

После полного окончания тампонажа ствола скважины на части ликвидационного интервала вскрываются, и, в случае обнаружения пустотного пространства, производится нагнетание золоцементного тампонажного раствора последовательно в каждую скважину в восходящем к устью ствола порядке для исключения циркуляции шахтных вод по образовавшемуся зазору.

Для повторной ликвидации наклонных стволов закрытых угольных шахт целесообразно применение большого ряда рецептур тампонажных растворов, в состав которых могут входить промышленные отходы и твердые отходы горного производства (отсев, зола, шлам, горелая порода), силикат натрия, глина или бентонит, цемент и вода.

**Выводы.** На основе аналитических и технологических исследований разработаны методика проектирования и технологическая схема повторной ликвидации наклонных стволов закрытых шахт, что позволяет гарантированно обеспечить геомеханическую устойчивость породного массива за счет нагнетания беззасадочных ресурсосберегающих тампонажных смесей. Разработанная методика проектирования и технологическая схема прошла промышленные испытания на ряде шахт Донбасса.

#### Список литературы

1. Должиков П.Н. Геодинамические процессы в гидроактивизированных подработанных горных массивах: монография// П.Н.Должиков, А.Ю. Прокопов. - Ростов-на -Дону:РГСУ, 2015. – 149 с.
2. Белодедов А.А. Анализ механизма образования деформаций земной поверхности над горными выработками закрытых шахт/ А.А. Белодедов, П.Н. Должиков, С.О. Легостаев //Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2017. – №1.- С.160-169.
3. Должиков П.Н. О необходимости инженерной защиты территорий закрытых шахт от чрезвычайных ситуаций методами тампонажа: III міжнародна науково-практична конференція / П.Н. Должиков П.Г. Фурдей, А.Э. Кипко // Надзвичайні ситуації: безпека та захист. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2013. – С. 112-115
4. Кипко Э. Я. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт: учеб. пособ. / [Э.Я. Кипко, П.Н. Должиков, Н.А. Дудля, А.Э. Кипко и др. – 2-е изд., перераб. и доп.]. – Днепропетровск: Национальный горный ун-т., 2004. – 367 с.
5. Кипко Э.Я. Комплексная технология ликвидации наклонных горных выработок: монография //Э.Я. Кипко, П.Н. Должиков, В.Д.Рябичев. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 220 с.

### **ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ МЕТАЛЕВОГО ШАХТНОГО КРІПЛЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ЙОГО ВІДХИЛЕННЯ ВІД ПРОЕКТНОГО ПОЛОЖЕННЯ**

*Б.М. Андреев, Д.В. Бровко, В.В. Хворост, Р.О. Осипенко, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», Україна*

Виконано аналіз використання шахтного кріплення на підприємствах Кривбасу. Приведена методика досліджень за допомогою сучасних проектно-обчислювальних комплексів. Наведено результати досліджень роботи сталевих аркових кріплень при його відхиленні від проектного положення.

Сталеві конструкції завжди широко використовували в шахтному будівництві, а саме сталеве кріплення. Останнім часом вони навіть помітно потіснили залізобетон. Причинами такого явища є великий обсяг виробництва прокату в Україні, повторне використання сталі після переплавки, легкість демонтажу, широкі можливості в галузі індивідуальних розробок сталевих конструкцій і, нарешті, ефективне використання сталі завдяки індивідуальним розрахункам.

За тривалий час проходки гірничих виробок в Кривбасі добре зарекомендувало себе аркове рамне кріплення з взаємозамінного металевого профілю СВІ. В більшості випадків

застосовують для виготовлення арочних і кільцевих кріплень податливої конструкції. Ці профілі мають приблизно однакові моменти опору згину в обох головних площинах, що забезпечує їм підвищений опір згину з площини рами. Однак лоткові профілі, як тонкостінні стержні, характерні тим, що в них внаслідок складного згину і кручення виникають дотичні напруження, що мають той же порядок величин, як і нормальні напруження. Ще однією проблемою жолобчатого профілю СВП є скручування та «розкриття» профілю.

На сьогоднішній день велика кількість виробок закріплюється саме металевим арочним кріпленням. На шахтах Україна 30% з них потребують ремонту, у зв'язку з деформаціями, які відбуваються в наслідок помилок при проектуванні форми виробки, неправильних розрахунків запобіжних ціликів, не вірно підбраного профілю кріплення та їх несучої здатності, корозії металевого кріплення. Результатами проведеного аналізу встановлено, що ще одним із основних джерел незадовільного стану виробок є недотримання правил установки кріплення, а саме відхилення його від проектного положення.

Гірничі виробки в процесі експлуатації повинні перебувати в стійкому стані, зберігати форму і розміри в межах, що забезпечують нормальні умови експлуатації у відповідності з правилами безпеки. Підтримання підземних виробок в справному стані пов'язане з систематичними ремонтними роботами, які прийнято називати підтримкою. Підтримка виробок, що включає підривання ґрунту, заміну затяжок, заміну пошкоджених елементів кріплення, випуск породи, пов'язана зі значними витратами коштів.

Встановлено, що ніколи не проводились дослідження кріплення при його відхиленні відносно ґрунту виробки. В існуючих методиках проводиться розрахунок металевого кріплення в ідеальних умовах, коли рама встановлена суворо вертикально. В даний час існує багато комп'ютерних комплексів, які дозволяють проводити більш широке дослідження поведінки кріплення, дослідити їх характеристики.

Досі розрахунки кріплення гірничих виробок проводились в основному методами опору матеріалів за звичайними схемами, які притаманні будівельним конструкціям. Розрахункові схеми взаємодії кріплення з оточуючими виробку породами ще далекі від правильного відтворення реальних умов експлуатації кріплення. Це багато в чому обумовлено випадковим характером основних вихідних даних (параметрів гірничого тиску, контактні умови між кріпленням і оточуючими породами та недосконалістю розрахункових схем. Сам процес проектування и розрахунку міцних розмірів кріплення представляє собою досить складану та тривалу процедуру, виконання нерідко рутинних операцій, які часто носять досить умовний характер.

Принципові відмінності розрахунків гірничого кріплення від будівельних конструкцій:

- гірничі кріплення завжди взаємодіє з масивом гірничих порід;
- розподіл навантаження по периметру кріплення відрізняється високою нерівномірністю;
- кріплення тільки на початковій стадії своєї роботи з масивом поводить себе як пружна конструкція, а при подальшому навантаженні переходить в позамежну стадію взаємодії з масивом
- навіть при наявності zdeформованих ділянок, розпірні конструкції кріплення, перебуваючи в оточуючому масиві, поступово деформуються та не втрачають усієї несучої здатності.

Ці та цілий ряд інших особливостей роботи кріплення з масивом надзвичайно ускладнюють розрахунки конструкції і змушують практиків використовувати багато в чому спрощені методи і оцінки при обґрунтуванні параметрів кріплення. Це нерідко призводить до появи грубих, іноді і фатальних помилок, які закінчуються руйнуванням гірничих виробок і навіть трагічними випадками травматизму. Ось чому так важливо дати в руки проектувальнику і технічного персоналу гірничих підприємств можливість більш надійно і обґрунтовано визначати параметри кріплення [2]. Один з найперспективніших шляхів досягнення поставленої мети - застосування обчислювальної техніки і сучасних програмних комплексів, до яких належить система розрахунку APM FEM.

Дослідження даної задачі, за допомогою комп'ютерного моделювання, допоможе встановити працездатність кріплення при його відхиленні, перевірити його на міцність та визначити його несучу здатність.

В сьогоднішніх реаліях, за допомогою комп'ютерного моделювання, з'являється можливість відтворити роботу такого кріплення, перевірити його несучу здатність, міцність, що допоможе більш швидко та детально розібрати поставлене питання. Це повинно допомогти у вирішенні поставленої задачі, збільшити значення за контролем стану кріплення та його установки, підтримувати виробки в належному стані, забезпечивши належне безпечне будівництво або експлуатацію при видобутку корисних копалин.

Створення сучасного обладнання на етапі проектування не обмежується його геометричним моделюванням. Без всебічного інженерного аналізу проектного об'єкту неможливо випускати конкурентно здатну продукцію. Розробники в усьому світі працюють над тим, щоб їх конструктивні рішення забезпечували статичну міцність і жорсткість, достатню довговічність, стійкість і відповідні динамічні характеристики, маючи при цьому мінімальні витрати матеріалів, мінімальну вартість, мінімальне енергоспоживання. Інакше кажучи, затребуваними на ринку виявляються тільки ті рішення, які не мають жодного зайвого грама металу. Всі ці вимоги можна охарактеризувати одним емним терміном - оптимальність. Оптимізація створюваних конструкцій є запорукою їх конкурентоспроможності.

Розрахунок проводиться за допомогою системи АРМ FEM, яка є інтегрованою в КОМПАС-3D, це інструмент для підготовки і подальшого кінцево-елементного аналізу тривимірної твердотільної моделі. За допомогою АРМ FEM можна прикласти навантаження різних типів, вказати граничні умови, створити кінцево-елементну сітку і виконати розрахунок.

Розглядається випадок, коли на виробництві, де використовують металеве кріплення, у горизонтальній виробці, відбувається відхилення його на  $10^\circ$ , внаслідок не дотримання правил гірничого кріплення робітниками при його установці, або при механічному впливі, наприклад: близьке розташування кріплення до забою виробки, який проходить за допомогою буровибухового способу, вибухова хвиля здатна здеформувати або похилити кріплення.

АРМ FEM дозволяє провести наступні види розрахунків:

- статичний розрахунок;
- розрахунок на стійкість;
- розрахунок власних частот і форм коливань;
- тепловий розрахунок.

Основні етапи підготовки моделі і виконання розрахунку:

- побудова моделі кріплення в КОМПАС-3D;
- підключення бібліотеки "АРМ FEM: Аналіз на міцність";
- підготовка моделі до розрахунку - вводяться закріплення і прикладаються навантаження;
- завдання співпадаючих граней (для KE-аналізу збірки);
- генерація KE-сітки;
- виконання розрахунку;
- перегляд результатів у вигляді карт напружень та переміщень.

Подальші дослідження металевого аркового кріплення в нормальному положенні виконувались за існуючою методикою.

Розрахунок показав, що для заданих умов підходить профіль СВП-17, в якому виникають максимальні допустимі напруження  $\sigma_{max} = 184$  МПа. За допомогою комп'ютерного моделювання проведена перевірка розрахунку, результат якого показано на рис. 1 та наведено в табл. 1. При порівнянні цих розрахунків різниця обчислень складає 1%.

Для розрахунку кріплення з відхиленням від проектного положення була змодельована просторова модель рами з профілю СВП-17. Модель рами приймаємо суцільною, без врахування замків. Матеріал рами сталь Ст5сп по ГОСТу 380-2005, характеристики якої наведені в табл. 2.

## Результати статичного розрахунку

| Найменування                      | Тип      | Мінімальне значення | Максимальне значення |
|-----------------------------------|----------|---------------------|----------------------|
| Еквівалентне напруження по Мізесу | SVM, МПа | 16,24               | 185,7                |

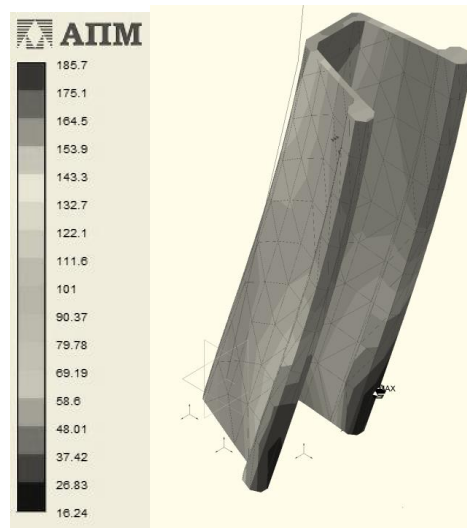


Рис. 1. Відображення п'яти кріплення з полями напружень, при проектній установці

## Характеристика сталі Ст5сп ГОСТ 380 2005

|   |          |
|---|----------|
| Межа текучості, МПа                                 | 320      |
| Модуль пружності нормальний [МПа]                   | 210000   |
| Коефіцієнт Пуассона                                 | 0.3      |
| Щільність [кг/м <sup>3</sup> ]                      | 7850     |
| Температурний коефіцієнт лінійного розширення [1/С] | 0.000012 |
| Межа міцності при стисненні [МПа]                   | 490      |
| Межа витривалості при розтягненні [МПа]             | 245      |

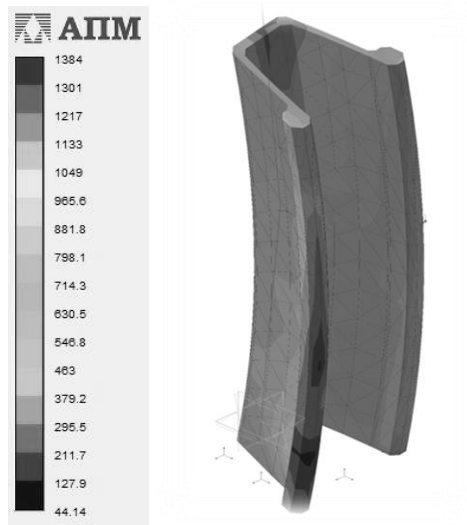


Рис. 2. П'ята кріплення з відображенням поля напружень, при позапроектній установці

Розрахунки показали, що максимальні напруження виникають в п'яті кріплення рис. 2, значення яких показані в табл. 3. Напруження які виникають в кріпленні значно перевищують допустимі. Умова міцності в кріпленні не виконується, внаслідок чого шахтне кріплення не

буде сприймати своє експлуатаційне навантаження. Таке кріплення буде здеформоване, вийде з ладу, в наслідок чого гірничавиробка не забезпечить нормальні умови експлуатації.

На рис. 3 видно, що максимальні переміщення в рамі виникають відносно осі OX значення яких наведено в табл. 4. Відповідно переміщення, що виникають, перевищують максимальні допустимі практично в 10 разів. В цих умовах замок піддатливості не забезпечить безпечні переміщення.

Розподіл коефіцієнта запасу міцності показано на рис. 4 та табл. 5. Коефіцієнт запасу міцності не повинен бути  $< 1$ . Мінімальне значення відображене на стійках арки.

Таблиця 3

Результати статичного розрахунку

| Найменування                      | Тип      | Мінімальне значення | Максимальне значення |
|-----------------------------------|----------|---------------------|----------------------|
| Еквівалентне напруження по Мізесу | SVM, МПа | 44,14               | 1384                 |



Рис. 3. Кріплення із зображенням полів переміщення

Таблиця 4

Результат переміщень в рамі

| Найменування                | Тип      | Мінімальне переміщення, мм | Максимальне переміщення, мм |
|-----------------------------|----------|----------------------------|-----------------------------|
| Сумарне лінійне переміщення | USUM, мм | 0                          | 280,5                       |

Таблиця 5

Значення коефіцієнту запасу міцності

| Найменування                  | Тип | Мінімальне значення | Максимальне значення |
|-------------------------------|-----|---------------------|----------------------|
| Коефіцієнт запасу по міцності |     | 0,298               | 9,958                |

При зміщенні кріплення від проектного положення у верхняку рами виникають найбільші переміщення, які складають 280,2 мм, а при нормальній установці 3 мм, а також збільшується максимальне напруження в п'яті рами від 185,7 МПа до 1384 МПа, при допустимому напруженні в 216 МПа. Розрахунок проведений за допомогою розширення АРМ FEM в «Компас 3d» показав, що максимальні напруження виникають в результаті згинання профілю в нижній частині стійок рами (п'яті рами), що зображено на рис. 1.



Рис. 4. Кріплення з відображенням полів коефіцієнта запасу міцності

В результаті проведених досліджень моделі рами СВП-17, як у проектному положенні так і при його зміщенні на 10 градусів, з'ясовано:

- при зміщенні гірничого кріплення напруження в рамі значно збільшуються;
- відбувається деформація конструкції кріплення;
- виникає небезпечна ситуація на виробництві.

Таким чином контроль за станом кріплення та їх установкою має важливе значення, для підтримування виробки в належному стані.

#### Список літератури

1. НИИАСС: Руководство пользователя программного комплекса для расчета и проектирования конструкций: «ЛИРА версия 9.0»: КНИГА 1. К. -2002.
2. Литвинский Г. Г. Расчет крепи горных выработок на ЭВМ: Уч. Пособ./ Г. Г. Литвинский, Э. В. Фесенко, Е. В. Емец. – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – 174 с.
3. Бровко Д. В. Дослідження конструкцій металевого арочного кріплення в умовах криворізького залізорудного басейну./Д. В. Бровко, В. В. Хворост.// Геотехническая механика: Межвед. Сб. науч. Тр. –Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. –2015. –№123. –С.99-106.
4. Хворост В. В. Аналіз міцності і надійності конструкцій раціональних профілів металевого шахтного кріплення/ В. В. Хворост.// Вісник ДВНЗ «Криворізький національний університет»: зб. наук. праць. –2014. –С.28–32.