

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КРІПЛЕННЯ КАПІТАЛЬНИХ ВИРОБОК РІЗНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Підземні гірничі роботи нерозривно пов'язані з проведенням підземних гірничих виробок. На сьогоднішній день процес зведення кріплення капітальних виробок виконується із застосуванням різних способів та нових матеріалів. В сьогоднішніх умовах актуальним є питання вдосконалення кріплення і технології його зведення для зниження собівартості, матеріалоемності, енергоємності та трудомісткості проведення виробок. Перспективними в цьому напрямку є композитні типи кріплення – набризкбетонне армоване стальними фібрами, яке дозволяє підвищити техніко-економічні показники процесів зведення кріплення.

Тому темою даної роботи ми обрали порівняння кріплень капітальних виробок різними матеріалами, що дає можливість оцінити перспективу використання не традиційних методів.

Для виконання поставленої задачі розрахуємо трудомісткість кріплення виробки за традиційною технологією металобетонним кріпленням за наступними умовами:

- коефіцієнт міцності  $f = 10$ ;
- площа перерізу виробки у світлі  $S_{св} = 12,4 \text{ м}^2$ ;
- периметр виробки у світлі  $P_{св} = 8,85 \text{ м}$ ;
- крок встановлення металевих рам з СВП-27  $L = 0,66 \text{ м}$ ;
- товщина бетонного кріплення  $d = 0,153 \text{ м}$ ;

Сумарна трудомісткість робіт зі зведення кріплення склала 5,51 чол.-змину.

Застосовуючи алгоритм розрахунку та підбору необхідної товщини та несучої здатності бетонного кріплення, визначимо несучу здатність цього кріплення, зробивши припущення:

- шар бетону - це зігнута пластина шириною 0,6 м і товщиною 0,153 м (площа перерізу  $F = 918 \text{ см}^2$ , момент опору  $W = 2340 \text{ см}^3$ ), що встановлюється з шагом 0,15 м (ширина СВП № 27);
- зігнута бетонна пластина, що розраховується, приймається за трьохшарнірну арку.

Максимальне напруження у бетонному кріпленні складає  $1,4 \text{ кН/см}^2$  або 14 МПа. Бетон марки М200 має межу міцності на розтягнення приблизно 15...20 МПа, що задовольняє умовам проведення виробки. Окрім того, частину навантаження під час твердіння бетону сприймає металеве кріплення.

Для розрахунку товщини фібробризкбетонного (ФНБ) кріплення застосуємо ту ж саму методику, як і при розрахунку бетонного кріплення. Методом підбору знайдемо товщину шару ФНБ з вмістом фібр 5 %, в якому буде виникати напруження близьке до максимально допустимого. За межу міцності приймемо значення  $\sigma_p = 65 \text{ МПа}$ . Для таких умов підходить товщина пластини 0,095 м шириною 0,6 м (площа перерізу  $F = 570 \text{ см}^2$ , момент опору  $W = 903 \text{ см}^3$ ). На рис. 2 зображено розраховані параметри навантаження та підсумкове напруження, що виникає у ФНБ. Максимальне напруження у бетонному кріпленні складає  $6,5 \text{ кН/см}^2$  або 65 МПа. Для ФНБ з межею міцності на розтягнення рівною 65 МПа, це є граничним значенням, тому товщина ФНБ повинна бути більша за 95 мм.

На рис. 1 зображено поперечний переріз профілю, який пропонується використовувати для виготовлення рам постійного кріплення з фіробетону.

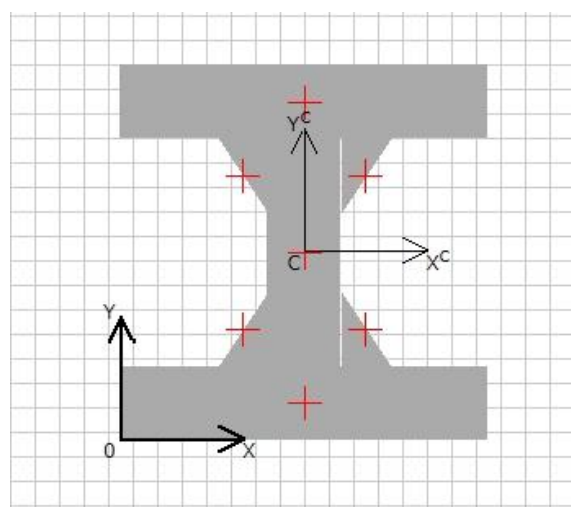


Рис. 1. Поперечний переріз профілю для зведення кріплення. Крок сітки – 10 мм.

Використовуючи он-лайн калькулятор [geom.sopromat.org](http://geom.sopromat.org), проведемо розрахунок характеристик профілю. Результати розрахунку наведено у таблиці 1.

Характеристики профілю

Характеристика	Значення
Площа перерізу $F$ , $\text{см}^2$	129,9
Статичний момент $S_x$ , $\text{см}^3$	993,735
Статичний момент $S_y$ , $\text{см}^3$	974,250
Координата центра ваги $X_c$ , $\text{см}$	75
Координата центра ваги $Y_c$ , $\text{см}$	76,5
Момент інерції $I_x$ , $\text{см}^4$	4475,684
Момент інерції $I_y$ , $\text{см}^4$	1719,425
Момент опору $W_x$ , $\text{см}^3$	585,057
Момент опору $W_y$ , $\text{см}^3$	229,257

Приблизний об'єм однієї арки  $V_I$  можна розрахувати наступним чином:

$$V_I = F \cdot P_{ce} = 0,01299 \cdot 8,85 = 0,115 \text{ м}^3 \quad (1)$$

Таким чином, для виготовлення однієї рами без урахування елементів піддатливості необхідно витратити  $0,115 \text{ м}^3$  бетону та  $0,115 \times 0,05 \cong 0,006 \text{ м}^3$  фібри.

Для порівняння варіантів кріплення капітальної виробки розрахуємо витрату бетону і металу для кожного варіанта.

Розрахунки та результати розрахунків представлено у вигляді таблиці (див. Таб.2).

Таблиця 2

Витрати матеріалів при різних варіантах кріплення

Найменування матеріалу	Необхідний об'єм на 1 м виробки	Вага одиниці виміру	Загальна вага, кг
1	2	3	4
<b>Класичне металобетонне кріплення</b>			
Бетон М200	1,36 м <sup>3</sup>	2200 кг/м <sup>3</sup>	2992
Рама з СВП № 27	1,5 рами	328 кг	492
<b>ФНБ</b>			
Бетон М200	$0,841 - 0,027 = 0,814 \text{ м}^3$	2200 кг/м <sup>3</sup>	1791
Фібра сталевая 5% від об'єму бетону	0,042 м <sup>3</sup>	7800 кг/м <sup>3</sup>	328
<b>Рами виготовлені з фібробетону встановлені з кроком 0,6 м</b>			
Бетон для виготовлення ФБ арок	$1,5 \cdot (0,115 - 0,006) = 0,164 \text{ м}^3$	2200 кг/м <sup>3</sup>	361
1	2	3	4
Фібра сталевая 5% від об'єму бетону	$1,5 \cdot 0,006 = 0,009 \text{ м}^3$	7800 кг/м <sup>3</sup>	70

Для наочності зобразимо результати розрахунку у вигляді діаграми (див. рис. 2).

На рис. 2 чітко видно, що найбільш економний вид кріплення – це щільно встановлені у виробці арки виготовлені з фібробетону.

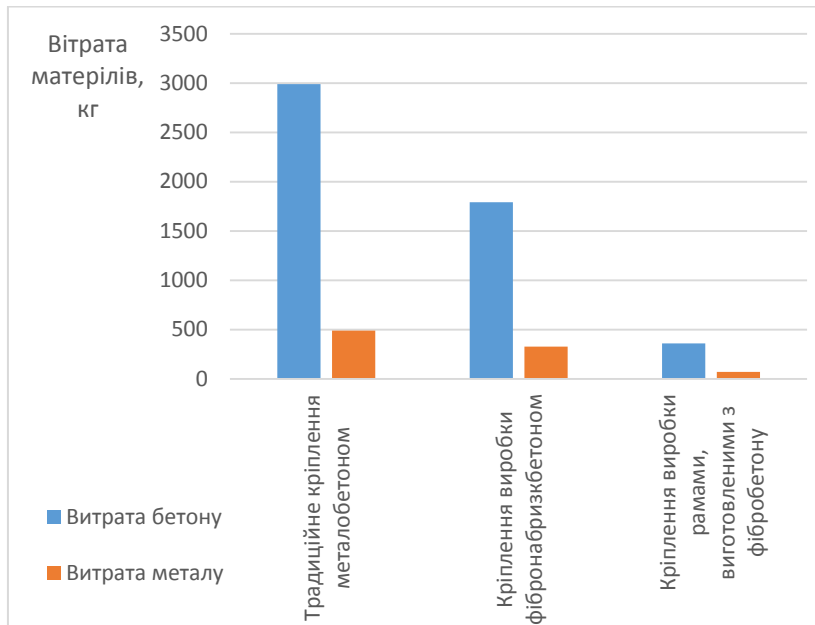


Рис. 2. Порівняльний аналіз матеріалоемності різних типів кріплення на 1 м виробки.

Беручи до уваги той факт, що для зведення ФНБ потрібно менше людських ресурсів, то ця технологія дозволить також підвищити продуктивність праці. Норма виробки на зведення 1 м<sup>3</sup> ФНБ згідно з ЕНП дорівнює 8,33 м<sup>3</sup>/чол.-змін. Для зведення 0,841 м<sup>3</sup> знадобиться  $0,841/8,33 = 0,1$  чол.-змін. Але також необхідно враховувати трудомісткість підготовчих та заключних операцій.

Трудомісткість зведення арок виготовлених з фібробетону приблизно можна прийняти рівною трудомісткості встановлення металевих рам. Адже, на один метр виробки трудомісткість встановлення рам з фібробетону буде дорівнювати  $1,5/0,57 = 2,63$  чол.-змін. Але при застосуванні автоматизованого обладнання для трьох вимірного друку це значення значно зменшиться і буде приблизно дорівнювати трудомісткості зведення ФНБ. Тому розробка такого обладнання – є актуальною задачею для майбутнього дослідження.

Графічно діаграма трудомісткості зображено на рис.3.

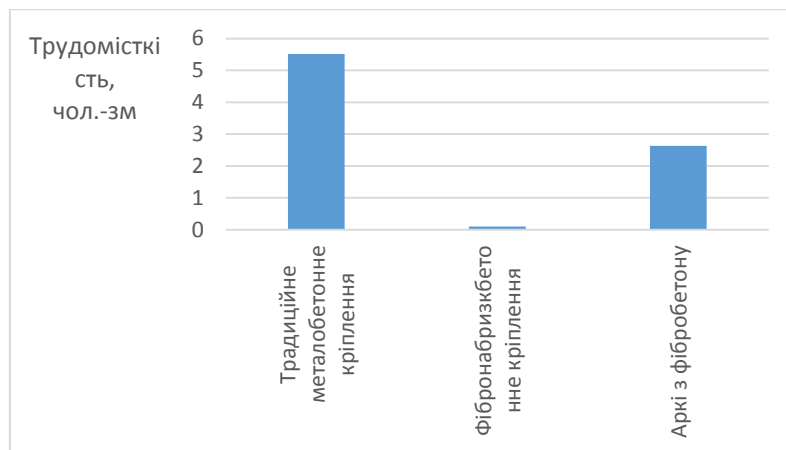


Рис. 3. Трудомісткість кріплення за варіантами.

Таким чином, проведений аналіз показує, що застосування нових композиційних матеріалів при будівництві виробок дозволить зменшити питому витрату будівельних матеріалів. Зокрема, придання бетону кріпленню найбільш жорсткої та стійкої форми і армування його фібрами дозволяє зменшити витрату матеріалів майже у 8 рази.

Для зменшення трудомісткості зведення арок з композитних матеріалів доцільно розробити технологію виготовлення таких елементів кріплення, наприклад, автоматичною установкою з трьох вимірного друкування.