності, можна також відзначити значно більшу швидкість зростання міцності бетону роликового формування порівняно з віброваним бетоном. Підвищена початкова міцність бетону, отриманого роликовим ущільненням, пояснюється створенням більш тонкої капілярно-пористої структури матеріалу. Зближення твердих частинок посилює молекулярну взаємодію і сприяє утворенню значних капілярних сил, які виконують всебічне обтискання бетону. Ці сили утримують частинки відформованого бетону, що призводить до підвищення його початкової міцності. Зростання міцності бетону при віброущільненні відбувається також за рахунок гідратації цементу. Дотичні напруження та деформації в оброблюваному середовищі при дії робочого органа за кожний цикл навантажень, що змінюються від нуля до максимального значення, є головним чинником активації бу-

дівельних сумішей. Фактором збільшення швидкості протікання реакцій є наявність нормальної складової тиску, яка в процесі роликового ущільнення може набувати суттєвих значень (до 1,5 МПа). Крім того, внаслідок багатоциклічного навантаження роликовими робочими органами відбувається подрібнення гідратованого клінкера в цементному гелі, що призводить до підвищення дисперсності та її вирівнювання в об'ємі. Навіть після повного набору міцності (28 діб) різниця кінцевих значень міцності на стиснення зразків бетону роликового формування і віброваного дорівнює 20% (відповідно 50 і 40 МПа).

Особливо важливою перевагою роликового ущільнення є можливість ущільнювати наджорсткі суміші з мінімальним вмістом води з досягненням високих значень коефіцієнта ущільнення ($K = 0,99$). При цьому зростає значення міжгранульної взаємодії компонентів, які вступають в реакцію тим активніше, чим більше контактів виникає між ними. Міцність бетону, ущільненого роликами, у порівнянні з традиційним віброущільненням зростає майже в 1,5 рази. Якщо враховувати, що віброущі-

льнення бетону за опалубкою в гірничих виробках у багатьох випадках не виконується взагалі, то цей показник може виявитись значно більшим.

Виходячи з отриманих переваг роликового формування бетону в НТУУ «КПІ», розроблений спосіб анкер-бетонного кріплення гірничих виробок (рис. 2), який передбачає закріплення в гірському масиві навколо виробки анкерів по всій довжині їх стрижнів і нанесення шару бетону по контуру закріпленої анкерами виробки, причому бетонний шар формують шляхом пресування бетону роликми за допомогою планетарного (ротаторного) механізму, що обертається по контуру виробки. Формування бетонного шару може розпочинатися зі склепінчастої частини покрівлі, переходячи до боків і підшви виробки, а товщина бетонного шару може змінюватися вздовж виробки залежно від очікуваних проявів гірського тиску. Бетон може містити армувальні елементи у вигляді сталевих фібри або синтетичних волокон.

Спосіб здійснюють наступним чином. Виробку, що споруджується комбайновим або буропідричним способом, безпосередньо у вибою кріплять анкерним кріпленням з металевою сіткою 3. Для цього можуть бути застосовані розроблені авторами способи монтажу гнучких або штивних анкерів за допомогою цементних сумішей, які значно спрощують монтажну технологію й підвищують ефективність роботи анкерів [4, 5].

З відставанням 20 – 30 м від вибою зводять бетонну оправу. Для цього у виробці розміщують пересувну секцію, що розпирається в боки виробки поперечними домкратами і за допомогою поздовжніх домкратів може пересувати роторне кільце, оснащене формуючими роликми, і коротку опалубку секцію. Бетонний розчин подається живильником за роторне кільце, підхоплюється роликми й розподіляється по контуру виробки, утворюючи бетонний шар заданої товщини.

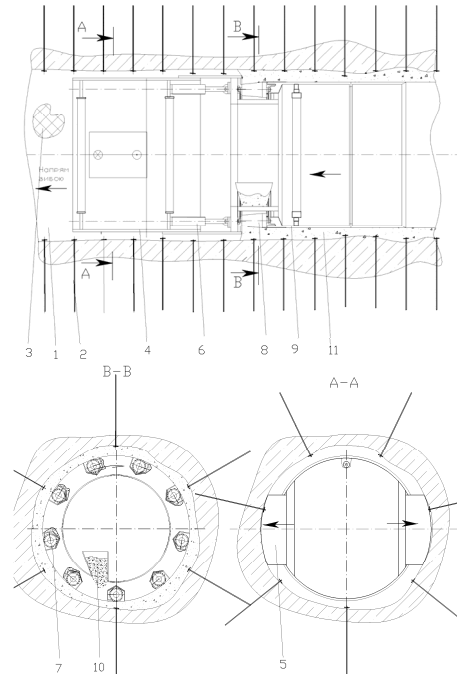


Рис. 2. Схема прогресивного способу анкер-бетонного кріплення капітальних виробок шахт і тунелю: 1 – виробка; 2 – анкерне кріплення; 3 – металева стінка; 4 – пересувна секція; 5 – поперечні домкрати; 6 – поздовжні домкрати; 7 – роторне кільце; 8 – формуючі роликми; 9 – опалубна секція; 10 – живильник; 11 – бетонний шар

Особливість технології полягає в тому, що роторне кільце з роликми конічної форми, обертаючись, одночасно формує бетонний шар (ліва ділянка ролика) і забезпечує необхідне ущільнення (права ділянка), інтенсивність якого визначається кількістю обертів ротора, кількістю роликів у роторі, зусиллями, що передаються роликми на шар бетону. Як показали проведені дослідження [6], оптимальна кількість обертів ротора для ущільнення бетонного шару залежить від кількості та довжини роликового робочого органа і знаходиться в межах 5 – 20, що зумовлено кількістю і довжиною роликового робочого органа.

Важливим принципом формування бетонної оправи є постійне посування конструкції в бік вибою, що виключає «холодні шви» між заходками бетонування. Дослідження впливу «холодних швів» показали зменшення несучої здатності оправи на ділянці шва до 20% у початковий період і до 7 – 10% після набору повної міцності бетону [7], що свідчить про суттєву перевагу даного способу. Після відповідного ущільнення бетонного шару роторне кільце пересувається домкратами у бік вибою на суміжну ділянку, при цьому живильники подають чергову порцію бетонної суміші, а на шойно закріплену ділянку насувається коротка опалубна секція, яка переміщується як ковзна опалубка. Слід зауважити, що в разі використання жорстких і наджорстких сумішей з мінімальним вмістом води сформована роликівим ущільненням оправа може залишатися без опалубки, і розроблений спосіб бетонного кріплення може розглядатися як безопалубний. З таблиці видно, як швидко сформований роликівим бетонний шар набирає міцності навіть в умовах звичайної за водоцементним співвідношенням бетонної суміші. Але оскільки нова технологія не передбачає нагнітання бетону за опалубку, немає потреби у високій рухливості матеріалу, зумовленій значним вмістом води. Це відкриває можливість широкого використання жорстких сумішей. У нашому випадку коротка опалубна секція лише утримує матеріал на межі вже сформованої оправи і бетону, що ущільнюється. Після проковзування опалубної секції оправа залишається в стійко-

му стані. Необхідний час для повного ту-жавіння жорсткого бетону, ущільненого роликівим, значно зменшується у порівнянні з монолітним бетоном, при цьому навантаження від гірського тиску в цей період основною мірою сприймає анкерне кріплення. Відповідно до необхідної швидкості посування роторного кільця вздовж виробки пересувна секція за допомогою дії бочкових і поздовжніх домкратів також посувається у бік вибою і знову упирається в боки виробки.

Важливою особливістю нового способу є зручність зміни товщини бетонної оправи відповідно до очікуваних (або виявлених) проявів гірського тиску вздовж виробки шляхом зміни положення роликів на роторному кільці. Такий підхід відповідає концепції двостадійного проектування виробок і відкриває нові можливості застосування кріплення регульованого опору.

ВИСНОВКИ

Розроблений спосіб анкер-бетонного кріплення капітальних виробок дозволяє суттєво прискорити й механізувати зведення бетонної оправи, відмовитись від тривалого утримання бетону за опалубкою, унеможливити «холодні шви» між заходками бетонування, значно – в 1,5 – 1,8 рази збільшити несучу здатність бетонного кріплення й забезпечити надійне підтримання капітальних виробок протягом заданого терміну служби з мінімальними витратами коштів і матеріалів.



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гайко Г.І. Конструкції кріплення підземних споруд / Г.І. Гайко. – Алчевськ: ДонДТУ, 2006. – 133 с.
2. Berga L. Roller Compacted Concrete Dams / L. Berga. – Taylor & Francis, 2003.

3. Кравець В.Г. Дослідження напружено-деформованого стану приконтурного ґрунтового масиву при роликівому ущільненні / В.Г. Кравець, С.В. Зайченко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: зб. наук. пр. – 2014. – Вип. 24. – С. 20 – 27.

4. Гайко Г.И. Перспективы применения канатных анкеров для крепления горных выработок угольных шахт / Г.И. Гайко, А.Н. Карташов // Форум гірників: матеріали міжнар. конф. – Д.: НГУ, 2009. – С. 130 – 132.

5. Пат. 53967 Україна, E21D21/00. Спосіб монтажу гнучкого піддатливого анкера / Г.І. Гайко, Л.О. Горбатова. – опубл. 25.10.10, Бюл. № 20/2010.

6. Зайченко С.В. Експериментальне дослідження напружено-деформованого стану середовища при роликівому методі формування оброблення тунелю кругового обрису / С.В. Зайченко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: зб. наук. пр. – 2014. – Вип. 23. – С. 24 – 30.

7. Гайко Г.І. Дослідження міцності холодних швів бетонного кріплення гірничих виробок/ Г.І. Гайко, С.А. Пархоменко // Енергетика. Екологія. Людина: зб. наук. пр. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – Вип. 5. – С. 77 – 80.

ПРО АВТОРІВ

Кравець Віктор Георгійович – д.т.н, професор, завідувач кафедри геобудівництва та гірничих технологій НТУУ «Київський політехнічний інститут».

Гайко Геннадій Іванович – д.т.н, професор кафедри геобудівництва та гірничих технологій НТУУ «Київський політехнічний інститут».

Зайченко Стефан Володимирович – д.т.н., доцент кафедри електропостачання НТУУ «Київський політехнічний інститут».

Стовпник Станіслав Миколайович – к.т.н, доцент кафедри геобудівництва та гірничих технологій НТУУ «Київський політехнічний інститут».