

УДК 622.281

doi: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-65-72>О.Б. Кусень  
В.В. Назимко

## МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ КОМБІНОВАНОГО КРІПЛЕННЯ РОЗДІЛЬНОГО ТА СУМІСНОГО ОПОРУ.

**Мета.** Дослідження роботи комбінованого кріплення роздільного та сумісного опору за допомогою математичної моделі створеною на основі платформи FLAC3D.

**Методика досліджень.** На основі моделі отримані розподіл моментів поздовжнього скручування профілю в рамках і сил натягу в анкерах, динаміка руйнування контакту анкерів з породами, а також розподіл згинальних моментів уздовж осі виробки рамно-анкерного кріплення роздільного та сумісного опору та порівняні з вимірюваннями у натурних умовах.

**Результати досліджень.** Визначено механізм деформування рамних кріплень, розподіл напружень і деформацій в яких на початковому етапі деформування хаотично змінюється і стабілізується перед пластичним вигином рами, що відображає варіаційний принцип механіки. Комбіновані рамно-анкерні кріплення спільного опору забезпечують ефективну роботу анкерів за рахунок збереження їх зчеплення з масивом гірських порід на більшій частині їх довжини включаючи хвостову частину.

**Наукова новизна** Встановлення синергетичного ефекту взаємодії анкерів з рамним кріпленням за рахунок їх сумісного та роздільного опору гірському тиску. При використанні активних зв'язків між рамами і анкерами виникає надефект, який крім зміцнення порід породжує додаткову перевагу, що полягає у взаємному посиленні рам і анкерів.

**Практичне значення.** Отримані данні дозволяють встановити закономірність втрати стійкості рамного кріплення за рахунок пластичних деформацій. Використання комбінованого кріплення спільного опору надає максимальний позитивний ефект на стійкість порід покрівлі виробки, який відбувається завдяки взаємному позитивному впливу анкерів і рамних кріплень. При цьому рами посилюються анкерами в точках прикріплення, а анкери мають можливість зберігати цілісність контакту з вміщуючими породами.

**Ключові слова:** рамно-анкерне кріплення, гірнича виробка, гірничий тиск, спецпрофіль, деформації кріплення, поздовжнє скручування.

### Вступ.

Вугільна промисловість забезпечує енергетичну й сировинну незалежність України. Це обумовлює особливу актуальність проблеми забезпечення стійкості гірничих виробок, через які здійснюється відпрацювання запасів вугілля. На сьогодні найбільш перспективними є комбіновані рамно-анкерні системи кріплення, які створюють додатковий синергетичний ефект взаємодії анкерів та піддатливих рам, що сприяє збереженню стійкості підземних виробок у важких гірничо-геологічних умовах значних глибин розробки або слабких уміщуючих порід. Ефект синергетичної взаємодії анкерів і рам вивчався за допомогою платформи FLAC3D, що презентує системи нового покоління для дослідження необоротного деформування геомеханічних об'єктів.

### Мета досліджень. Постановка задачі.

Дослідження роботи комбінованого кріплення роздільного та сумісного опору за допомогою математичної моделі створеною на основі платформи FLAC3D.

### Викладення основного матеріалу.

Моделювання роботи комбінованого кріплення роздільного опору.

Масив гірських порід моделювався шаруватими гірськими породами, у якості моделі міцності застосовували умови Кулона-Мора (рис. 1). Рами моделювались наборами балочних елементів, анкери - стрижневими елементами, які можна встановлювати в будь-якій точці моделі, зокрема не обов'язково в вузлах розрахункової області. В процесі моделювання імітировались процеси проковзування анкера щодо породи при досягненні межі міцності скріплює смоли на зрушення.

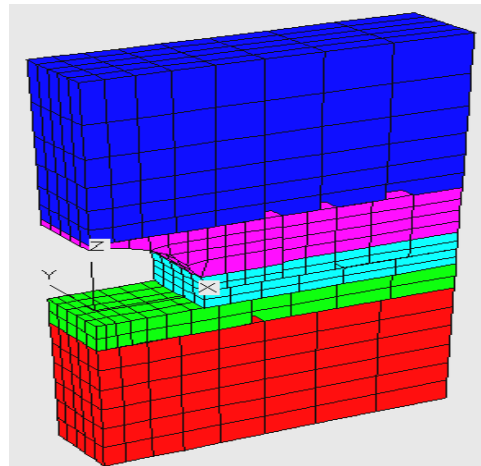
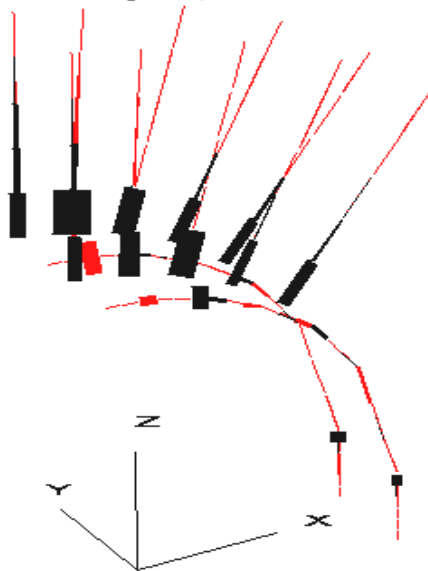


Рис.1. Фрагмент схеми, виділений для детального дослідження механізму взаємодії рам та анкерів з породами.

Довжина сталеполімерних анкерів приймалася рівною 2,5 м. В ряду встановлювали 9 анкерів, що відповідало стандартним паспорту кріплення підготовчої виробки рамно-анкерним кріпленням в умовах шахти Червоноармійська-Західна №1. Діаметр анкерних стрижнів 22мм, діаметр шпуру 35мм. Модуль пружності стали, з якої виготовлений анкер, становив 45ГПа, межа її плинності 250кН. Жорсткість отверділої смоли приймалася рівною 17,5МПа, зчеплення смоли 0,2МПа, кут внутрішнього тертя 400.

На (рис. 2) показано спільний розподіл моментів поздовжнього скручування профілю в рамах і сил натягу в анкерах. Характерно, що на початковому етапі опору анкерів силам гірського тиску відбувається поступове натяг їх стрижнів від хвостовиків до передових ділянок. Такий порядок натягу добре узгоджується з характером розшарування порід покрівлі, яке починається у контуру виробки і поширюється вглиб масиву. У міру навантаження відбувався перерозподіл натягу уздовж тіла анкерного кріплення. Так на кінцевому етапі випробувань максимум натягу зберігся тільки на середніх ділянках анкерів. Навпаки, як хвостовики, так і передові частини анкерів в кілька разів зменшили натяг (рис. 3).



**Рис. 2.** Спільний розподіл натягу в анкерах і скручуючі моменти в рамах кріплення на початковому етапі зрушень.

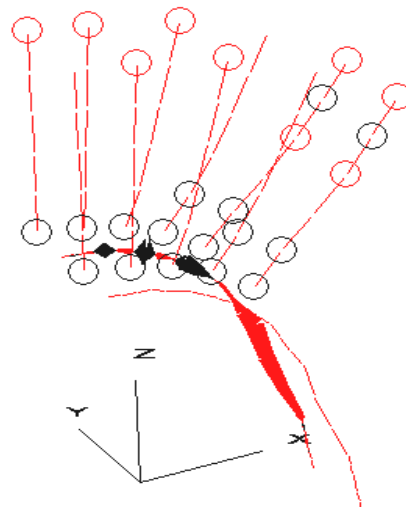
Другою істотною відмінністю є те, що на завершальному етапі випробувань моделі анкери заглибилися в масив гірських порід, а їх хвостовики помітно віддалилися від рамних кріплень. Такий ефект повсюдно відзначається в натурних умовах, особливо в зонах активних зрушень, в межах яких виробка позаду лави

втрачають більше половини свого початкового перетину. Саме в таких зонах спостерігаються масові ефекти обігравання породами хвостовиків анкерів і вигинання анкерних шайб у зворотний бік, коли опуклість змінюється на увігнутість. При цьому створюється враження, що анкер потопає в зруйнованих породах і йде в глибину масиву, не встигаючи слідувати за зміщенням порід.



**Рис. 3.** Розподіл натягу в анкерах і скручуючі моменти в рамі на кінцевому етапі моделювання

Фізична причина такого ефекту пояснюється динамікою руйнування контакту анкера з оточуючими породами, яка зареєстрована на комп'ютерній моделі (рис. 4). Колами на стрижнях анкерів показані ділянки, які втратили зв'язок з масивом через руйнування скріпної смоли. Видно, що повсюдно кінцеві і передові частини анкерів втратили зчеплення з породами.



**Рис. 4.** Динаміки руйнування контакту анкерів з породами, а також розподіл згинальних моментів уздовж осі виробки

Характерно, що більшість анкерів спочатку втратили зв'язок з оточуючими породами на передових ділянках стрижнів, а руйнування контакту хвостовиків сталося на кінцевому етапі деформування перерізу виробки, коли зміщення порід покрівлі досягли 350мм і більше.

Встановлений на моделі ефект отримав підтвердження в натурних умовах. За допомогою глибинних реперів були встановлені величини деформації інтервалів покрівлі, які були охоплені анкерами. Експеримент виконувався в конвеєрному штреку 5 північної лави блоку 2. Для установки глибинних реперів в покрівлі виробки по центру перетину був пробурений шпур глибиною 6,2м за допомогою складових бурильних штанг. Діаметр шпуру становив 38мм, що дало можливість встановити 9 розпірних пластикових реперів. В якості опорного кондуктора, щодо якого вимірювали зміщення глибинних реперів використовували сталеву трубку, діаметром 40мм, яку вставляли в разбуренній гирлі шпуру і закріплювали ампулою для зміцнення сталеполімерних анкерів...

Вимірювання проводили в міру наближення і віддалення лави від вимірювальної станції. Отримані зміщення глибинних реперів не є

повними, оскільки шпур був пробурений не відразу після проходки вироблення, а при підході лави до станції на 240м. Разом з тим результати є представницькими і відображають характер деформацій покрівлі в зоні динамічного опорного тиску і активних зрушень.

Помітні зрушення покрівлі почалися при підході лави до вимірювальної станції на 20м. Найбільш інтенсивні зрушення покрівлі протікали при проході лави повз замірну станцію, причому максимум зсувів досяг 120мм, а максимум швидкості зсувів реперів склав 7мм/доб.

Приблизно так само змінювалося розуцільнення інтервалів вимірювального шпуру, що видно на графіках розуцільнення на (рис. 5). Величина розуцільнення інтервалів покрівлі конвеєрного штреку досягала 7% і в середньому становила 3-4%. Такі деформації на порядок перевищують межу міцності осадових порід на розтяг. Отже практично всі деформації інтервалів вимірювального шпуру є позамежними, що автоматично вказує на утворення тріщин в покрівлі і замикання контактів анкера з навколишнім масивом принаймні на деяких ділянках анкерного стрижня.

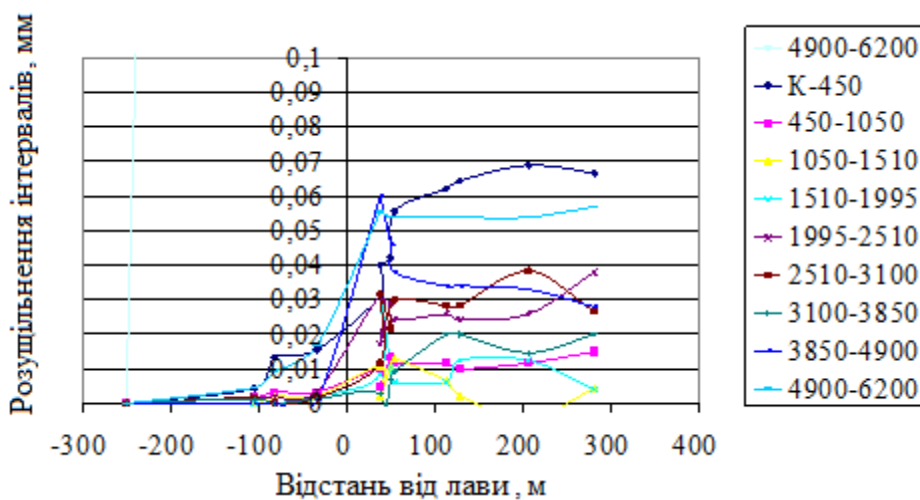


Рис. 5. Зміна розуцільнення інтервалів покрівлі в міру просування лави

На (рис. 6) наведено графік кінцевих величин розуцільнення порід уздовж вимірювального шпуру. Видно, що характер розуцільнення масиву гірських порід, отриманий експериментально, добре узгоджується з даними математичного моделювання. Так на хвостовій частині і передовому ділянці анкера розуцільнення складають відповідно 7 і 4%. У той же час в середній частині анкера величина

розуцільнення становить близько 1-2%, що можна вважати порівнянним з похибкою вимірювань. Явно виражені розшарування товщі вище анкерів на висоті приблизно 2,8 м, а також 6м від покрівлі виробки.

Таким чином у разі використання комбінованих рамно-анкерних кріплень роздільного опору відмітними особливостями деформування системи «кріплення - вміщуючі породи» є запізнювання зсувів покрівлі і деяке

збільшення здимання порід підосви виробки, хоча в цілому висота перерізу виробки зберігається краще, ніж при використанні рамних кріплень.

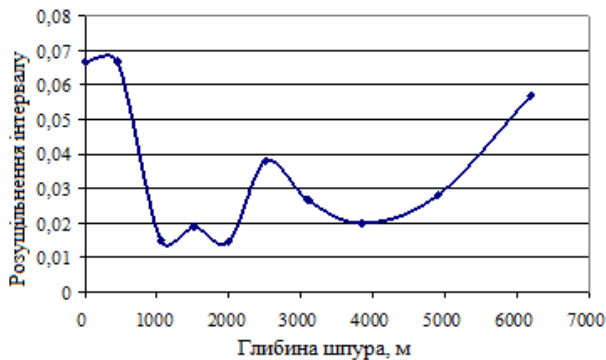


Рис. 6. Розподіл розуцільнення покрівлі вздовж шпура на кінцевому етапі спостережень

Руйнування рамних кріплень протікає за тим же механізмом, що і в разі використання рамних кріплень. Це означає, що при використанні комбінованих рамно-анкерних кріплень втрата стійкості рам і подальше зниження їх несучої здатності відбувається через механізм поздовжнього скручування спецпрофілю з подальшими пластичними деформуванням сегментів рамного кріплення.

Анкерні кріплення втрачають зчеплення з оточуючими породами на кінцевих ділянках анкерних стрижнів. Через це їх несуча здатність зменшується на 50-70% і більше. В цілому комбіновані анкерні кріплення зменшують зміщення покрівлі в 1,41 рази і затримують процес руйнування рамних кріплень.

*Моделювання роботи комбінованої кріплення спільного опору.*

У разі використання комбінованих рамно-анкерних кріплень спільного опору слід очікувати відмінних рис процесу деформування рам, анкерів і навколишніх порід, які можуть породжуватися внаслідок спільної роботи рам і анкерів. На (рис. 7) показані суміщені діаграми крутних моментів в рамах і розтягуючих зусиль в анкерах. Добре помітно, що анкери стійко набирають навантаження і активно взаємодіють з рамним кріпленням. При цьому набір натягу походить від хвостовій частині анкерів до їх передових ділянок, розташованим в глибині масиву гірських порід. Аналіз динаміки зміни силових характеристик рамних кріплень в процесі інтенсивного деформування порід, що вміщують свідчить про те, що все характеристики без винятків на інтервалі прикріплення анкерів підкоряються величині інтервалу прикріплення.

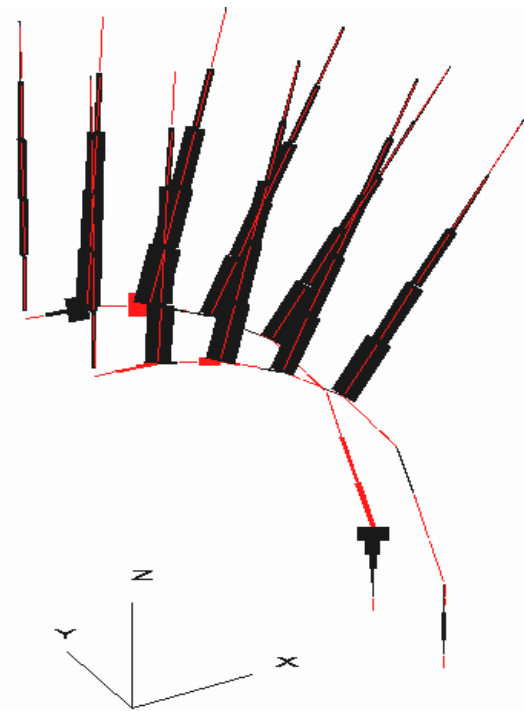


Рис. 7. Розподіл натягу при їх спільному опорі силам гірського тиску

Зазначена особливість виражається в тому, що анкери встановлювалися на оголенні покрівлі з кроком 1м. Саме з таким кроком виражена періодика зміни крутних, згинальних моментів і поперечних сил в рамах. У разі використання комбінованих кріплень роздільного опору крок зміни знаків моментів і поперечних сил змінювався в широких межах від 0,2 до 5м. Це означає, що при роздільному опорі анкерів і рам здійснюється вільний вибір конкретної форми деформації рами. При цьому рама буде мати найменшу енергію деформації, а отже витрачає мінімально можливу в даних умовах роботу опору силам гірського тиску. Якщо ж рами пручаються силам гірського тиску спільно з анкерним кріпленням, коло можливих форм деформації рам буде істотно обмежений кроком прикріплення анкерів. В цьому випадку рами зможуть накопичувати істотно більшу енергію деформації, на що більше витрачається енергії гірського тиску. Саме ця обставина відрізняє в кращу сторону конструкції спільного опору.

Слід зазначити також факт помітного зменшення згинальних моментів на інтервалі прикріплення анкерів. Найбільші величини відповідають моментам  $M_y$ , чинним щодо осі вироблення в площині її поперечного перерізу. Момент  $M_z$ , вигинає рами уздовж осі виробки має в кілька разів меншу величину. Крутий момент  $M_x$  як правило має найменше значення, оскільки на поздовжнє скручування профілю

необхідні істотно менші зусилля, ніж для здійснення його поперечного вигину.



**Рис. 8.** Спільний розподіл нормальних згинальних моментів і зусиль натягу в анкерах на кінцевій стадії моделювання

Поперечні сили  $F_z$  і  $F_x$  мають найбільші значення, оскільки профіль здатний витримати найбільше навантаження саме в цих напрямках. На ділянках прикріплення анкерів допустимий рівень навантажень в кілька разів збільшується, оскільки верхняк має додаткові опори в точках прикріплення анкерів.

Такий позитивний ефект пов'язаний з тим, що анкери обмежують ступені свободи для згинальних деформацій рам і таким чином знижують загальний рівень моментів, що позитивно позначається на цілісності профілю рамного кріплення. Однак такий позитивний ефект спостерігається в рамах тільки на ділянці прикріплення анкерів. За межами цієї ділянки зазначений ефект зникає, що чітко помітно на (рис. 8), на якому наведені діаграми стискаючих зусиль в анкерах і нормальних згинальних моментів, що діють в площині рам. Така особливість природна. Стійки рам змушені працювати відокремлено від анкерів, що дає їм можливість відчувати вигини в напрямку всіх осей декартових координат і скручування щодо осі  $X$ .

На кінцевому етапі анкери зберігають натяг практично на всій своїй довжині. Це означає, що анкерне кріплення, поєднана з рамним кріпленням підвищує ефективність свого опору і одночасно полегшує роботу рам на ділянках прикріплення. При цьому важливо, що

зберігається контакт масиву з анкерами не тільки в центральній частині анкерного стрижня, а й на хвостовику анкера. Цей ефект позитивно позначається на збереженні цілісності масиву, прилегло до порожнини вироблення в області сводовій частині перетину і зменшення розшарування порід покрівлі, а також її зміщення. Крім того, на ділянках приєднання анкерів на 30-40% зменшуються згинальні моменти.

Факт збереження зв'язку між масивом і анкерними стрижнями підтверджується діаграмою на (рис. 9), де руйнування контактів видно тільки на передових ділянках анкерів, розташованих в глибині масиву. Це означає, що в процесі інтенсивних зсувів порід навколо підготовчої виробки відбувається порушення контакту передових глибинних ділянок анкерів і їх передові ділянки витягуються з масиву, втрачаючи частину натягу. Однак близько трьох чвертей довжини анкерних стрижнів зберігають контакт і активно чинять опір силам гірського тиску.

Позитивний ефект, який чинить анкер на рами помітний по генерації високих стискаючих поздовжніх зусиль у верхняках кріплення, що видно на діаграмі (рис. 9). Саме ці зусилля створюють позитивний ефект само заклинювання кріплення і зруйнованих порід, який може в кілька разів збільшувати несучу здатність системи «комбіноване кріплення спільного опору - навколишні породи».

Це підтверджується зіставленням зсувів порід на контурі виробки при різних видах кріплення (таблиця 1).

У цій таблиці наведено величини зміщень при повній деформації перерізу виробки, яка в разі використання рамного кріплення перевищила 52%. Це відбулося протягом 80 тисяч циклів моделювання, що в перерахунку на натуру становить близько 5 років експлуатації вироблення в складних гірничо-геологічних умовах. Помітна тенденція зменшення сумарної деформації перерізу виробки при заміні рамного кріплення на комбіноване кріплення роздільного, а потім спільного опору. При цьому зменшення висоти вироблення знизилося з 52,5% до 43,5%. Зворотна тенденція спостерігається в зміні величини здирання порід підпошви виробки, яке збільшується в міру заміни типу кріплення.

Слід підкреслити, що зміна висоти перерізу виробки і величини її здирання між гіршим і кращим варіантом кріплення не перевищують 20%. На противагу цьому ефект зниження величин деформацій покрівлі виробки

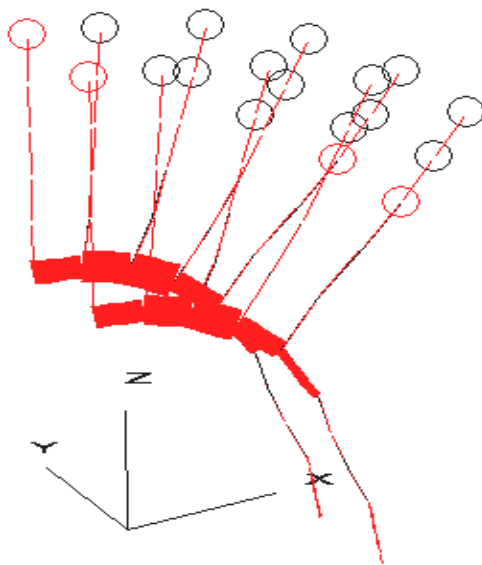


найбільш виражений. Так якщо при рамном кріпленні зміщення покрівлі прийняти за 100%, то величини зсувів порід покрівлі після заміни кріплення на комбіновану роздільного опору

падають до 64%, або в 1,56 рази а після заміни на комбіноване кріплення спільного опору до 43% або в 2, 33 рази.

**Таблиця 1** – Зміщення порід на контурі виробки при різних типах кріплення

Тип кріплення		Зміщення порід покрівлі, %	Здимання порід підосви виробки, %	Сумарне зменшення висоти виробки, %	Співвідношення зсувів в покрівлі, %
Рамна		21	31,5	52,5	100
Рамно-анкерна	Роздільного опору	13,5	33	46,5	64
	Сумісного опору	9	34,5	43,5	43



**Рис. 9.** Характер руйнування контакту анкера зі стінками шпурів і розподілу поздовжнього стиснення в рамах

Це означає, що використання комбінованого кріплення спільного опору надає максимальний позитивний ефект на стійкість порід покрівлі виробки. Такий ефект відбувається завдяки взаємному позитивному впливу анкерів і рамних кріплень. При цьому рами посилюються анкерами в точках прикріплення, а анкери має можливість зберігати цілісність контакту з вміщуючими породами.

Отримані результати добре узгоджуються з раніше існуючими уявленнями про роль анкерного кріплення. Так в галузевих Вказівки пропонується вводити поправочний коефіцієнт на збільшення міцності порід, який близький до величини 1,5. Це означає, що при роздільному опорі рамних і анкерних кріплень роль анкерів зводиться лише до зміцнення вміщуючих порід. При використанні активних зв'язків між рамами і анкерами виникає свержефект, який крім

зміцнення порід породжує додаткову перевагу, що полягає у взаємному посиленні рам і анкерів.

#### **Висновки.**

Таким чином доведений синергетичний ефект з'єднання анкерів і рам, який полягає в підвищенні несучої здатності анкерів за рахунок збереження контакту анкерних стрижнів з породами і збільшення несучої здатності рамного верхняка завдяки обмеженню розміру плечей згинальних і скрцуючих моментів точками прикріплення анкерів.

Загальний підсумок досліджень роботи комбінованого кріплення спільного опору полягає в наступному. Комбіновані рамно-анкерні кріплення спільного опору забезпечують ефективну роботу анкерів за рахунок збереження їх зчеплення з масивом гірських порід на більшій частині їх довжини включаючи хвостову частину.

Завдяки цьому в 1,6-1,9 рази зменшується розшарування інтервалу порід покрівлі, охоплених анкерами і в 2,33 рази зміщення покрівлі. При інтенсивних зсувах порід покрівлі анкери втрачають зчеплення з оточуючими породами тільки на передовий ділянку, розташований в глибині масиву. Крім цього, завдяки спільному опорі анкерів і рам на ділянках рамного кріплення, з'єднаних з анкерами зменшуються на 30-40% згинальні моменти, що сприятливо позначається на стійкості верхняків. Однак при цьому критичні згинальні моменти переміщуються в область стійок. Тому позитивний ефект комбінованих рамно-анкерних кріплень буде ще більше, якщо використовувати анкери в бічних стінках вироблення і з'єднувати їх з рамами.

### Список літератури

1. Cundall, P., and M. Board. "A Microcomputer Program for Modeling Large-Strain Plasticity Problems," in Numerical Methods in Geomechanics. Proceedings of the 6th International Conference. Innsbruck, Austria, April 2015. pp. 2101-2108, G. Swoboda, Ed. Rotterdam: Balkema.
2. Laigle, F., and A. Saïtta. "Numerical Simulation of Radial Bolting: Application to the Tartaignille Railway Tunnel," in Numerical Modeling in Geomechanics 2003. Proceedings of the 3rd International Symposium. Sudbury, Ontario, Canada. October 2013. pp. 153-160.
3. Sigl, O., and G. Atzl. "Design of Bored Tunnel Linings for Singapore MRT North East Line" Tunn. & Underground Space. 2015. Tech. 14(4), 481-490.
4. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение породных массивов. М.: Недра, 1988. 270 с.
5. Кацауров И.Н. Механика горных пород. М.: Недра, 1981. 160 с.
6. Верзилов М.М. Анализ горно-геологических и горнотехнических факторов, влияющих на устойчивость подготовительных выработок, проводимых вслед за лавой на шахтах Донецко-Макеевского района. Компл. освоение угольных месторождений. М. ИПКОН. 1989. С. 22-24.
7. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. Ин-т геотех. мех. НАН Украины. Днепрпетровск. 2002. 372 с.
8. Александров С.Н. Принципы обеспечения устойчивости подготовительных выработок управлением эффектом саморасклинивания вмещающих пород. Физико-технические проблемы горного производства. Донецк. ООО Лебедь. вып. 3. 2003. С. 36-39.
9. Александров. С.Н. Геомеханические принципы обеспечения устойчивости выработок на онсове эффектом саморасклинивания. Известия горного института. Донецк. ДонГТУ. №1. 2002. С.41-50.
10. Александров С.Н., Краско Н.И. Влияние поочередности сдвижений в зоне неупругих деформаций на эффект саморасклинивания пород вокруг подготовительной выработки. Сб научн. Трудов НГАУ. Днепрпетровск. НГАУ. том1. №13. С.39-44.
11. Беляев Н.М. Соппротивление материалов. М. Наука. 1965. 856с.

### References

1. Cundall, P., and M. Board. "A Microcomputer Program for Modeling Large-Strain Plasticity Problems," in Numerical Methods in Geomechanics. Proceedings of the 6th International Conference. Innsbruck, Austria, April 2015. pp. 2101-2108, G. Swoboda, Ed. Rotterdam: Balkema.

2. Laigle, F., and A. Saïtta. "Numerical Simulation of Radial Bolting: Application to the Tartaignille Railway Tunnel," in Numerical Modeling in Geomechanics 2003. Proceedings of the 3rd International Symposium. Sudbury, Ontario, Canada. October 2013. pp. 153-160.
3. Sigl, O., and G. Atzl. "Design of Bored Tunnel Linings for Singapore MRT North East Line" Tunn. & Underground Space. 2015. Tech. 14(4), 481-490.
4. Baklashov I.V., 1988, Deformation and destruction of rock massifs, [Deformirovanie i razrushenie porodnykh massivov], M.: Nedra, 270 p. (in Russian).
5. Katsaurov I.N., 1981, Mechanics of rocks, [Mehaniка gornyykh porod], M.: Nedra, 160 p. (in Russian)
6. Verzilov M.M., 1989, Analysis of mining and geotechnical factors affecting the sustainability of preparatory workings carried out after the lava in the mines of Donetsk-Makeevsky district. Set development of coal deposits, [Analiz gorno-geologicheskikh i gornotekhnicheskikh faktorov, vliyayuschih na ustoychivost podgotovitelnykh vyirabotok, provodimyyh vsled za lavoy na shahtah Donetsk-Makeevskogo rayona. Kompl. osvoenie ugolnykh mestorozhdeniy], M. IPKON. pp. 22-24., (in Russian).
7. Bulat A.F., Vinogradov V.V., 2002, Support and anchor fastening of mine workings of coal mines, [Oporno-ankernoe krepnenie gornyykh vyirabotok ugolnykh shaht], In-t geotekh. meh. NAN of Ukraine. Dnepropetrovsk, 372 p., (in Russian).
8. Aleksandrov S.N., 2003, Principles for ensuring the sustainability of development workings by controlling the effect of self-expansion of host rocks, [Printsipyi obespecheniya ustoychivosti podgotovitelnykh vyirabotok upravleniem effektivom samorasklinivaniya vmeschayuschih porod], Physical and technical problems of mining production, Donetsk, Vol. 3, pp. 36-39, (in Russian).
9. Aleksandrov. S.N., 2002, Geomechanical principles of sustainability of workings on the onsov by the effect of self-expansion, [Geomechanicheskie printsipyi obespecheniya ustoychivosti vyirabotok na onsove effektivom samorasklinivaniya], Journal of Donetsk Mining Institute, Donetsk. DonNTU #1, pp.41-50, (in Russian).
10. Aleksandrov S.N., Krasko N.I., 2002, The effect of alternating movements in the zone of inelastic deformations on the effect of self-expansion of rocks around the preparatory development, [Vliyanie poocherednosti sdvizeniy v zone neuprugih deformatsiy na effekt samorasklinivaniya porod vokrug podgotovitelnoy vyirabotki], NMU. Dnepropetrovsk.. tom1. #13. pp.39-44, (in Russian).
11. Belyaev N.M., 1965, Strength of materials , [Soprotivlenie materialov], M. Nauka, 856 p., (in Russian).

Надійшла до редакції 20.06.2019

Рецензент канд. техн. наук, доц. О.К. Носач.

**Кусень Олексій Борисович** – гірничий інженер-маркшейдер, «Шахтобудівельна компанія», м. Покровськ, Україна, e-mail: [kusenab@gmail.com](mailto:kusenab@gmail.com)

**Назимко Віктор Вікторович** – доктор технічних наук, головний науковий співробітник, Інститут фізики гірничих процесів НАН України, м. Дніпро. e-mail: [victor.nazimko@gmail.com](mailto:victor.nazimko@gmail.com)

### SIMULATION OF THE WORK OF THE COMBINED MOUNTING OF SEPARATE AND COMPATIBLE RESISTANCE

**Purpose.** Study of the work of the combined fastening of separate and compatible resistance with the help of a mathematical model created on the basis of the platform FLAC3D.

**Methodology.** On the basis of the model, the distribution of moments of longitudinal twisting of the profile in the frames and forces of tension in the anchors, the dynamics of the destruction of the contact between the anchors and the rocks, as well as

the distribution of bending moments along the axis of the development of frame anchoring attachment of the separated and compatible resistance, are compared with the measurements in the field conditions.

**Results.** The mechanism of deformation of frame fastenings, distribution of stresses and deformations in which at the initial stage of deformation chaotically changes and stabilizes in front of the plastic bending of the frame reflecting the variational principle of mechanics, is determined. Combined anchor bolts of joint support provide effective work of anchors by maintaining their grip on an array of rocks at most of their length including the tail section.

**Originality.** Establishing a synergistic effect of interaction of anchors with frame mounting due to their joint and separate resistance to mountain pressure. When using active bonds between frames and anchors there is a supereffect, which in addition to strengthening the rocks generates an additional advantage, consisting in the mutual reinforcement of frames and anchors.

**Practical value.** The obtained data allow us to establish the pattern of loss of stability of the frame support due to plastic deformations. The use of the combined joint support provides the maximum positive effect on the stability of the rocks of the roof, resulting from the mutual positive impact of anchors and frame fasteners. In this case, the frames are amplified by anchors at the attachment points, and the anchors have the ability to maintain the integrity of the contact with the enclosing rocks.

**Key words:** frame anchoring, mining, mining pressure, special profile, deformation of fastening, longitudinal twisting.

**Kusen' Oleksy** – Mining surveyor, Mine Construction Company, Pokrovsk, Ukraine.

e-mail: [kusenab@gmail.com](mailto:kusenab@gmail.com)

**Nazimko Viktor** – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Institute of Physics of Mining Processes, National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro

e-mail: [victor.nazimko@gmail.com](mailto:victor.nazimko@gmail.com)

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОЙ КРЕПИ РАЗДЕЛЬНОГО И СОВМЕСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

**Цель.** Исследование работы комбинированного крепления раздельного и совместного сопротивления с помощью математической модели созданной на основе платформы FLAC3D.

**Методика исследований.** На основе модели получены распределение моментов продольного скручивания профиля в рамах и сил натяжения в анкерах, динамика разрушения контакта анкеров с породами, а также распределение изгибающих моментов вдоль оси выработки рамно-анкерного крепления раздельного и совместного сопротивления и сравнению с измерениями в натуральных условиях.

**Результаты исследований.** Определен механизм деформирования рамных крепей, распределение напряжений и деформаций в которых на начальном этапе деформирования хаотично меняется и стабилизируется перед пластическим изгибом рамы, отражающий вариационный принцип механики. Комбинированные рамно-анкерные крепления общего сопротивления обеспечивают эффективную работу анкеров за счет сохранения их сцепления с массивом горных пород на большей части их длины включая хвостовую часть.

**Научная новизна.** Установка синергетического эффекта взаимодействия анкеров с рамным креплением за счет их совместного и раздельного сопротивления горному давлению. При использовании активных связей между рамами и анкерами возникает сверхэффект, который помимо укрепления пород порождает дополнительное преимущество, заключающееся во взаимном усилении рам и анкеров.

**Практическое значение.** Полученные данные позволяют установить закономерность потери устойчивости рамного крепления за счет пластических деформаций. Использование комбинированного крепления общего сопротивления оказывает максимальный положительный эффект на устойчивость пород кровли выработки, который происходит благодаря взаимному положительному влиянию анкеров и рамных крепей. При этом рамы усиливаются анкерами в точках прикрепления, а анкера имеют возможность сохранять целостность контакта с вмещающими породами.

**Ключевые слова:** рамно-анкерная крепь, горная выработка, горное давление, спецпрофиль, деформации крепления, продольное скручивание.

**Кусень Алексей Борисович** – горный инженер-маркшейдер, «Шахтобудівельна компанія», г. Покровськ, Україна.

e-mail: [kusenab@gmail.com](mailto:kusenab@gmail.com)

**Назимко Віктор Вікторович** – доктор технічних наук, головний науковий співробітник, Інститут фізики горних процесів НАН України, г. Дніпро.

e-mail: [victor.nazimko@gmail.com](mailto:victor.nazimko@gmail.com)