

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

ІВАНОВ Олексій Сергійович

УДК 622.831.3

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ СТІЙКОСТІ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК
ВУГІЛЬНИХ ШАХТ З УРАХУВАННЯМ ШВИДКОСТІ ПОСУВАННЯ
ВИБОУ ЛАВИ**

Спеціальність 05.15.09 – “Геотехнічна і гірнична механіка”

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Дніпропетровськ - 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі вищої математики Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Сдвижкова Олена Олександрівна,
завідувач кафедри вищої математики Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Дрібан Віктор Іванович,
завідувач відділу гірничого тиску Українського державного науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи НАН України (м. Донецьк);

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Курносів Сергій Анатолійович,
старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ).

Захист дисертації відбудеться “28” жовтня 2011 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 у Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ).

Автореферат розісланий “28” вересня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Видобуток вугілля в Україні здійснюється в складних гірничо-геологічних умовах. Понад 30 шахт ведуть роботи на глибинах 1000-1380 м. Незважаючи на складність природних умов, ефективність вуглевидобування зростає за рахунок концентрації гірничих робіт і підвищення їх темпів. Реалізація цих напрямів можлива за умови впровадження нової високопродуктивної техніки, що дозволяє досягти навантаження на лаву 3000 і більше тон на добу. Швидкість посування очисного вибою на високопродуктивних вугільних шахтах сягає 140 м на місяць. Інтенсивне ведення гірничих робіт призводить до швидкого оголення порід на значному просторі. Геомеханічні процеси, які при цьому розвиваються в породному масиві, на сьогодні вивчені не достатньо. Продовжує залишатися актуальною проблема підтримки гірничих виробок в зоні впливу високонавантажених лав. Їх незадовільний стан є однією з причин, що стримують темпи робіт, знижують економічні показники роботи вугільних шахт і безпеку праці робітників.

При відробці пласта h_8 в умовах шахти "Шахтарська-Глибока" ДП "Шахтарськантрацит" підтримка підготовчих виробок ускладнюється значною глибиною ведення робіт (1350 м) і наявністю у безпосередній покрівлі нестійких порід, схильних до обвалення. Крім того, на стійкість штреків впливають циклічні стрибкоподібні зміни напруженого стану породного масиву, що обумовлені періодичними осадками основної покрівлі в процесі відпрацювання вугільного пласту. За наявності в покрівлі очисної виробки важкообвалюваних піщаних сланців утворюється консольне зависання порід з наступним раптовим, важко прогнозованим обваленням. Момент обвалення супроводжується різким зростанням тиску як на кріплення лави, так і на кріплення підготовчих виробок. При цьому довжина зависаючої консолі, а отже і інтенсивність навантаження на елементи кріплення обумовлені впливом великої кількості чинників, серед яких одним з найбільш вагомих є швидкість оголення гірських порід. Проте, на сьогодні немає ні теоретичної, ні експериментальної бази для розробки заходів щодо підвищення стійкості виробок при різних темпах гірничих робіт. Тому встановлення закономірностей впливу швидкості оголення порід на розвиток геомеханічних процесів в породному масиві навколо сполучення підготовчої та очисної виробок з метою прогнозу обвалення порід основної покрівлі та розробки заходів щодо зниження негативного впливу інтенсивного гірського тиску на стійкість підготовчих виробок є актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до програми науково-дослідних робіт Національній гірничий університет, яка пов'язана з держбюджетними темами ГП-379 "Закономірності зміни напружено-деформованого стану породного масиву з плоскими дефектами навколо капітальної виробки" (№ держреєстрації 0106U001386),

ГП- 410 "Геомеханічне обґрунтування підземної технології інтенсивного видобування вугілля з урахуванням особливостей геологічного середовища" (№ держреєстрації 0108U000541).

Метою роботи є встановлення закономірностей розвитку геомеханічних процесів в породному масиві навколо сполучень підготовчої та очисної виробок за різних темпів очисних робіт в лавах пологих вугільних пластів.

Основна ідея досліджень полягає в урахуванні залежності міцності гірських порід, а отже, і здатності породного оголення зберігати форму і розміри від швидкості навантаження породного середовища в процесі перерозподілу напружень при безперервному посуванні фронту очисних робіт і формуванні виробленого простору.

Об'єктом досліджень є область породного масиву, що включає сполучення підготовчої та очисної виробки пологих вугільних пластів при високих темпах їх відробки.

Предметом досліджень є граничний напружений стан породного масиву при різних швидкостях навантаження породного середовища.

Основні задачі досліджень:

- збір і статистична обробка натурних даних про швидкість ведення очисних робіт і про обвалення порід покрівлі вугільного пласту в гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах шахт ДП "Шахтарськантрацит" та аналіз основних чинників, що впливають на геомеханічні процеси в породному масиві при суцільному відпрацюванні вугільного пласта з різною швидкістю оголення порід;
- встановлення зв'язку між міцністю гірських порід і швидкістю їх навантаження на основі кінетичної і статистичної теорій міцності та розробка критерію міцності порід з урахуванням швидкості формування оголень у породному масиві;
- чисельне 3D-модювання квазістатичного процесу посування очисного вибою і зміни напружено-деформованого стану породного масиву навколо сполучення очисної та підготовчої виробки та встановлення закономірностей формування зон руйнування в покрівлі очисної виробки і створення умов для обвалення порід у вироблений простір залежно від швидкості посування очисного вибою;
- встановлення закономірностей зміни напруженого стану порід навколо підготовчих виробок залежно від швидкості розвитку очисних робіт;
- розробка рекомендацій щодо зниження негативної дії динамічного ефекту від обвалення покрівлі у вироблений простір та оцінка ефективності розроблених заходів і розрахунок передбачуваного економічного.

Методи дослідження. Поставлена в роботі мета досягнута шляхом комплексного використання методів математичної статистики, багатофакторного кореляційного аналізу, основних положень механіки твердого тіла, статистичної теорії міцності, кінетичної теорії міцності, чисельних методів механіки суцільного середовища, узагальнення інформаційних джерел, а також лабораторних і натурних досліджень.

Основні наукові положення, що захищаються в дисертації:

1. Міцність гірських порід зростає в логарифмічній залежності від швидкості навантаження структурного елемента масиву в процесі виймання вугілля, що дозволяє відповідно до розробленого критерію міцності прогнозувати розмір зони руйнування у породному середовищі при різних темпах виконання очисних робіт;

2. Зростання темпів гірничих робіт в умовах важкообвалюваних покрівель призводить до збільшення площі породних оголень і критичного об'єму породної маси в нелінійній залежності від параметрів відпрацювання, потужності пласту і міри неоднорідності порід, що дозволяє розробити рекомендації з охорони підготовчих виробок в зоні впливу обвалень основної покрівлі.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше для групи шахт, що виділені за територіальною ознакою і подібністю гірничо-геологічних умов, узагальнені дані відносно критичних розмірів виробленого простору, які призводять до обвалення покрівлі при очисних роботах; на основі методу групового урахування аргументів визначено основні чинники, що впливають на цю величину, а саме: потужність вугільного пласту, глибина розробки, міцність вміщуючих порід, а також швидкість очисних робіт;

2. Доведена спільність процесів, що протікають в породному зразку і в породному масиві при зміні швидкості навантаження породного зразка (структурного елемента масиву); вперше на основі аналізу руйнування порід з точки зору кінетичної і статистичної теорій міцності надано розвиток феноменологічної теорії міцності порід з урахуванням швидкості зростання навантаження;

3. Вперше встановлено, що збільшення швидкості очисних робіт обумовлює зміцнення породного масиву і відповідне зменшення зон руйнування в покрівлі над виробленим простором лави, і, як наслідок, збільшення критичного значення оголення, що визначає крок посадки покрівлі;

4. Вперше встановлені закономірності розподілу напружень і деформацій навколо підготовчих виробок в зоні впливу виробленого простору лави при різних темпах оголення порід, що дозволяє розробляти заходи щодо охорони виробок в зоні підвищеного гірського тиску.

Наукове значення роботи полягає в встановленні закономірностей розвитку геомеханічних процесів в породному масиві навколо сполучень підготовчої та очисної виробок за різних темпів очисних робіт на основі розробленого критерію міцності гірських порід з урахуванням швидкості навантаження довільного структурного елемента породного масиву.

Практичне значення роботи полягає у розробці рекомендацій і заходів щодо зниження негативного впливу гірського тиску навколо системи "лава-штрек" в умовах інтенсифікації гірничих робіт шляхом штучного зниження жорсткості охоронних вугільних ціликів.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується використанням фундаментальних положень механіки гірських порід; застосуванням сучасних методів теоретичних досліджень, включаючи метод математичного моделювання; значним об'ємом і ко-

ректністю постановки лабораторних і шахтних досліджень; позитивними результатами перевірки теоретичних результатів досліджень в шахтних умовах та їх впровадженням.

Реалізація результатів досліджень. Рекомендації із застосування способу підвищення стійкості гірничих виробок в зоні впливу очисних робіт реалізовані на шахті ДП «Шахтарськантрацит» «Шахтарська-Глибока» з розрахунковим економічним ефектом 26,1 тис. грн на 1 км виробки.

Особистий внесок автора. Автором самостійно сформульовані мета і завдання досліджень, ідея роботи, її основні наукові положення, висновки і рекомендації, порядок лабораторних і натурних досліджень, обрані методи аналітичних досліджень. Автор безпосередньо здійснював збір і обробку статистичних даних, розробив методику і здійснив лабораторні випробування породних зразків, розробив розрахункові схеми і виконував математичне моделювання досліджуваних геомеханічних процесів, розробляв заходи щодо підвищення стійкості підготовчих виробок в зоні впливу очисних робіт і брав участь у впровадженні результатів досліджень у виробництво.

Апробація результатів дисертації. Основні дослідження дисертації докладалися, обговорювалися, були схвалені на засіданнях Технічної ради ГП "Шахтарськантрацит" (Шахтарськ, 2008,2009), на міжнародних науковій конференціях "Вдосконалення технології будівництва шахт і підземних споруд" (Донецьк, ДонНТУ, 2007), "Перспективи надрокористування" (Санкт-Петербург, СпДТУ, 2008,2009), «Форум гірників – 2010» (Дніпропетровськ, ДВУЗ "НГУ", 2010), "Школа геомеханіки і геоінженерії" (Польща, Криниця, 2010).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 13 наукових роботах, у тому числі 4 статті в спеціалізованих виданнях, 9 - в матеріалах наукових конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел з 85 найменувань на 8 сторінках і 3 додатків на 9 сторінках. Містить 143 сторінку машинописного тексту, 96 рисунки і 17 таблиць. Загальний обсяг 160 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ дисертації присвячений аналізу стану підготовчих виробок шахт України за умови зростання навантаження на механізовані вибої лав, зокрема в гірничо-геологічних умовах шахти «Шахтарська-Глибока» ДП «Шахтарськантрацит». Підтримка підготовчих виробок в умовах цієї шахти ускладнюється не лише значною глибиною розробки, але і наявністю у безпосередній покрівлі нестійких порід, схильних до вивалоутворення. Крім того, на стійкість штреків впливають циклічні стрибкоподібні зміни напруженого стану породного масиву, що обумовлені періодичними осіданнями основної покрівлі в процесі очисних робіт. За наявності в покрівлі очисної виробки важкообвалюваних піщаних сланців створюється консольне зависання порід з подальшим рапто-вим, важко прогнозованим обваленням. Момент осідання супроводжується різким зростанням тиску, як на кріплення лави, так і на кріплення підготовчих виробок. При цьому довжина породної консолі та інтенсивність навантаження на

елементи кріплення обумовлені впливом великої кількості чинників, серед яких одним з найбільш вагомих є швидкість оголення порід покрівлі. На сьогодні немає сталого уявлення про кількісний вплив швидкості ведення очисних робіт на крок обвалення порід основної покрівлі. Відповідно немає ні теоретичної, ні експериментальної бази для розробки заходів щодо підвищення стійкості виробок при зростанні темпів очисних робіт. У зоні обвалу має місце різкий стрибок гірського тиску, можливі посадки механізованих очисних комплексів «нажорстко», а ярусні штреки сприймають підвищені навантаження, що здатні призвести до руйнування кріплення. В свою чергу це призводить до порушення експлуатаційних якостей підготовчих виробок.

На думку багатьох учених (А.М. Зорін, Б.М. Усаченко, С.І. Скіпочка, К.К., Г.Т. Рубець, Софійський, Е.І. Кольчик, В.І. Ніколін та ін.) збільшення швидкості посування вибою призводить до істотної зміни фізико-механічних властивостей гірських порід, що є причиною перерозподілу характеристик їх напружено-деформованого стану. На основі вказаних і багатьох інших робіт, можна зробити висновок, що змінюючи швидкість посування вибою, можна змінювати інтенсивність опускання покрівлі та інших проявів гірського тиску. Проблема управління гірським тиском за останній час присвячені роботи багатьох вчених: А.Ф. Булата, В.В. Виноградова, М.С. Анциферова, Ю.М. Халімендика, В.О. Дрібана, Г.Т. Кирничанського, О.М. Шашенка, А.Т. Курносова, Г.Г. Літвінського, Г.В. Бабіюка, М.П. Зборщика та інших.

На даний момент досить добре вивчений вплив структури порід на геомеханічні процеси в покрівлі вугільного пласта при посуванні очисного вибою. Вплив швидкості посування вибою лави з низки причин досліджений значно меншою мірою. Тому першочерговим завданням є збір та обробка статистичної інформації щодо обвалення покрівлі в умовах шахт України.

Вуглевидобувні підприємства розбито за територіальною ознакою, яка певною мірою пов'язана із ступенем метаморфізму порід. У **другому розділі** наведені результати обробки даних щодо 24-х шахт (50 лав) підприємств «Свердловантрацит», «Антрацит», «Ровенькиантрацит», «Сніжнеантрацит», «Шахтарськантрацит» і «Торезантрацит», що розташовані в Донецькій та південній частині Луганської областей та видобувають переважно антрацитове вугілля. Дані щодо кроку обвалень покрівлі та швидкості посування очисного вибою наведені на кореляційному полі (рис.1).

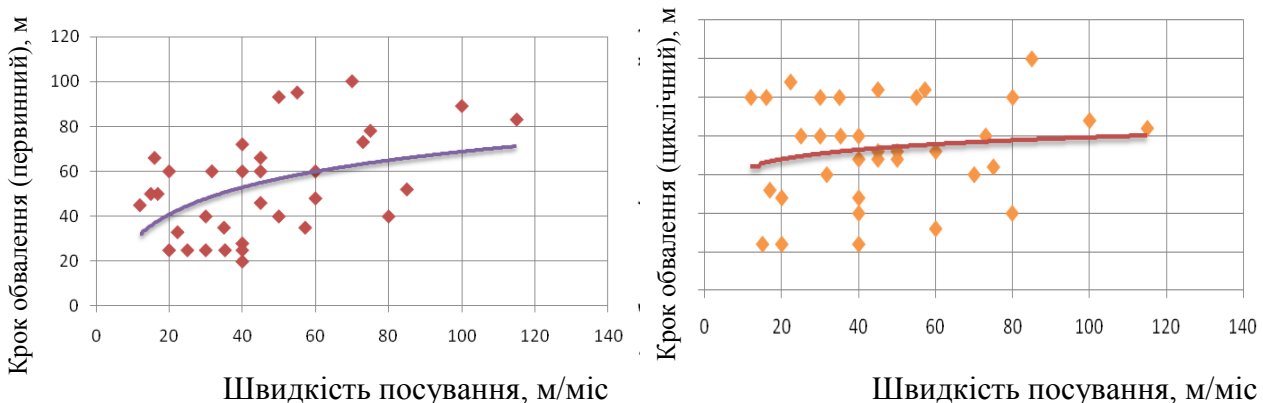


Рис. 1. Залежність первинного (лівий) та циклічного (правий) кроку обвалення порід основної покрівлі від швидкості посування вибою лави

Оскільки дані отримані для широкого спектру гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов, кореляційний зв'язок виявився слабким, розглядати його можна лише як загальний тренд. Тому в подальшому дані відсортовані за комплексним показником розробки $\Omega = \gamma H/R_c$ (γ – об'ємна вага порід, H – глибина відпрацювання, R_c – межа міцності на стиск) та отримані більш детальні залежності (рис. 2).

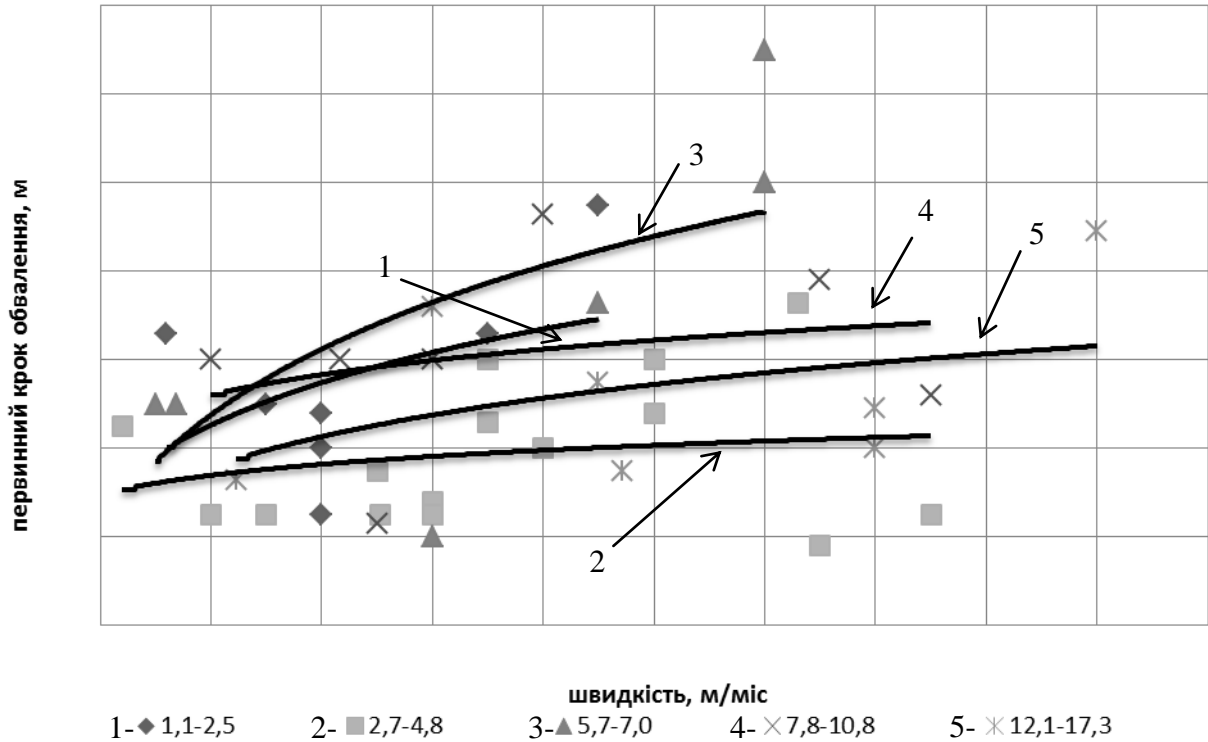


Рис. 2. Залежності кроку обвалення від швидкості посування вибою лави при різних значеннях показника відпрацювання

Значний об'єм вибірки дозволив використати ефективний метод групового урахування аргументів та виділити найбільш впливові фактори для первинного та циклічного обвалення порід покрівлі. Такими факторами є: комплексний показник відпрацювання (Ω), потужність пласта (m) і потужність порід покрівлі (m_k). З великим ваговим коефіцієнтом увійшла в структуру прогностичної моделі швидкість ведення робіт (V). Менш значними виявилися кут падіння пласта (α) та відстань між тріщинами (l_t):

$$a_{nep} = 36,7740 \cdot \Omega + 0,2364 \cdot m \cdot \alpha \cdot V + 0,1375 \cdot m \cdot m_k \cdot \alpha, \quad (1)$$

$$a_{ycm} = 8,7249 \cdot \Omega + 0,1122 \cdot V \cdot \Omega + 0,0163 \cdot m \cdot l_t \cdot m_k. \quad (2)$$

Для виявлення впливу темпів очисних робіт на геомеханічний стан породного масиву з шахт обраної групи було виділено декілька шахт об'єднання «Свердловантрацит», що знаходяться в практично однакових умовах за геологічними, структурними та технологічними параметрами, устаткуванню тощо. Тобто з точки зору статистики, це досить однорідні об'єкти. Для них простежу-

ється чітка тенденція: крок обвалення збільшується при збільшенні швидкості ведення очисних робіт (рис. 3). Сама залежність має вигляд, близький до логарифмічного.

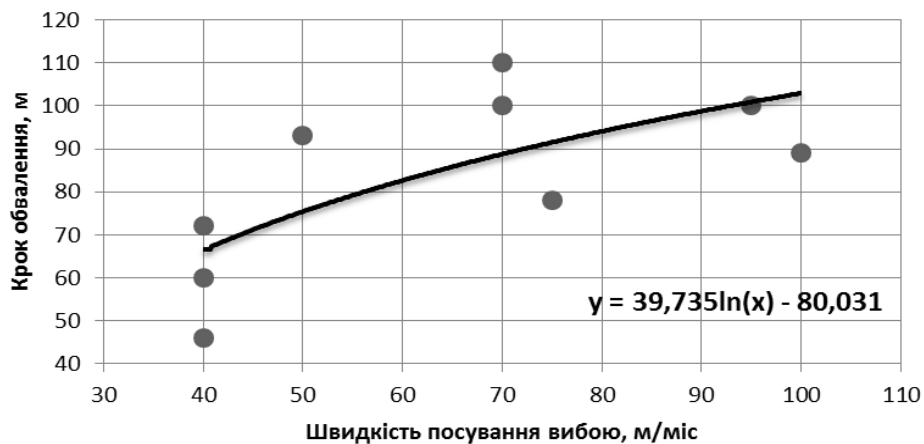


Рис. 3. Залежність кроку обвалення від швидкості посування вибою для лав, що знаходяться в однакових гірничо-геологічних умовах

Подальшим завданням було підтвердити встановлені емпіричні залежності на основі фундаментальних положень механіки твердого деформованого тіла. Відповідно існуючим уявленням, над виробленим простором шириною a формується зона, в якій породи перейшли у новий якісний стан, що є відмінним від первинного, і в якій реалізуються непружні деформації. Цю зону ототожнюють з класичним склепінням «за Протод'яконовим». Обвалення порід відбувається тоді, коли вага порід в цій зоні перевищує сили зчеплення. Вага порід пов'язана з площею цієї зони $S(a)$, а утримуюча сила – із межею міцності на розтягування σ_p і формою цього склепіння, що може бути задана кривою $L(a)$. Умова обвалення має вигляд:

$$\gamma_{\text{пор}} \cdot \frac{S(a)}{L(a)} \geq \sigma_p, \quad (3)$$

де основною механічною характеристикою є межа міцності σ_p .

Аналіз цієї характеристики виконано з точки зору кінетичної теорії міцності, яка пов'язує час прикладення навантаження та опір середовища руйнуванню. Вважаючи, що склепіння обвалення має параболічну форму і перетворюючи відоме рівняння С.М. Журкова, отримуємо залежність ширини виробленого простору a від часу реалізації геомеханічних процесів τ :

$$a = \frac{4,44}{\gamma_{\text{пор}}} \left(\frac{u_0}{\gamma} - \frac{k \cdot T}{\gamma} \cdot \ln \left(\frac{\tau}{\tau_0} \right) \right), \quad (4)$$

де u_0 , k , T , τ_0 , $\gamma_{\text{пор}}$ – фізичні константи, що введені у розгляд С.М. Журковим і при сучасному розвитку експериментальної бази не можуть бути визначені для гірських порід.

Багато колективів учених, слідуючи теорії Журкова, шукали зв'язок між міцністю твердого тіла і часом прикладення навантаження. Це роботи В. Николау, Н.В. Немтирева, Г.В. Беченової, В.І. Ніколіна, М.Ф. Кунтиша,

Ю.З. Заславського, А.І. Берона, Фон М. Вавро и Дж. Мікешки та інших. У третьому розділі дисертації узагальнено експериментальні дані, отримані ученими в різні роки.

Стосовно порід пласта h_8 в лабораторії геомеханіки НГУ автором були виконані аналогічні лабораторні випробування на гідравлічному пресі компанії «Текнотест», що дозволяє змінювати швидкість навантаження. Результати підтверджують загальну закономірність (рис. 4): при збільшенні швидкості навантаження зростає опір матеріалу, тобто міцність породи. У більшості випадків залежність має логарифмічний характер.



Рис. 4. Залежність міцності зразків гірських порід від швидкості навантаження (V – швидкість при поточному експерименті; V₀ – «початкова» швидкість)

Встановлену закономірність можна пояснити з точки зору статистичної теорії міцності, розвиненої для гірських порід в роботах Б.М. Усаченка і Г.Т. Рубця, де процес руйнування показаний як послідовне руйнування структурних зв'язків. В результаті встановлена залежність між мірою зміцнення порід і швидкістю їх навантаження

$$\frac{\sigma_n}{\bar{\sigma}} = 1 + 1,28 \cdot \eta \cdot \ln \frac{V_n}{V_0}, \quad (5)$$

де $\bar{\sigma}$ – математичне очікування значень міцності, що отримані при навантаженні зі швидкістю V₀; σ_n – значення міцності при швидкості навантаження V_n, η – коефіцієнт варіації міцності структурних елементів масиву, який характеризує міру неоднорідності породного середовища.

Таким чином, аналіз статистичних даних, узагальнення теоретичних уявлень про руйнування породного масиву, аналіз лабораторних даних, а також використання статистичної і кінетичної теорій міцності призводять до залежностей одного і того ж виду. З урахуванням (5) розвинений феноменологічний критерій міцності, який може бути безпосередньо застосований в геомеханічних розрахунках з урахуванням швидкості навантаження структурного елемента масиву:

$$\sigma_{\text{екв}} \geq R_c \left(1 + 1,28 \eta \ln \frac{v_n}{v_0} \right), \quad (6)$$

де R_c – межа міцності породи на стиск, що отримана при стандартній швидкості навантаження v_0 ; $\sigma_{\text{екв}}$ – еквівалентне напруження, що визначається згідно обраної теорії міцності. Зокрема, великий досвід геомеханічних розрахунків свідчить про достатню адекватність теорії П.П. Баландіна, за якою трикомпонентне поле напружень може бути зведено до однокомпонентного таким чином:

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{(\psi - 1)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{2\psi} + \frac{\sqrt{(\psi - 1)^2(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 + 2\psi[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}}{2\psi}, \quad (7)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження, R_p, R_c - межі міцності на одновісне розтягання и стиск відповідно, $\psi = \frac{R_p}{R_c}$ - показник крихкості матеріалу.

На основі цього критерію та визначення компонентів напруженого стану породного масиву можна окреслити зону непружних деформацій (яку в подальшому будемо називати зоною руйнування). Моделюванню напружено-деформованого стану порід з урахуванням критерію (5) присвячено **четвертий розділ** дисертації. Компоненти напружень багатозв'язної тривимірної області, що включає підготовчу виробку, лаву, охоронні конструкції і навколишній масив порід визначені методом скінченних елементів за допомогою програмного продукту SolidWorks (рис. 5).

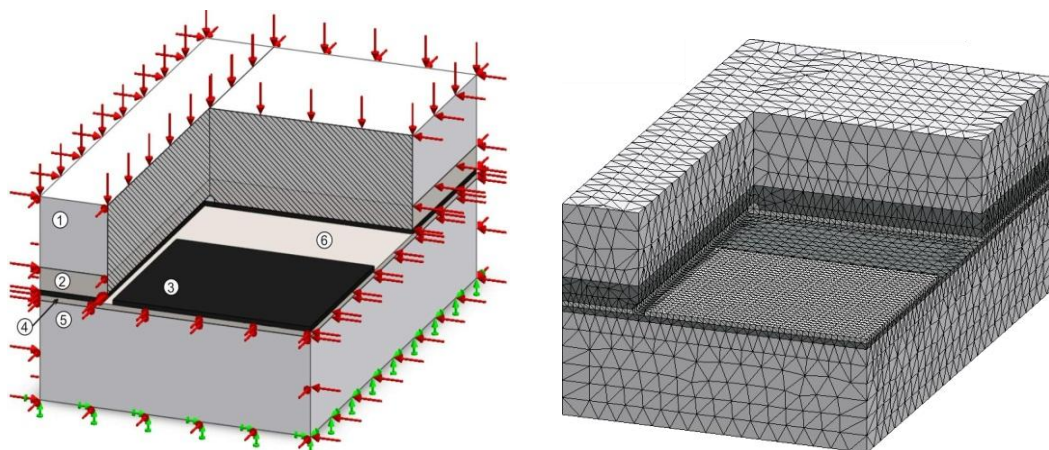


Рис. 5. Розрахункова схема и скінченно-елементна апроксимація сполучення підготовчої виробки і лави

Шляхом зміни граничних умов моделювався квазістатичний процес збільшення виробленого простору в міру посування очисного вибою. На кожному етапі збільшення виробленого простору аналізувалися напруження і, за допомогою розробленої обчислювальної програми визначалася зона руйнування при різних значеннях швидкості посування вибою лави.

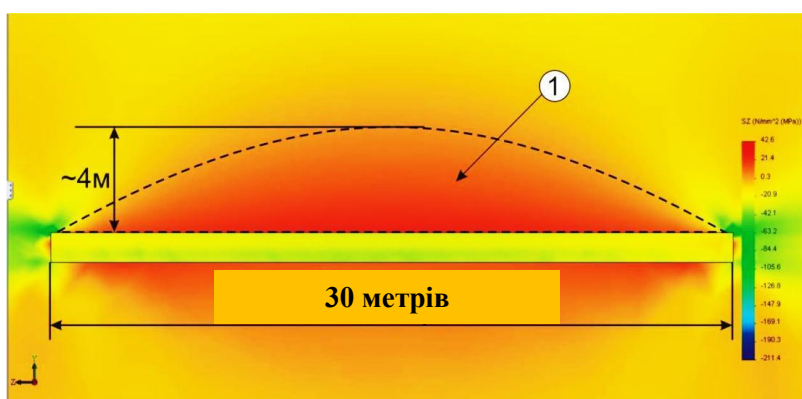


Рис. 6. Розподіл горизонтальних напружень навколо очисної виробки при ширині виробленого простору 30 м: 1 - зона розтягуючих горизонтальних напружень в покрівлі виробки

Зокрема, для умов шахти «Шахтарська-Глибока» за існуючої швидкості ведення очисних робіт 20-25 метрів на місяць і при відході лави від розрізної печі на 30 метрів виникає наступна ситуація: в покрівлі виробки має місце зона розтягуючих напружень, висота якої близько 4 м (рис. 6); такі ж розміри має і зона руйнування, що визначається відповідно розробленому критерію (5) (рис. 7,а).

Таким чином, створюється ситуація, що описана раніше – вага порід в зоні руйнування перевищує утримуючу силу. Це і є, за нашими уявленнями, момент обвалення.

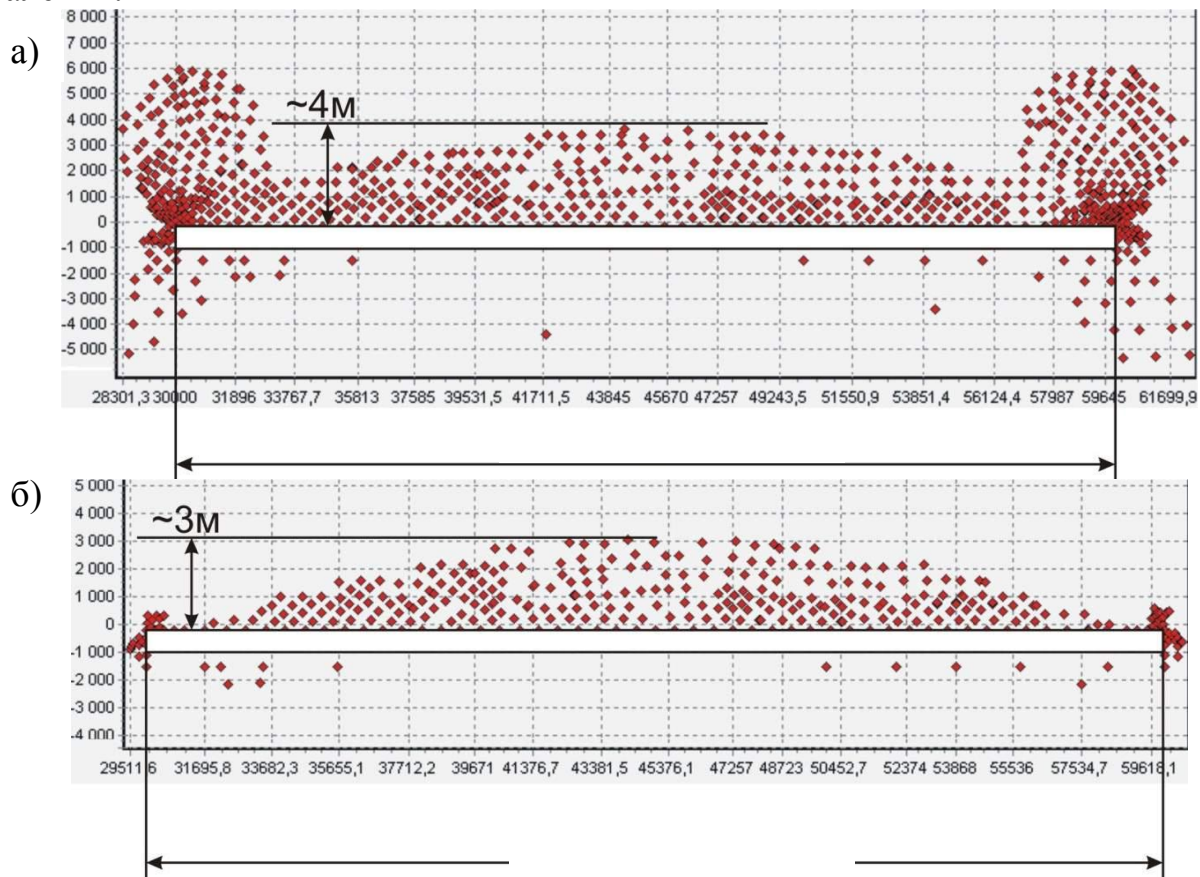


Рис. 7. Область руйнування в покрівлі очисної виробки:

- а* - за існуючих темпів посування очисної виробки (22-25 м на місяць);
б - при збільшенні швидкості оголення порід (60 м на місяць),
 точками показані скінченні елементи, в яких виконується умова (5)

Якщо припустити, що швидкість в цих умовах збільшиться до 60 метрів на місяць, то зона руйнування не буде розвиватись так інтенсивно, а розмір виробленого простору 30 метрів не буде критичним. Це видно з рисунка 7,б. Ситуація, що провокує обвалення за таких темпів робіт складеться тільки при досягненні покрівлю розміру в 45 метрів.

В результаті багатоваріантних розрахунків отримана залежність кроку первинного обвалення від швидкості ведення очисних робіт для даних умов:

$$a_{\text{пер}} = \left(30,0 + \left(\frac{mR_c}{\gamma H} \right)^{1,7} \right) \left(1 + \left(\frac{0,02R_c}{\gamma H} + 0,6 \right) \right) \ln \frac{V_{\text{п}}}{V_0}. \quad (8)$$

Подальші дослідження були спрямовані на моделювання вторинних (циклічних) обвалень покрівлі (рис. 8), і також отримана залежність для кроку сталого обвалення покрівлі:

$$a_{\text{уст}} = \left(23,0 + \left(\frac{mR_c}{\gamma H} \right)^{1,1} \right) \left(1 + \left(\frac{0,01R_c}{\gamma H} + 0,25 \right) \right) \ln \frac{V_{\text{п}}}{V_0}. \quad (9)$$

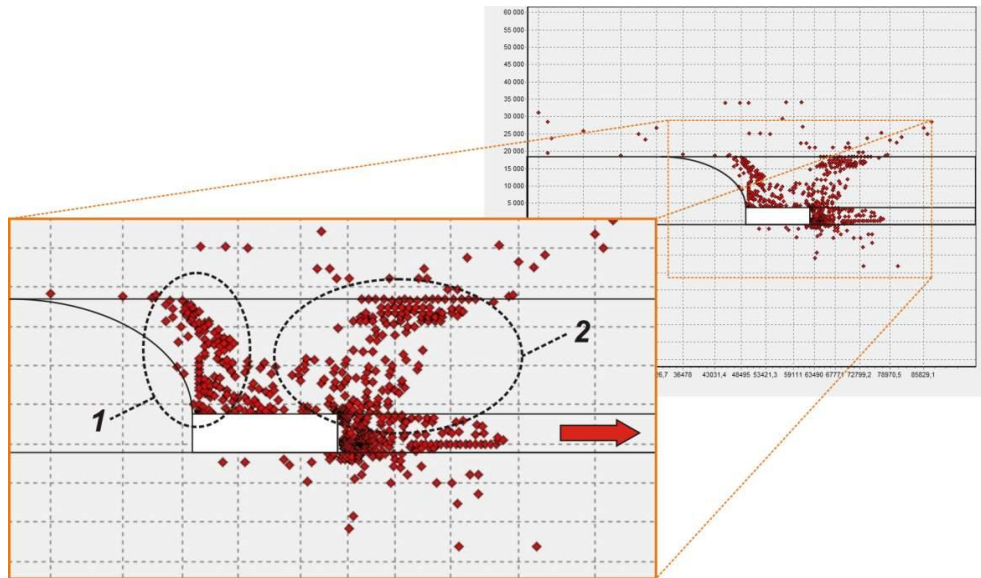


Рис. 8. Утворення зон руйнування над виробленим простором лави при відпрацюванні вугільного пласту

Встановлені залежності дають можливість прогнозувати осідання основної покрівлі і завчасно розробити заходи щодо зниження негативного впливу від динамічного ефекту обвалення.

Для розробки охоронних заходів **в п'ятому розділі** дисертації детально вивчено напружено-деформований стан навколо 6-го східного конвеєрного штреку шахти «Шахтарська-Глибока» в різних перерізах (рис. 9).

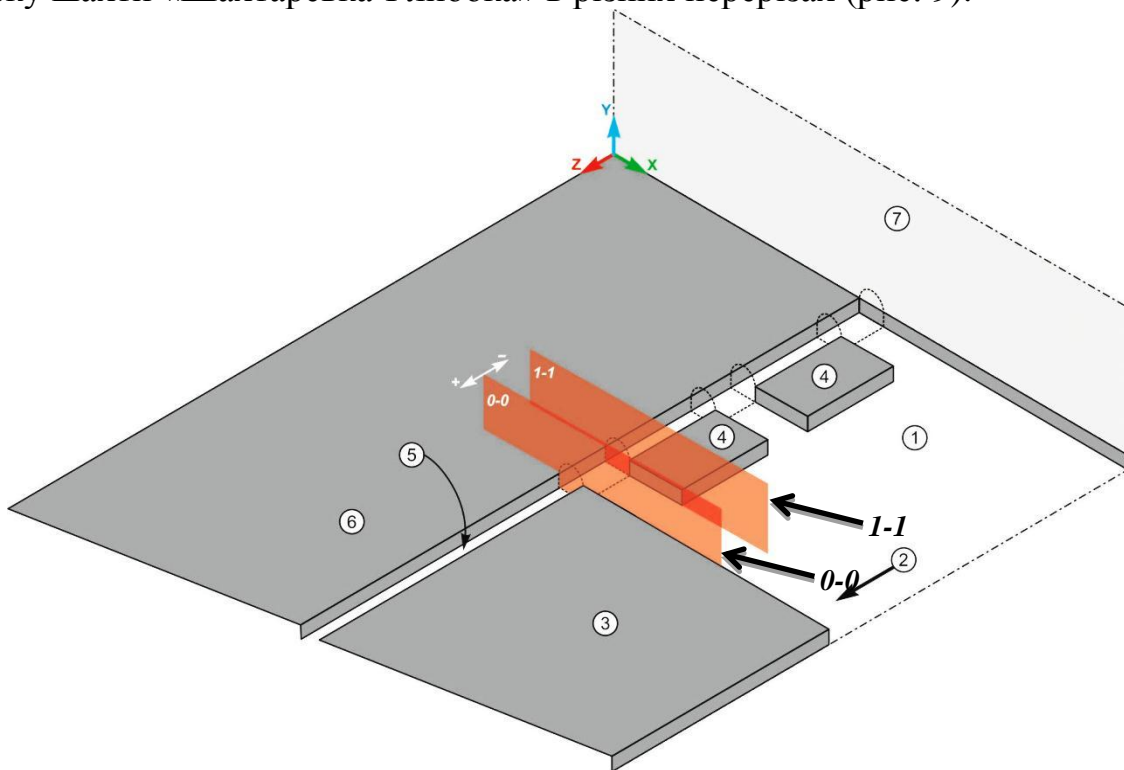


Рис. 9. Схема розташування контрольних перерізів сполучення «лава-штрек»: 1 - вироблений простір; 2 - напрям руху лави; 3 – робоча частина вугільного пласту; 4 – запобіжні цілики; 5 - підготовча виробка; 6 - неробоча частина пласту; 7 - породи покрівлі; «0-0» і «1-1» - контрольні перерізи

Досліджувалися напруження вздовж вісі виробки над бортами штреку (рис. 10). Встановлено несиметричність розподілу вертикальних напружень (рис. 11). Крім того, оцінені зони руйнувань в різних перерізах штреку за різних розмірів консольно-зависаючої покрівлі над виробленим простором лави.

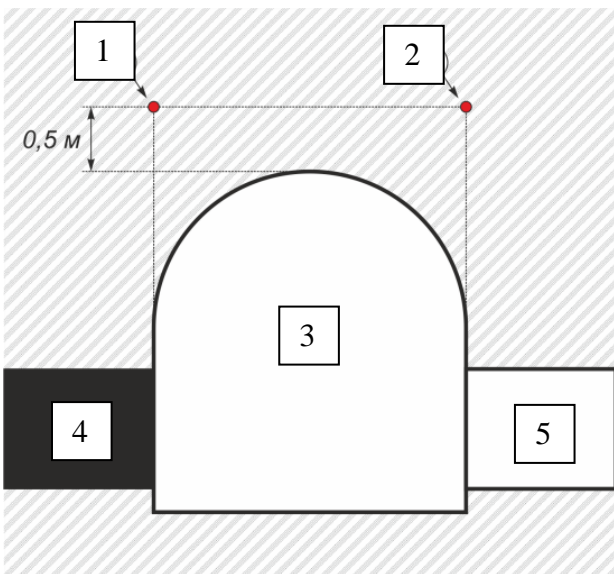


Рис. 10. Розташування ліній контролю вертикальних напружень: 1,2 – точки проходу лінії контролю; 3 – виробка; 4 – неробоча частина пласту; 5 – вироблений простір

Аналіз результатів показав, що можливим способом зниження концентрації напружень може бути зменшення жорсткості приконтурних порід у боках виробки. Таке зниження жорсткості на практиці можна досягти шляхом камуфлетного підривання зарядів в тілі вугільного пласта.

На основі моделювання різних варіантів показано, що для підвищення стійкості штреку доцільно знизити жорсткість запобіжних ціликів і бічних порід на ділянках очікуваного обвалення покрівлі. Ефект розпушування полягає в тому, що концентрація напружень переміщується від контуру виробки вглиб масиву (рис. 12).

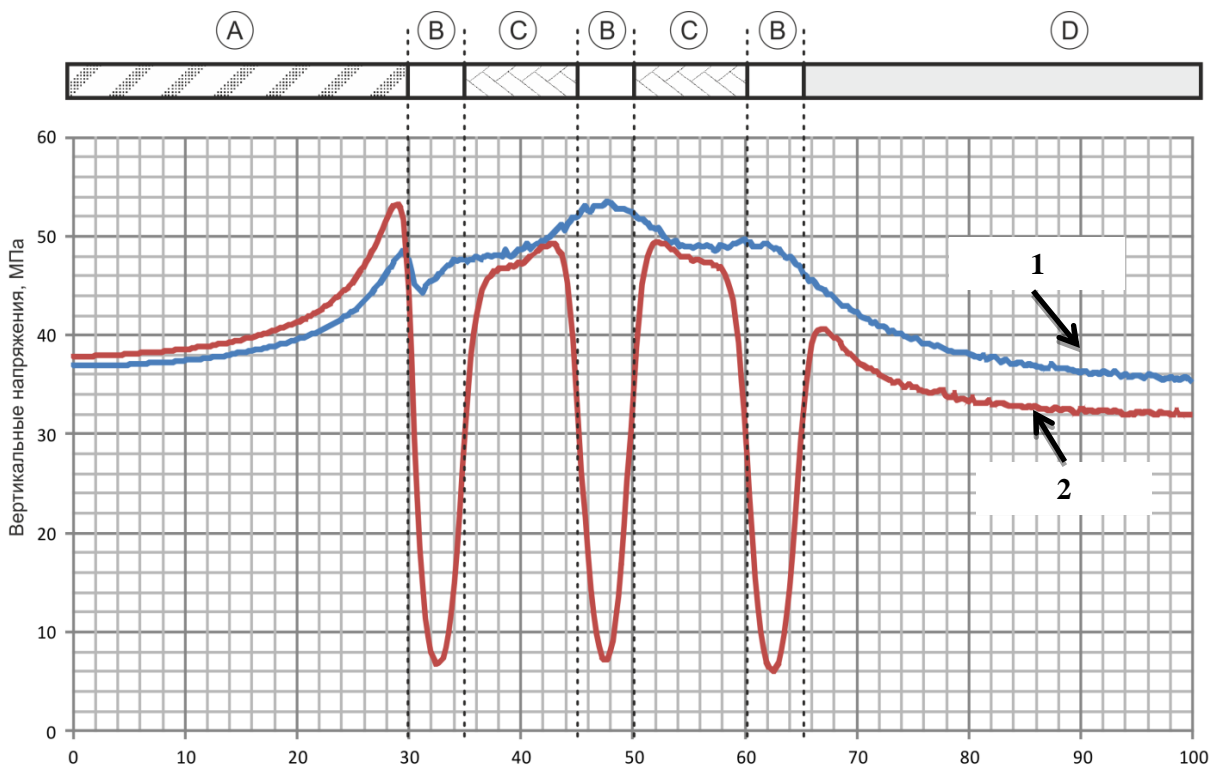


Рис. 11. Вертикальні напруження в покрівлі виробки при розмірі виробленого простору 35 метрів: А – масив поза зоною ведення робіт; В - технологічний прохід; С – запобіжний цілик; D - вугільний пласт, що буде виїнятий.

Лінії 1,2 відповідають точкам проходу ліній контролю 1,2 рис. 9 відповідно

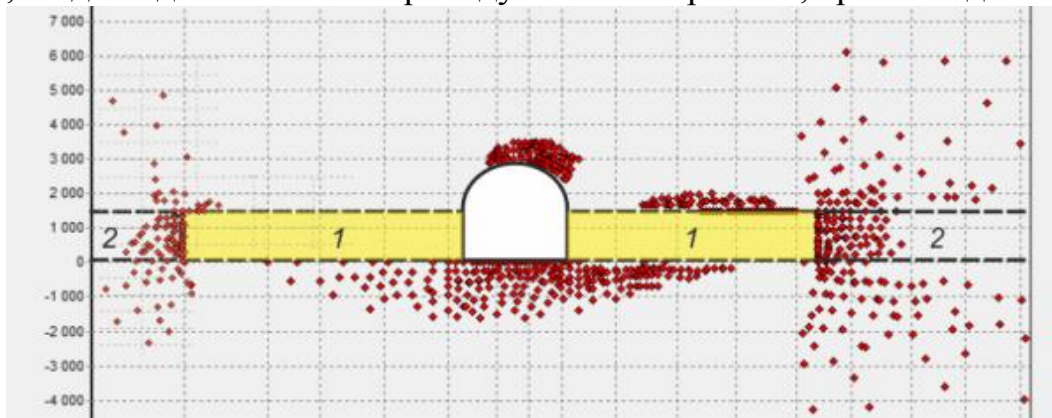


Рис. 12. Зона руйнування навколо підготовчої виробки на відстані 2 метри попереду очисного вибою

Вимірювання конвергенції в шахтних умовах підтвердили доцільність цього рішення. Виконання рекомендацій дозволить запобігти деформаціям кріплення, знизити витрати на переукріплення та ремонт виробок, і за рахунок цього отримати економічний ефект у розмірі 26,1 тис. грн. на 1 км гірничої виробки.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлених нових закономірностей розвитку геомеханічних процесів у високонавантаженому породному масиві з урахуванням швидкості оголення порід вирішена актуальна завдання підвищення стійкості підготовчих виробок за рахунок зниження негативного впливу гірського тиску при високих темпах відпрацювання вугільних пластів, що має велике значення для вугільних шахт в умовах необхідної інтенсифікації очисних робіт.

Основні наукові і практичні результати роботи:

1. Критичний розмір виробленого простору, при якому відбуваються первинні і періодичні обвалення порід покрівлі очисної виробки (крок обвалення), визначається комплексом чинників, що характеризують гірничо-геологічні і гірничо-технічні умови відпрацювання, у тому числі і швидкістю ведення очисних робіт. Найбільший вплив швидкості руху лави на крок обвалення основної покрівлі в умовах проаналізованої групи шахт має місце для діапазону глибин відпрацювання 500-900 м.

2. При оголенні порід в процесі очисної виїмки і перерозподілі напружень в породному масиві елементарний об'єм породного середовища навколо оголення перебуває під впливом навантаження, швидкість якого порівнянна із швидкістю навантаження зразків в лабораторних умовах. Залежність міцності породи від швидкості навантаження має вигляд логарифмічної залежності та дає можливість коригувати значення міцності, що отримане лабораторним шляхом, відповідно реальним умовам видобутку вугілля.

3. На основі статистичної і кінематичної теорії міцності надано подальший розвиток критерію міцності гірських порід з урахуванням швидкості навантаження і структурної неоднорідності порід та визначені закономірності роз-

витку зон руйнування порід в покрівлі очисних виробок, що спричиняють первинну і подальші циклічні посадки основної покрівлі.

4. На основі виконання багатоваріантних розрахунків отримані залежності кроку обвалення основної покрівлі залежно від глибини розробки, міцності вміщуючих порід, потужності пласта і швидкості його відпрацювання.

5. Встановлено, що зниження жорсткості ціликів (за рахунок їх розпушування) в потенційних зонах обвалення покрівлі лави дозволяє знизити напруження поблизу підготовчої виробки до 3-4 разів та запропоновано спосіб підвищення стійкості підготовчих виробок за рахунок зниження переміщення концентрації напружень від штреку углиб масиву. Очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованих заходів складає 26,1 тис. грн на 1000 п.м.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Иванов А.С. Методика прогноза смещений протяженной горной выработки на основе математического моделирования статистического разброса свойств вмещающих пород / Сдвижкова Е.А., Бабец Д.В., Иванов А.С. // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. Вип. 16.– Кривий Ріг: 2007. – С. 38-42.

2. Иванов А.С. Влияние скорости подвигания очистного забоя на геомеханические процессы в лавах угольных шахт Донбасса. / Зюков Ю.Е., Хозяйкина Н.В., Иванов А.С. // Науковий вісник НГУ. Випуск №11.– Д.: Національний гірничий університет, 2008. – С. 28-33.

3. Иванов О.С. Аналіз факторів впливу на крок обвалення покрівлі лави в умовах високого ступеню метаморфізму порід / Иванов О.С. // Наукові праці Донецького національного технічного університету: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Серія «Гірничо-геологічна». Вип. 10 (151).– Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2009. – С. 148-151.

4. Иванов А. Моделирование влияния скорости горных работ на прочность пород и устойчивость выработок. / Иванов А., Сдвижкова Е., Шашенко А. // *Górnictwo i Geożynieria*. Kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej. Rok 34. Zeszyt 2. – AGH. Kraków, 2010. – P. 307-314.

5. Иванов А.С. Компьютерное моделирование предельного напряженного состояния угольного пласта при отработке лав / А.Е. Григорьев, А.С. Иванов // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Вып. 10: Материалы междунар. научн.-технич. конф. 13-15 апр. 2004 г.: тезисы докл. – Донецк: «Норд-Пресс», 2004. – С.50-51.

6. Иванов О.С. Обґрунтування параметрів комплексного способу підвищення стійкості підготовчих виробок у зоні впливу очисних робіт / Терещук Р.М., Ащеулова О.М., Иванов О.С. // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Вып. 11: Материалы междунар. научн.-технич. конф. 11-13 апр. 2005 г.: тезисы докл. – Донецк: «Норд-пресс», 2005. – С. 47-48.

7. Иванов А.С. Анализ факторов, влияющих на обрушение кровли угольного пласта в выработанное пространство / Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Ива-

нов А.С. // Форум гірників - 2006: Матеріали міжнародної конференції. 11-13 жовтня 2006 р. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – С. 144-150.

8. Иванов О.С. Шахтні дослідження способу охорони та підтримання підготовчих виробок у зоні впливу очисних робіт / Терещук Р.М., Терещук О.М., Иванов О.С. // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: Вып. 13: Материалы междунар. научн.-технич. конф. 18-20 апреля 2007 г.: тезисы докл. – Донецк: «Норд-Пресс», 2007. – С. 61-62.

9. Иванов А.С. К вопросу о влиянии скорости приложения нагрузки на геомеханические процессы в породном массиве / Иванов А.С., Сдвижкова Е.А., Рубец Г.Т. // Форум гірників – 2007: Матеріали міжнародної конференції. 13-15 жовтня 2007 р. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – С. 45-50.

10. Иванов А.С. Анализ влияния скорости развития очистных работ на геомеханические процессы в лавах для различных регионов Донбасса / Иванов А.С., Новицкий К.О. // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: Вып. 14: Материалы междунар. научн.-технич. конф. 20-23 апреля 2007 г.: тезисы докл. – Донецк: «Норд-Пресс», 2008. – С. 100-102.

11. Ivanov O. Probabilistic approach to estimation of the rocks stability in affected area of coal-face works. / Shashenko O., Sdvizhkova O., Babets D., Ivanov O. // microCAD 2008: International Scientific Conference. 20-21 march 2008. – Miskolc. Hungary, 2008. – P. 57-62.

12. Иванов А.С. Учет изменения скорости подвигания очистного забоя при определении технологических параметров отработки лав. / Иванов А.С. // Проблемы недропользования: Материалы международного форума-конкурса молодых ученых. 22-24 апреля 2009 г. – Санкт-Петербург: СПбГУ им. Г.В. Плеханова (технический университет), 2009. – С. 57-58.

13. Иванов А.С. Численное моделирование влияния скорости обнажения горных пород на механические процессы вблизи сопряжения очистной и подготовительной выработки. / Иванов А.С., Сдвижкова Е.А., Бабец Д.В. // Форум гірників – 2009: Матеріали міжнародної конференції. 30 вересня – 2 жовтня 2009 р. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. – С. 37-44.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих в співавторстві:

[2, 7, 8, 10] – аналіз чинників впливу на стійкість підготовчих виробок на основі статистичних даних; [1, 5] – виконання чисельного моделювання, обробка і аналіз результатів; [4, 13] – постановка задачі, обґрунтування алгоритму чисельного моделювання; [9, 11] – розробка імовірнісної моделі втрати стійкості підготовчої виробки; [6, 9] – аналітичні дослідження критерію стійкості виробки; [3] – натурні дослідження стійкості протяжних виробок.

АНОТАЦІЯ

Іванов О.С. Закономірності зміни стійкості підготовчих виробок вугільних шахт з урахуванням швидкості посування вибою лави. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.15.09 – “Геотехнічна і гірнична механіка”. Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Дніпропетровськ, 2011.

У дисертації обґрунтовані параметри забезпечення стійкості підготовчих виробок в умовах інтенсивного відпрацювання вугільного пласту. Оброблено значний обсяг статистичного матеріалу щодо впливу низки гірничо-геологічних і гірничотехнічних параметрів на первинне та подальше циклічне обвалення порід в умовах високонавантажених вибоїв.

Встановлено закономірності зміни напруженого стану порід та розвитку зон руйнування навколо сполучення очисної та підготовчої виробки на основі розробленого критерію міцності з урахуванням темпів відпрацювання пласта в умовах шахти “Шахтарська-Глибока” ДП «Шахтарськантрацит». Отримано залежність кроку обвалення порід основної покрівлі від швидкості посування вибою лави. Запропоновано спосіб підвищення стійкості підготовчих виробок при збільшенні темпів відпрацювання вугільного пласту h_8 . Передбачуваний (розрахунковий) економічний ефект від реалізації запропонованого способу підвищення стійкості виробок складе 26,1 тис. грн. на 1000 п.м. виробки.

Результати досліджень опубліковано в 13 наукових працях.

Ключові слова: напружено-деформований стан, швидкість посування очисного вибою, статистична теорія міцності, обвалення порід покрівлі.

АННОТАЦІЯ

Иванов А. С. Закономерности изменения устойчивости подготовительных выработок угольных шахт с учетом скорости подвигания забоя лавы. - Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 - «Геотехническая и горная механика». Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины, Днепропетровск, 2011.

В диссертации обоснованы параметры обеспечения устойчивости подготовительных выработок в условиях интенсивной отработки угольного пласта в зоне влияния очистных работ. Обработан значительный объем статистического материала относительно влияния ряда горно-геологических и горнотехнических параметров на первичное и дальнейшее циклическое обрушение пород в условиях высоконагруженных забоев. Методом группового учета аргументов установлено, что при первичном обрушении кровли значимыми факторами являются глубина разработки, угол наклона и мощность пласта, мощность основной кровли и расстояние между трещинами. Скорость подвигания забоя также является влияющим фактором, нелинейно входящим в структуру модели. Наибольшее влияние скорости движения лавы на шаг обрушения основной кровли в условиях проанализированной группы шахт имеет место для диапазона глубин отработки 500-900 м.

На основе классической схемы сводообразования и трактовки условия обрушения пород с точки зрения кинетической теории прочности показано влияние времени развития процесса разрушения в породном массиве, а следовательно, и скорости обнажения, на критический размер выработанного пространства.

Обобщение известных данных о лабораторных испытаниях образцов горных пород в условиях одноосного сжатия при различных скоростях нагружения, а также данные лабораторных испытаний, выполненных автором, позволили констатировать увеличение прочности породных образцов при увеличении скорости нагружения в соответствии с логарифмической зависимостью. Установлено, что при обнажении пород в процессе очистной выемки и перераспределении напряжений в породном массиве элементарный объем породной среды в окрестности обнажения находится под воздействием нагрузки, скорость приложения которой сопоставима со скоростью нагружения образцов в лабораторных условиях, что дает возможность корректировать предельное значение прочности, полученное лабораторным путем, в соответствии с реальными условиями добычи угля и охраны выработок.

На основе статистической и кинематической теорий прочности дано развитие феноменологическому критерию прочности горных пород с учетом скорости приложения нагрузки и структурной неоднородности пород. Методом конечных элементов определено напряженно-деформированное состояние породного массива в окрестности сопряжения очистной и подготовительной выработок. Разработана методика моделирования квазистатического процесса подвигания очистного забоя путем последовательного изменения граничных условий в расчетной схеме исследуемой области. На основе разработанного критерия прочности с учетом скорости подвигания очистного забоя определены закономерности развития зон разрушения пород в кровле очистных выработок, провоцирующих первичную и последующие посадки основной кровли.

Путем выполнения многовариантных расчетов получены зависимости шага первичного и установившегося обрушения основной кровли в зависимости от глубины разработки, прочности вмещающих пород, мощности вынимаемого пласта и скорости его отработки.

Установлены закономерности распределения напряжений в приконтурной области подготовительной выработки в зоне влияния очистных работ при различной скорости отработки угольного пласта. Дана количественная оценка неравномерности распределения нормальных напряжений в различных сечениях штрека в зависимости от его расположения по отношению к выработанному пространству. Показано, что снижение жесткости целиков (за счет их разрушения) в потенциальных зонах обрушения кровли лавы позволяет снизить действующие на контур подготовительной выработки напряжения и исключить появление их аномальных значений вблизи выработки.

Установленные закономерности и полученные на их основе технические решения положены в основу рекомендаций относительно мероприятий для повышения устойчивости подготовительных выработок при увеличении темпов отработки угольного пласта h_8 . Расчетный экономический эффект от реализации предложенного способа повышения устойчивости выработок составил 26,1 тыс. грн. на 1000 п.м. выработки.

Результаты исследований опубликованы в 13 научных трудах.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, скорость подвигания очистного забоя, статистическая теория прочности, обрушение пород кровли.

THE ABSTRACT

Ivanov O.S. The substantiation of working stability change in coal mines with considering the longwall moving rate. Manuscript.

The thesis for the scientific degree of technical science candidate on speciality 05.15.09 - «The Geotechnical and Mining Mechanics». The State Higher Educational Institution « National Mining University» of Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine, Dnipropetrovsk, 2011.

The working stability parameters in terms of intensive coal outworking are substantiated for an extraction zone influence. The considerable volume of statistical data is processed concerning influence of geological and geotechnical parameters on a fundamental and cyclic rock fall in conditions of highly loaded longwall.

The laws of stress state change in rock mass are determined, and the failure zones around intersected openings are defined with usage of developed failure criterion taking into consideration the rates of mining. The function connecting the period of a roof fall and rate of longwall advance is obtained. The activities providing the stability of workings in terms of coal seam h8 mining are proposed. The realization of means directed to increasing the stability of development workings provides the economic benefit of 26100 hrivnas per 1000 meters of working.

Research results are published in 13 proceedings.

Keywords: stress strain state, rate of advance, statistical strength theory, roof fall.

ІВАНОВ Олексій Сергійович

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ СТІЙКОСТІ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК
ВУГІЛЬНИХ ШАХТ З УРАХУВАННЯМ ШВИДКОСТІ ПОСУВАННЯ
ВИБОЮ ЛАВИ**

(Автореферат)

Підписано до друку 27.09.2011. Формат 60x90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 прим. Зам. №

Держаний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.