

УДК 622.831

doi: <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2020-2-40-48>

О.О. Ісаєнков

І.Г. Сахно

С.В. Сахно

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНОГО ЗМІЦНЕННЯ ПІДОШВИ ВИРОБКИ МЕТОДОМ СТРУКТУРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Мета. Пошук і аналіз раціональних форм зміцнення порід підпошки при їх блочно-дискретній структурі в умовах інтенсивного підняття в підземних гірничих виробках.

Методика. В якості методів дослідження використано комплексний підхід, що включає: лабораторні дослідження на структурних моделях, комп'ютерну обробку, аналіз та інтерпретацію отриманих результатів.

Результати. Зазначено актуальність напрямку підвищення стійкості порід підпошки гірничих виробок шляхом їх локального спрямованого зміцнення. Методом структурного моделювання проведено серію досліджень на установці, що була спроектована і зібрана для поставлених досліджень. Визначено вплив різних схем зміцнення блочних порід в підпошві виробки на підняття підпошки, вертикальну і горизонтальну конвергенцію. Шляхом порівняння площ витіснених при моделюванні порід, розрахованих за допомогою графічного редактора, зроблено висновок про ефективність кожної з порівнювальних схем зміцнення. В результаті визначено схему зміцнення, що дозволяє максимально стримувати витіснення порід в порожнину виробки.

Наукова новизна. В результаті досліджень було встановлено, що при створенні в підпошві гірничої виробки, яка підтримується в умовах повторного порушення її рівноважного стану, укріпленої зони в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою до підпошки виробки, обсяг порід підпошки, видавлених в виробку, для моделі зі зміцненням на 54% менше ніж для моделі без укріплення. Наведена форма зміцненої зони є найбільш ефективною.

Практичне значення. Розроблено новий спосіб локального зміцнення порід підпошки, які можуть бути представлені блочним неоднорідним середовищем.

Ключові слова: підняття підпошки, стійкість виробок, зміцнення порід, локальне зміцнення, структурне моделювання.

Вступ.

Розвиток гірничодобувної галузі України є одним із визначальних чинників у забезпеченні економічної та енергетичної незалежності держави. Відсутність достатніх для потреб внутрішнього ринку обсягів нафти і природного газу зумовлює доцільність підвищення обсягів видобутку вугілля й підвищення його ефективності.

Однією з «вічних» проблем вугільної галузі є підтримання гірничих виробок в експлуатаційному стані. Особливо це стосується виробок, що підтримуються в зоні впливу очисного вибою. Згідно зі статистичними звітами, щорічні обсяги ремонтних робіт сягають близько 10-14% від загальної довжини виробок, але це не призводить до забезпечення їх експлуатаційного стану на 100%, що підкреслює актуальність проблеми.

Для виробок, що обслуговують очисні вибої, 90% деформацій контуру пов'язано з перебуванням у зоні впливу лави, при цьому близько 86% ремонтних робіт супроводжуються підтриманням порід підпошки.

Попри більш ніж столітній науковий і виробничий досвід підтримання виробок, фактично майже єдиним способом боротьби з підняттям підпошки залишається підтримка. На відміну від світових трендів, за винятком окремих шахт, проведення підтримання відбувається переважно за низького рівня механізації. Більшість наукових розробок з підтримання виробок, заснованих на кріпленні підпошки, зміцненні порід, розвантаженні масиву від підвищених напружень, утілені лише на папері. Тому тема дослідження є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Підняття порід підпошви спостерігається на всіх етапах існування виробки і відбувається з різною інтенсивністю. Особливістю цього складного процесу є те, що його природа залежить від гірничо-геологічних умов, в яких він відбувається. Саме тому, немає і не може бути єдиної теорії, яка описує і пояснює повною мірою процес підняття порід.

Перші роботи, присвячені підняттю порід підпошви виробок при підземній розробці пластів кам'яного вугілля в Донбасі, з'явилися на початку двадцятого століття [1, 2] і в період відновлення шахт і копалень після революції [3-9]. Вивченням цього процесу займалися багато вчених А. В. Гурдус, А. І. Целігоров, П. М. Цимбаревич, В. Д. Слесарєв, К. В. Руппенейт, М. Н. Шейхет, В. М. Городничев, Ф. А. Белаєнко, В. Т. Глушко, А. П. Максимов, Г. Г. Литвинський, І. Л. Черняк та ін.

До причин, що формують підняття підпошви, в основному відносять: набухання порід, видавлювання порід як з під штампа, перехід порід в пластичний (і в'язко пластичний) стан, повзучість порід, руйнування і видавлювання зруйнованих порід, а також поєднання цих факторів.

На початку дослідження процесу підняття підпошви переважна більшість вчених дотримувались думки, що основною його причиною є набухання глинистих порід. Проте для глибоких шахт Донбасу, де фіксуються підняття підпошви сухих порід з низьким вмістом глинистих часток такий підхід не пояснює основної долі деформацій підпошви.

Першим, хто почав розглядати породи підпошви як сипучий матеріал був проф. П. М. Цимбаревич [10-12]. Він уявляв підняття порід підпошви як процес, аналогічний явищу випирання сипучого матеріалу між двома жорсткими штампами. Навантаження на штампи автор визначає як тиск від ваги стовпа порід висотою, яка дорівнює сумі висоти виробки і висоти склепіння природної рівноваги. Величина навантаження на штампи є основним спірним моментом в запропонованій схемі. Автор не враховував механічні властивості

(за винятком кута внутрішнього тертя) гірських порід що деформуються.

До ряду вчених, які дотримуються теорії випирання з-під штамтів, можна віднести також В. Д. Слесарєва, А. С. Щукіна, І. М. Пономарьова.

А. В. Шмиголь, В. Я. Кириченко і В. Н. Рева [13, 14] відзначають, що в умовах шахт Західного Донбасу слабкі породи деформуються у вигляді крихкого руйнування, і процес підняття підпошви виробок слід розглядати як результат «випирання» порід при впливі на них породних блоків, ослаблених зонами руйнування.

А. А. Пірський, С. Н. Стовпник [15] на підставі шахтних інструментальних спостережень в магістральних штреках шахт Західного Донбасу і лабораторних випробувань порід, встановили, що деформування порід підпошви супроводжується складкоутворенням з нерівномірним розпушенням шару завтовшки 4 м по ширині перетину і в глибину підпошви. Вони виділили дві зони деформування порід: до глибини 2-3 м і більше 3 м. У першій зоні відбувається складкоутворення, а під другою – вертикальне розпушення порід.

Негрій С. Г. під час досліджень процесів підняття підпошви в умовах глибоких шахт українського Донбасу [16] приходять до висновку, що породи підпошви при повторному порушенні рівноважного стану, яке визвано підриркою порід, в зазначених умовах доцільно розглядати як дискретний масив. Відповідно до цього автором розроблена схема (рис. 1) і запропоновано алгоритм розрахунку напружень в підпошві виробки на основі теорії граничної рівноваги, детально розробленої В. В. Соколовським [17].

Результати розрахунків за запропонованою [16] схемою більш близько співпадають з результатами шахтних вимірів, ніж розраховані за відомою схемою подвійного розпору В. Д. Слесарєва [18] або схемою П. М. Цимбаревича [11].

Проведений аналіз дає змогу констатувати, що в залежності від гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов відпрацювання родовища розвиток процесу підняття порід має різну природу, форму і інтенсивність. Орієнтуючись на сучасні умови відпрацювання пластів кам'яного

вугілля в українському Донбасі можна зазначити, що найбільш коректне описання механізмів розвитку деформацій підосви дають гіпотези, що ґрунтуються на допущенні формування навколо виробки зони непружних деформацій і, відповідно, руйнуванні порід в межах цієї зони. Такі гіпотези є найсучаснішими. Коректні уявлення про механізм протікання деформаційних процесів в підосві виробки є запорукою вірного вибору ефективних способів боротьби з підняттям підосви.

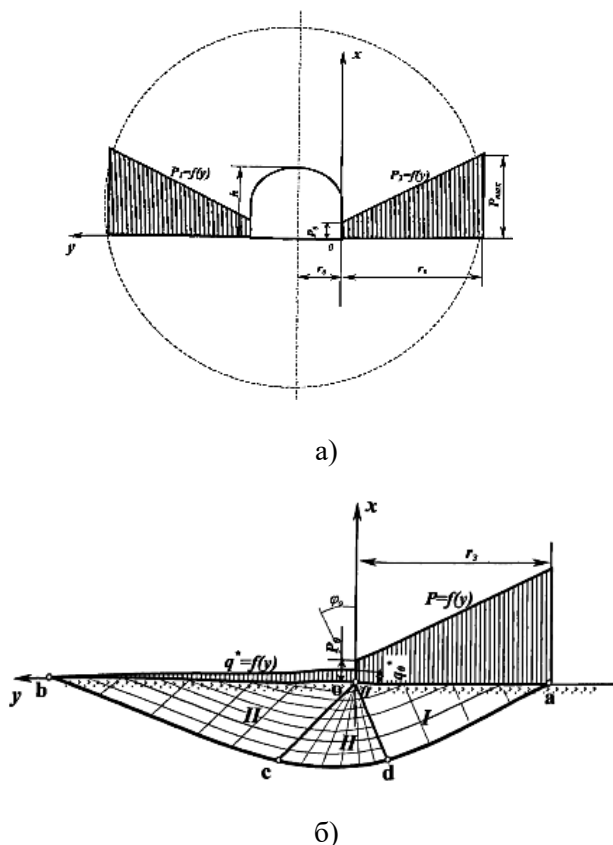


Рис. 1. Розрахункові схеми, що розроблені С. Г. Негрій [16]

а – схема до визначення напружень стиску в зоні зруйнованих порід при дії в боках виробки завантаження, що змінюються по трикутному закону, б – схема до визначення нормального напруження q^* уздовж позитивної півосі у.

Натурні спостереження, проведені авторами [19, 20] довели, що в умовах інтенсивного підняття підосви в зоні непружних деформацій породи уявляють собою блочно-дискретне середовище.

Мета статті. Постановка задачі дослідження.

Одним з сучасних і перспективних напрямків забезпечення стійкості порід

підосви є їх локальне зміцнення. Для ефективного зміцнення необхідно враховувати вектори зсувів структурно неоднорідних елементів в підосві виробки в межах зони непружних деформацій і зміну цих векторів під впливом локального зміцнення. Це дозволить мінімальною кількістю укріплюючої суміші і бурових робіт забезпечити необхідний ефект зміцнення порід. Таким чином метою статті є обґрунтування параметрів способу локального укріплення підосви з урахуванням закономірностей консолідації порід в умовах інтенсивного підняття підосви.

Задачею дослідження є вивчення впливу форми зони локального укріплення в підосві виробок на вектор переміщення порід і визначення найбільш ефективної схеми локального зміцнення.

Методи дослідження.

Використано комплексний підхід, що включає: лабораторні дослідження на структурних моделях, комп'ютерну обробку, аналіз та інтерпретацію отриманих результатів.

Викладення основного матеріалу.

Виходячи зі специфіки поставленого завдання, найбільш коректним для його вирішення є метод структурних моделей [21]. Він має наступні переваги:

- дозволяє досліджувати моделі великого масштабу;
- не потребує дорогої і громіздкої апаратури;
- не вимагає великих тимчасових і матеріальних витрат;
- дозволяє вивчати деформації, окремих блоків і фрагментів гірських порід.

Метод структурних моделей [21] використовується для визначення елементів механізму досліджуваних процесів в тих випадках, коли товща порід, що оточують виробку, являє собою ясно виражене дискретне середовище, складене з системи окремих блоків.

Умови стійкості порід у виробках, а також характер їх взаємодії з кріпленням в значній мірі визначаються режимом і схемою переміщення систем структурних блоків. У багатьох випадках зазначені переміщення не супроводжуються деформаціями або руйнуваннями окремих

блоків, а виражаються у вигляді різних поворотів і ковзань суміжних блоків один щодо одного. При цьому механічні властивості досліджуваної системи і її структурних елементів можуть дещо відрізнятися від показників, що визначаються теорією подібності [22].

Однак моделювання на структурних моделях виконується з дотриманням певних критеріїв подібності і дозволяє в першому наближенні досліджувати процеси, що відбуваються навколо виробки в межах зони зруйнованих порід. Таким чином, для отримання якісних результатів, їх аналізу та порівняння обраний метод цілком підходить.

Для проведення моделювання був виготовлений плоский стенд, який представляв собою зварну металеву рамну конструкцію розмірами 500×500×20 мм (рис. 2), з лицьової стінкою зі скла. Всередину стенду поміщали дерев'яні бруски довжиною 1-4 см, які імітували породні блоки. Масштаб моделювання 1:50. Для контрастного сприйняття бруски фарбували різним кольором. У досліджуваній області на бруски наклеювали відрізки паперу, які були реперними крапками. При моделюванні використовували геометричний критерій подібності і подібність механічних характеристик матеріалу.



Рис. 2. Загальний вигляд структурної моделі

Для імітування гірничої виробки в моделі залишали порожнину відповідної форми. Кріплення імітували відрізками латунної фольги шириною 10 мм. Порушення рівноважного стану, що супроводжується підвищенням напружень на контурі зони зруйнованих порід, моделювали шляхом створення тиску на

торцях моделі. Для цього по бічних торцях були розташовані дві гумові камери, заповнені водою, що дозволяло забезпечити рівномірний бічний тиск на всі блоки, а зверху моделі – дерев'яний брус. Для навантаження моделі в конструкції рами стенду передбачені три гвинти – один зверху і два з боків. Вільний хід кожного гвинта – 7 см. Між камерою і гвинтом з кожного торця також було встановлено по дерев'яному брусу, розташованому в направляючих швелера рами. Обертання бічних гвинтів призводило до переміщення бруса всередину моделі, що викликало стиснення води в камері. Тиск води викликав рівномірне навантаження моделі з боків. Обертання вертикального гвинта призводило до зростання тиску з боку покрівлі. Під дією зростаючого тиску блоки порід зміщувалися в напрямку порожнини виробки. На кожному кроці навантаження всі гвинти обертали на один оборот. Після кожного кроку навантаження робили фотофіксацію зсувів реперів за допомогою камери встановленої на штативі. Отримані фотографії коректували, після чого за допомогою графічного редактора Компас-3D фіксували зміну зсувів реперів.

Характер деформування порід покрівлі і підшви при повторному порушенні рівноважного стану без проведення заходів можна відстежити по деформаціям моделей з неукріпленою підшовою (рис. 3).



а) модель без кріплення; б) модель з арочним кріпленням

Рис. 3. Деформування моделей без заходів по зменшенню підняття підшови

Аналіз результатів показує, що незалежно від наявності кріплення зміщення

порід підосви та покрівлі мають подібний характер і можуть бути описані механізмом близьким до складкоутворення. При цьому, втрата перетину в моделі без кріплення викликається не тільки вертикальною конвергенцією, а й істотним зрушенням боків виробки, величина яких досягає 15% від ширини виробки В. Ступінь порушеності і розмір області впливу виробки в покрівлі в незакріпленій виробці більше на 25%. У той час як глибина зони впливу в підосві виробки для моделі з кріпленням більше на 20%. Однак в моделі без кріплення складка має більш виражений характер, і зміщення підосви більше ніж в 2 рази. Так, втрата перетину в моделі без кріплення – 46%, а в моделі з кріпленням 21,2%. Площа перетину порід підосви видавлених в виробку для моделі без кріплення 11,7% від площі перетину, для моделі з кріпленням – 10,2%. Максимальне підняття підосви для моделі без кріплення 30% від висоти виробки Н, для моделі з кріпленням 14,6% від Н. Розмір зони впливу в підосві виробки становить для моделі без кріплення $0,53H$, а для моделі з кріпленням $0,63H$. Розмір зони впливу в покрівлі виробки становить для моделі без кріплення $0,57H$, а для моделі з кріпленням $0,45H$.

Таким чином, основна роль кріплення в досліджуваних моделях зводиться до суттєвої мінімізації зсувів покрівлі та боків виробки. У той час як розмір зони впливу в підосві виробки без кріплення – більше, що в природних умовах може викликати підвищення зсувів за рахунок збільшення порід в обсязі. Відмінність результатів досліджень дозволило зробити висновок, що в подальших моделях необхідно застосовувати кріплення.

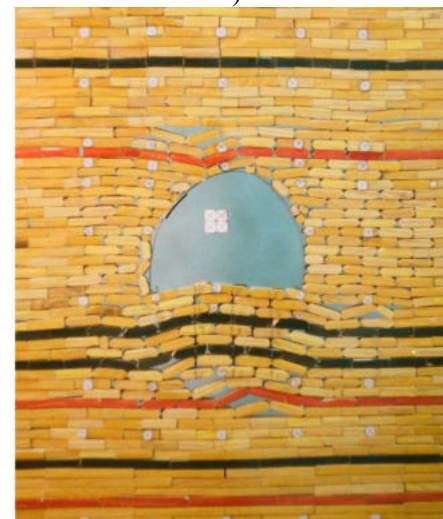
Характер поетапного деформування порід покрівлі і підосви при повторному порушенні рівноважного стану при зміцненні підосви анкерами, з установкою їх по нормалі до нашарування можна відстежити по деформаціям моделей наведених на рис. 4. Форма укріпленої зони – паралелепіпед.

У підосві ж, спостерігаються відмінності. На початкових етапах навантаження відбувається підняття порід (рис. 4а), зміщення незначні. На цьому етапі навантаження зміцнення підосви за допомогою анкерів показує хороший ефект. У міру збільшення навантаження

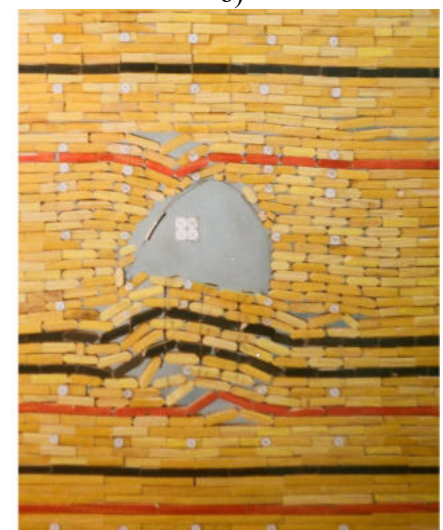
відбувається зародження складки нижче укріпленої області (рис. 4б).



а)



б)



в)

а), б), в) кроки навантаження
Рис. 4. Поетапне деформування моделі, зі зміцненням підосви анкерами

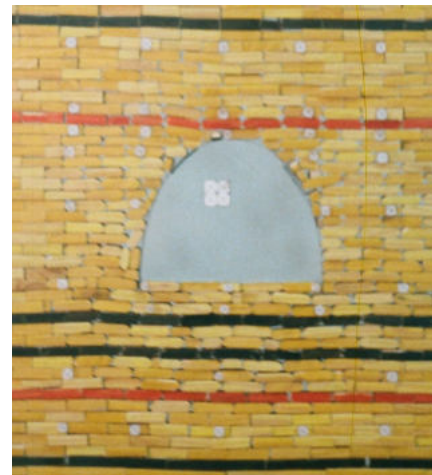
Аналіз результатів свідчить, що деформації в покрівлі мають схожий характер з моделлю без кріплення підшви. Розвиток цієї складки призводить до витискання в порожнину виробки всієї укріпленої зони одним блоком (рис. 4в). Таким чином, ефективність способу зміцнення анкерами породної зони у вигляді паралелепіпеда визначається глибиною анкерування.

Порівняння стану виробки на останньому кроці навантаження в моделях без заходів по зменшенню підняття підшви і з анкеруванням показує, що втрата перетину в моделі з анкерами 33%, тобто більше на 12% ніж у моделі без анкерів. Максимальне підняття підшви становить 19% від висоти виробки. Розмір області впливу виробки в покрівлі на 56% менше ніж в моделі без анкерів. При глибині укріпленої зони, що дорівнює половині ширини виробки складка утворюється за укріпленою областю порід і зона впливу досягає глибини що може бути порівняна з висотою виробки. Площа перетину порід підшви видавлених в виробку для моделі з анкерним кріпленням на 27% більше.

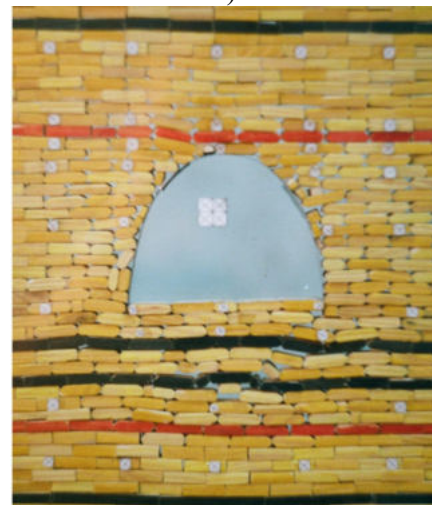
Таким чином, проведений експеримент показав, що зміцнення порід підшви анкерами ефективно тільки на початкових етапах навантаження. Надалі має місце видавлювання всій укріпленої оболонки в порожнину виробки і розвиток складки за межею укріпленої області. Це цілком узгоджується з результатами шахтних спостережень і рекомендацій щодо зміцнення порід підшви анкерами. Зокрема не рекомендується кріплення анкерами розшарованих і зруйнованих порід.

Оскільки підвищення ефективності зміцнення підшви за рахунок збільшення глибини укріпленої зони (неважливо яким способом) пов'язане з підвищенням матеріальних витрат і організаційної складності, були досліджені інші форми укріпленої зони. Характер поетапного деформування моделі при зміцненні підшви в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою від підшви виробки наведено на рис. 5.

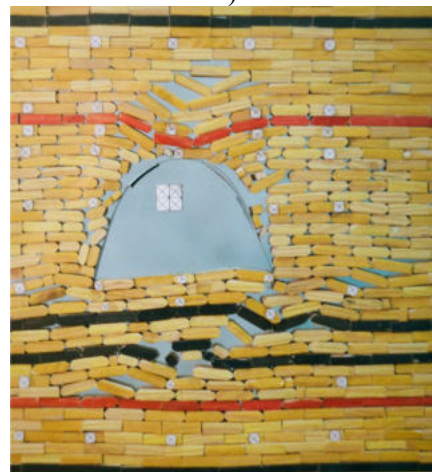
На початкових етапах навантаження відбувається відшарування укріпленої області та її рівномірне підняття в порожнину виробки (рис. 5б). У міру збільшення навантаження спостерігається



а)



б)



в)

а), б), в) – кроки навантаження

Рис. 5. Поетапне деформування моделі, з локальним зміцненням підшви в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою від підшви виробки

зародження складки, однак складка ця орієнтована під кутом близьким до кута бічної грані призми, і розвивається в боці

виробки (рис. 5в). Відбувається розрихлення і зрушення порід в боці виробки приблизно на рівні її підшови. Таким чином, змінюється вектор переміщень порід. Розвиток складки призводить до витискання в порожнину виробки всієї укріпленої зони під кутом (рис. 5в). На останньому етапі з протилежного боку на рівні підшови виробки також утворюються розуцільнені області.

Порівняння стану виробки на останньому кроці навантаження в моделях без заходів по зменшенню підняття підшови і з локальним зміцненням у вигляді призми з вершиною трикутника її основи спрямованою від підшови виробки показує, що втрата перетину в моделі зі зміцненням 29%. Максимальні підняття підшови становлять 11,6% від висоти виробки, що на 24% менше ніж в моделі без заходів. Розмір області впливу виробки в покрівлі на 12% більше ніж в моделі без заходів. При глибині укріпленої зони, що дорівнює половині ширини виробки складка утворюється за укріпленої областю порід, і зона впливу досягає глибини близько 72% від висоти виробки. Площа перетину порід підшови видавлених в виробку для моделі зі зміцненням на 7% менше.

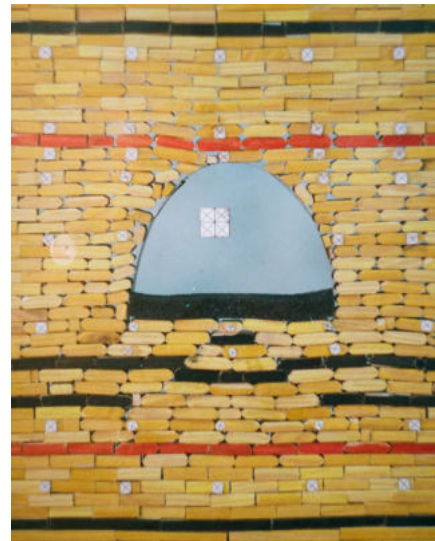
Характер поетапного деформування моделі при зміцненні підшови в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою до підшови виробки наведено на рис. 6.

Аналіз результатів свідчить, що деформації в покрівлі мають схожий характер з усіма попередніми моделями. Переміщення порід підшови істотно відрізняються. На початкових етапах навантаження відбувається зародження складок в підшві виробки безпосередньо в боках від укріпленої області (рис. 6б). Далі зароджуються складки, в боках виробки на рівні підшови і в підшві виробки під кутом близьким до кута бічної грані укріпленої породної призми (рис. 6б). Відбувається розшарування і зрушення порід в боках зміцненої породної області. Спостерігається зміна вектора переміщень порід підшови щодо моделі без заходів. Розвиток

складок супроводжується їх заклинюванням, викликаним формою зміцненої області (рис. 6в).

Втрата перетину в моделі зі зміцненням у вигляді призми з вершиною трикутника її

основи спрямованою до підшві виробки становить 26%.



а)



б)



в)

а), б), в) кроки навантаження
Рис. 6. Поетапне деформування моделі, з локальним зміцненням підшови в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою до підшві виробки

Максимальне підняття підосви становить 9,9% від висоти виробки, що на 32% менше ніж в моделі без заходів. Розмір області впливу виробки в покрівлі на 27% більше ніж в моделі без заходів. При глибині укріпленої зони, що дорівнює половині ширини виробки складка утворюється в боках від укріпленої області порід, зона впливу досягає глибини близько 65% від висоти виробки. Площа перетину порід підосви видавлених в виробку для моделі зі зміцненням на 54% менше ніж для моделі без заходів.

Висновки.

В результаті досліджень було встановлено, що при створенні в підосви гірничої виробки, яка підтримується в умовах повторного порушення її рівноважного стану, укріпленої зони в формі прямої призми з вершиною трикутника її основи зверненою до підосви виробки, обсяг порід підосви видавлених в виробку для моделі зі зміцненням на 54% менше ніж для моделі без заходів. Наведена форма зміцненої зони є найбільш ефективною.

Список літератури

1. Климов С.В. Угольная промышленность и энергетическая безопасность стран мира. Москва: Изд-во МГУ, 2002. 672 с.
2. Лазарев В. Рец. на статью: Рогалевич А.О. Несколько данных о стоимости ремонта крепи подземных выработок. *Горный журнал*. 1914. Т. II, №6. С. 316-317.
3. Гершкович Л.И. Некоторые замечания о вспучивании почвы в подземных выработках и о мерах борьбы с этим явлением. *Инженерный работник*. 1925. №9.
4. Гаркави А.А. Из наблюдений над вспучиванием почвы. *Инженерный работник*. 1925. №2.
5. Бокий Б.И. К вопросу о борьбе со вспучивающимися породами. *Инженерный работник*. 1926. №4.
6. Пинекер П.З. К вопросу о борьбе со вспучивающимися породами. *Инженерный работник*. 1926. №8.
7. Миненко К. Несколько наблюдений над вспучиванием почвы подземных выработок и борьбе с ним. *Инженерный работник*. 1926. №8.
8. Бокий Б.И. Еще несколько слов о вспучивающихся породах. *Инженерный работник*. 1926. №9.
9. Татаренко П.П. О вспучивающихся породах. *Инженерный работник*. 1927. №8.
10. Цимбаревич П.М. Курс рудничного крепления. Москва: Углетехиздат, 1948. 568 с.
11. Цимбаревич П.М. Механика горных пород. Москва: Углетехиздат, 1948. 184 с.
12. Цимбаревич П.М. Рудничное крепление. Москва: Углетехиздат, 1951. 607 с.

13. Кириченко В.Я., Шмиголь А.В., Рева В.Н. О механизме пучения почвы выработок, сооружаемых в слабых породах. *Шахтное строительство*. 1988. №11. С. 3-5.

14. Шмиголь А.В., Кириченко В.Я., Бучатский С.К., Рева В.Н. Шахтные исследования характера разрушения слабых пород на шахтах Западного Донбасса. *Шахтное строительство*. 1987. №5. С. 11-12.

15. Пирский А.А., Стовпник С.Н. Шахтные исследования пучения почвы в выработках Западного Донбасса. *Уголь Украины*. 1989. №11. С. 2-3.

16. Негрей С.Г. Обоснование параметров механического отпора породам почвы выемочных выработок при отработке лав обратным ходом: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / Донецкий Национальный Технический университет. Донецк, 2007. 296 с.

17. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. 3-е изд., испр. и доп. Москва: Физматлит, 1960. 242 с.

18. Слесарев В.Д. Механика горных пород и рудничное крепление. Москва: Углетехиздат, 1948. 303 с.

19. Исаенков А.А. Исследование влияния размера зоны разрушенных пород на передачу давления от фронта разрушения на контур почвы выработки. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2016. № 1. С. 17-21.

20. Исаенков О.О., Сахно І.Г. Деформування і стан порід підосви підготовчих виробок. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2016. №2. С. 76-81.

21. Алексеенко С.Ф., Заболотный А.Г., Штанько Л.А. Основы моделирования при решении задач горной геомеханики. Київ: Техніка, 1996. 173 с.

22. Зубов В.П., Чернышков Л.Н., Лазченко К.Н. Влияние подрывок на пучение пород в подготовительных выработках. *Уголь Украины*. 1985. №7. С. 15-16.

References

1. Klimov, S.V. (2002). *Ugol'naja promyshlennost' i jenergeticheskaja bezopasnost' stran mira*. Moskva: Izd-vo MGU. (in Russian).
2. Lazarev, V. (1914). Rec. na stat'ju: Rogalevich A.O. Neskol'ko dannyh o stoimosti remonta krepki podzemnyh vyrabotok. *Gornyj zhurnal*, II, №6, 316-317. (in Russian).
3. Gershkovich, L.I. (1925). Nekotorye zamechanija o vspuchivanii pochvy v podzemnyh vyrabotkah i o merah bor'by s jetim javleniem. *Inzhenernyj rabotnik*, №9. (in Russian).
4. Garkavi, A.A. (1925). Iz nabljudenij nad vspuchivaniem pochvy. *Inzhenernyj rabotnik*, 2. (in Russian).
5. Bokij, B.I. (1926). K voprosu o bor'be so vspuchivajushhimisja porodami. *Inzhenernyj rabotnik*, 4. (in Russian).
6. Pineker, P.Z. (1926). K voprosu o bor'be so vspuchivajushhimisja porodami. *Inzhenernyj rabotnik*, 8. (in Russian).
7. Minenko, K. (1926). Neskol'ko nabljudenij nad vspuchivaniem pochvy podzemnyh vyrabotok i bor'be s nim. *Inzhenernyj rabotnik*, 8. (in Russian).
8. Bokij, B.I. (1926). Eshhe neskol'ko slov o vspuchivajushhihsja porodah. *Inzhenernyj rabotnik*, 9. (in Russian).
9. Tatarenko, P.P. (1927). O vspuchivajushhihsja porodah. *Inzhenernyj rabotnik*, 8. (in Russian).
10. Cimbarevich, P.M. (1948). Kurs rudnichnogo krepjenja. Moskva: Ugletehizdat. (in Russian).
11. Cimbarevich, P.M. (1948). *Mehanika gornyh porod*. Moskva: Ugletehizdat. (in Russian).

12. Cimbarevich, P.M. (1951). Rudnichnoe kreplenie Moskva: Ugletekhizdat. (in Russian).
13. Kirichenko, V. Ja. (1988). O mehanizme puchenija pochvy vyrabotok, sooruzhaemyh v slabych porodah. *Shahtnoe stroitel'stvo*, 11, 3-5. (in Russian).
14. Shmigol', A.V., Kirichenko, V.Ja., Buchatskij, S.K., Reva, V.N. (1987). Shahtnye issledovanija haraktera razrushenija slabych porod na shahtah Zapadnogo Donbassa. *Shahtnoe stroitel'stvo*, 5, 11-12. (in Russian).
15. Pirsikij, A.A., Stovpnik, S.N. (1989). Shahtnye issledovanija puchenija pochvy v vyrabotkah Zapadnogo Donbassa. *Ugol' Ukrainy*, 11, 2-3. (in Russian).
16. Negrey, S.G. (2007). *Substantiation of mechanical resistance parameters of mine workings with retreat driving of a longwall to above rocks*. (Abstract of Cand. Sci. (Tech.) dissertation). Donetsk national technical university, Donetsk. (in Russian).
17. Sokolovskij, V.V. (1960). Statika sypuchej sredy. 3-e izd., ispr. i dop. Moskva: Fizmatlit. (in Russian).
18. Slesarev, V.D. (1948). *Mehanika gornyh porod i rudnichnoe kreplenie*. Moskva: Ugletekhizdat. (in Russian).
19. Isaenkov, A.A. (2016). Issledovanie vlijanija razmera zony razrushennyh porod na peredachu davlenija ot fronta razrushenija na kontur pochvy vyrabotki. *Visti Donec'kogo girnichogo institutu*, 1, 17-21. (in Russian).
20. Isaenkov, O. O., Sakhno, I. G. (2016). Deformuvannja i stan porid pidoshvi pidgotovchih virobok. *Visti Donec'kogo girnichogo institutu*, 2, 76-81. (in Russian).
21. Alekseenko, S. F., Zabolotnyj, A. G., Shtan'ko, L. A. (1996). *Osnovy modelirovanija pri reshenii zadach gornoj geomehaniki*. Kiev: Tehnika. (in Russian).
22. Zubov, V. P., Chernyshkov, L. N., Lazchenko, K. N. (1985). Vlijanie podryvok na puchenie porod v podgotovitel'nyh vyrabotkah. *Ugol' Ukrainy*, 7, 15-16. (in Russian).

Надійшла до редакції 29.10.2020

Рецензент д-р. техн. наук, проф. Костенко В.К.

Ісаєнков Олександр Олександрович – канд. техн. наук, доцент кафедри управління гірничим виробництвом, ДВНЗ Донецький національний технічний університет, (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: oleksandr.isaenkov@ii.donntu.edu.ua.

Сахно Іван Георгійович – д-р техн. наук, професор кафедри розробки родовищ корисних копалин, ДВНЗ Донецький національний технічний університет, (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: ivan.sakhno@donntu.edu.ua.

Сахно Світлана Володимирівна – канд. техн. наук, доцент кафедри геології розвідки і збагачення корисних копалин, ДВНЗ Донецький національний технічний університет, (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: svitlana.sakhno@donntu.edu.ua.

DEVELOPMENT OF A MODIFIED SELF-EXTENDING MIXTURE FOR INCREASING STABILITY OF ROCKS

Purpose. Search and analysis of rational forms of bottom rock strengthening at their block-discrete structure in the conditions of intensive raising in underground mine roadways.

Method. The research methods used are a comprehensive approach, which includes: laboratory research on structural models, computer processing, analysis and interpretation of the results.

Results. The urgency of the direction of increasing the stability of the rocks in bottom of the mine roadways by their local directional strengthening is indicated.

The method of structural modelling conducted a series of studies on the installation, which was designed and assembled for the research. The influence of different schemes of strengthening block rocks in bottom of the mine roadways on the rock raising, vertical and horizontal convergence is determined. By comparing the areas of displaced rocks, calculated using a graphical editor, a conclusion was made about the effectiveness of each of the comparative hardening schemes. As a result, the scheme of hardening is determined, which allows restraining as much as possible the displacement of rocks into the roadway cavity.

Scientific novelty. As a result of research it was found that when creating a bottom of the mine roadways, which is maintained in the conditions of repeated violation of its equilibrium state, a fortified zone in the form of a straight prism with the triangle of its base facing the bottom of the roadways, the volume of rocks extruded less than for the no-action model. The given form of the strengthened zone is the most effective.

Practical meaning. A new method of local strengthening of bottom rocks, which can be represented by a block inhomogeneous medium, has been developed.

Key words: rock deformation, stability of roadways, strengthening of rocks, local strengthening, structural modelling.

Isaenkov Aleksandr Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining Management, Donetsk National Technical University (2, Shybankova Ave., Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine).

E-mail: oleksandr.isaenkov@ii.donntu.edu.ua.

Sakhno Ivan Georgievich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mineral Deposits Development, Donetsk National Technical University (2, Shybankova Ave., Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine).

E-mail: ivan.sakhno@donntu.edu.ua.

Sakhno Svetlana Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geology of Mineral Exploration and Enrichment, Donetsk National Technical University (2, Shybankova Ave., Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine).

E-mail: svitlana.sakhno@donntu.edu.ua.