

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МАЛИХІН Олександр Володимирович



УДК 622.023.42:622.281.74

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КРІПИЛЬНОЇ СИСТЕМИ
ВИРОБОК, ЩО ПОВТОРНО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ,
ПРИ РОЗРОБЦІ ВУГЛЬНИХ ПЛАСТІВ**

05.15.02 – підземна розробка родовищ
корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор, завідувачий кафедрою підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ)

**БОНДАРЕНКО
Володимир
Ілліч**

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ)

**КРУКОВСЬКИЙ
Олександр
Петрович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, вчений секретар Інституту фізики гірничих процесів НАН України (м. Дніпропетровськ)

**КАЛУГІНА
Надія
Олександрівна**

Захист відбудеться «22» січня 2016 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 із захисту дисертацій при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел. (0562) 47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий «17» грудня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03
кандидат технічних наук



М.В. Петльований

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Довгострокова стратегія розвитку вугільної промисловості України й Західного Донбасу в тому числі, націлює на широкомасштабне застосування високопродуктивного очисного обладнання, ефективність роботи якого передбачає надійність функціонування виїмкових виробок. З іншого боку, високі темпи відпрацьовування виїмкових ділянок вимагають своєчасного їх відтворення, що є технічно розв'язуваною проблемою шляхом скорочення обсягів проведення дільничних виробок у 1,7 – 1,8 рази при повторному їх використанні, і цей шлях є найбільш перспективним, а завдання ефективного підтримання таких виробок у зоні впливу очисних робіт – надзвичайно актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до «Стратегії розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2030 року (Вугільна промисловість), Програми «Українське вугілля», затвердженої постановою Кабінету міністрів України (№ 1205 від 19 вересня 2001 р.), і планів держбюджетних робіт Державного ВНЗ «Національний гірничий університет»: тема ГП-440 «Фізико-технічні основи енергозберігаючої технології підземної розробки тонких і вельми тонких вугільних пластів» (№ держреєстрації 0111U002810), тема ГП-450 «Наукові основи деформування просторово-неоднорідної системи «масив – кріплення» з урахуванням контролю умов праці в шахтах за пиловим фактором» (№ держреєстрації 0112U000869), тема ГП-469 «Розробка засад синтезу інформаційних і геомеханічних систем керування процесами підземних гірничих робіт» (№ держреєстрації 0114U006105).

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є забезпечення умов повторного використання виїмкових виробок керуванням деформаційно-силовими параметрами кріпильної системи відповідно до закономірностей прояву гірського тиску за лавою.

Мета роботи реалізована вирішенням наступних **основних завдань**:

– узагальнити схеми розвитку процесу зрушення надвугільної товщі й механізм навантаження кріпильної системи повторно використовуваних виїмкових виробок, виконати аналіз їх підтримання;

– обґрунтувати основні положення методики обчислювального експерименту й провести дослідження напружено-деформованого стану (НДС) методом скінченних елементів (МСЕ) системи «масив – виїмкова виробка» за очисним вибоєм;

– установити закономірності формування за лавою зони граничної рівноваги породного масиву навколо виїмкових виробок;

– установити закономірності впливу геомеханічних факторів на НДС вантажонесучих елементів кріпильної системи;

– розробити методику розрахунку параметрів кріпильної системи та оцінити економічну ефективність запропонованих рішень.

Ідея роботи – адаптація деформаційно-силової епюри рамного кріплення виїмкових виробок до характеру проявів гірського тиску в зоні його стабілізації за лавою за рахунок регулювання параметрами анкерів відповідно до встановлених закономірностей досягнення максимального опору всіх вантажонесучих елементів кріпильної системи.

Об'єкт дослідження – геомеханічна система, що містить шаруватий масив слабких порід у зоні стабілізації проявів гірського тиску за лавою й кріпильну сис-

тему в складі рами, анкерів, центральних і бокових стояків кріплення посилення.

Предмет дослідження – закономірності силової взаємодії елементів геомеханічної системи та процеси регулювання НДС елементів кріплення.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених завдань використано: аналіз і узагальнення практичного досвіду й теоретичних досліджень підвищення стійкості повторно використовуваних виїмкових виробок, методів розрахунків параметрів кріпильної системи; моделювання стану системи «масив – виробка» МСЕ; фундаментальні положення механіки гірських порід і будівельної механіки; кореляційно-дисперсійний аналіз багатофакторних обчислювальних експериментів, тестування результатів розрахунків.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій обумовлена: аналізом результатів досвіду підтримання дільничних виробок, великих досліджень будови й властивостей вуглевміщуючих порід, механізму їх деформування за очисним вибоєм; коректною постановкою і рішенням задач із застосуванням МСЕ і кореляційно-дисперсійного аналізу, порівняння аналізу з розрахунками за нормативними документами й результатами шахтних випробувань кріпильних систем дільничних виробок, а також використання положень механіки гірських порід і будівельної механіки.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Ширина знеміцнення порід по висоті верхньої підривки в боці робочого борту виробки b_l^K перебуває у комбінованій залежності від степеневі функції ширини охоронної смуги l_{ox} й експоненціальної від глибини розробки H та обернено пропорційній від добутку степеневих закономірностей середньої розрахункової величини опору стисненню прилеглих шарів порід R і безпосередньої покрівлі R_1^K вугільного пласта $b_l^K = \frac{4,1l_{ox}^{0,73}}{R^{0,1}(R_1^K)^{0,21}} [1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H)]$. Урахування

цих закономірностей дозволяє оптимізувати конструктивно-силові параметри всіх вантажонесучих елементів кріпильної системи в напрямі підвищення стійкості повторно використовуваних виїмкових виробок.

2. Гранична величина розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі вугільного пласта $(R_1^K)_{zp}$, необхідна для вибору технології зміцнення боків виїмкових виробок, перебуває в багатофункціональній степеневій залежності від ширини охоронної смуги й середнього розрахункового опору стисненню прилеглих порід, а також комбінації степеневі й експоненціальної закономірностей від глибини розробки:

$(R_1^K)_{zp} = 10,5 \frac{l_{ox}^{3,48}}{R^{0,48}} \cdot [1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H)]^{4,76}$. Це дозво-

лить обґрунтовано вибрати технологічно прийнятний тип бокових анкерів (сталеполімерних або канатних).

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Уперше обґрунтована багатопараметрична просторова модель процесів зрушення надвугільної товщі на сполученні лави з виїмковою виробкою, що містить: ділянку поперед очисного вибою, ділянку виробленого простору за лавою із зонами безладного обвалення, шарнірно-блокового зрушення і плавного прогину шарів без порушення суцільності й ділянку недоторканого масиву з боку суміж-

ного стовпа, а також враховує структуру й властивості прилеглих породних шарів вуглевміщуючої товщі.

2. Розкрито механізм навантаження кріпильної системи в зоні стабілізації проявів гірського тиску позаду лави й виявлено закономірності формування навколо виробки зони граничного стану порід з різновеликими за шириною і висотою ділянками їх знеміцнення у боках обох бортів виробки.

3. Розроблено алгоритм поетапного проведення багатопараметричного обчислювального експерименту МСЕ з розрахунку НДС: неоднорідного масиву слабких порід з урахуванням його структури, властивостей, глибини розробки й елементів кріпильної системи за повною діаграмою деформування їх матеріалу.

4. Встановлено закономірності зв'язку розмірів областей знеміцнених порід у боках виробки з геомеханічними параметрами її підтримання, які є базою для прогнозування форми склепіноутворення.

Наукове значення роботи полягає у виявленні закономірностей формування в приконтурних породах на ділянці стабілізації проявів гірського тиску за лавою зони нестійких порід, що навантажують кріплення виробки; в установленні закономірностей впливу основних геомеханічних факторів масиву на НДС вантажонесучих елементів кріпильної системи й керування цим процесом за допомогою оптимізації параметрів анкерного кріплення.

Практичне значення роботи полягає у наступному:

– удосконалено метод розрахунків зони граничної рівноваги порід навколо виїмкової виробки на основі виявлених закономірностей знеміцнення безпосередньої підошви й покрівлі в її боках у зоні стабілізації проявів гірського тиску за лавою й урахуванням положень СОУ 10.1.00185790.011:2007;

– розроблено методику розрахунків параметрів кріпильної системи повторно використовуваних дільничних виробок шахт Західного Донбасу.

Реалізація результатів роботи. Основні положення і результати роботи використані в наступній галузевій нормативній і технічній документації: «Технологічний регламент кріплення й охорони виїмкових виробок на пологих пластах Донбасу» (затверджений Міненерговугілля України, 2012), «Методика розрахунків кріпильної системи повторно використовуваних дільничних виробок шахт Західного Донбасу» (затверджена ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» і Державним ВНЗ «НГУ», 2015), проектах кріплення гірничих виробок на шахтах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», 2011 – 2015).

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі досвіду підтримання повторно використовуваних дільничних виробок, методів їх розрахунків, існуючих досліджень механізму зрушення надвугільної товщі порід; у формулюванні мети й завдань досліджень, ідеї роботи, наукових положень, рекомендацій і висновків; в обґрунтуванні параметрів комп'ютерних моделей, аналізі результатів обчислювальних експериментів і розробці методики розрахунків параметрів елементів кріпильної системи дільничних виробок.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертації доповідалися й обговорювалися на міжнародних науково-практичних конференціях «Школа підземної розробки» (Дніпропетровськ – Ялта, 2013; Бердянськ, 2014, 2015), XXIII міжнародній конференції «Школа експлуатації підземної» (Краків,

Польша, 2014); технічних радах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (2011 – 2014) і наукових семінарах ДВНЗ «Національний гірничий університет» (2011 – 2015).

Публікації. Основні наукові положення виконаних досліджень викладені у 13 наукових працях, з яких 3 – у колективних монографіях, 6 – у фахових наукових виданнях України, 2 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Scopus, 1 – у збірнику міжнародної конференції, 2 – в інших виданнях та технологічному регламенті.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків і переліку використаних джерел із 72 найменувань на 8 сторінках; містить 129 сторінок машинописного тексту, 39 рисунків на 11 сторінках, 2 таблиці та додатки на 14 сторінках; загальний обсяг роботи 154 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вирішенням завдань підвищення стійкості виїмкових виробок протягом усього періоду освоєння й розвитку вугленосного регіону Західного Донбасу займалися багато фахівців гірничої справи України: Бондаренко В.І., Бузило В.І., Булат А.Ф., Ковалевська І.А., Касьян М.М., Калініченко В.О., Кириченко В.Я., Кузьменко О.М., Курносів С.А., Круковський О.П., Калугіна Н.О., Симанович Г.А., Усаченко Б.М., Халимендик Ю.М., Ширін Л.Н., Шмиголь А.В. та ін.

Незважаючи на попередній досвід питання забезпечення умов повторного використання виїмкових виробок керуванням деформаційно-силовими параметрами кріпильної системи відповідно до закономірностей прояву гірського тиску за лавою залишається актуальним.

Для реалізації завдань досліджень обґрунтовано поділ методики виконання обчислювального експерименту на два взаємозалежні етапи: дослідження НДС макромоделей і підлеглих моделей. На першому етапі аналізувалася макромодель у просторовій постановці з розмірами кожної грані куба не менше 60 м. У даному обсязі гірського масиву змодельовані: кінцева ділянка лави; ділянка виїмкової виробки, що містить сполучення з очисним вибоєм; ділянка поперед вибою лави (зона опорного тиску); ділянка виробленого простору позаду лави із зонами безладного обвалення, шарнірно-блокового зрушення і плавного прогину шарів без порушення суцільності; ділянка недоторканого масиву з боку суміжного виїмкового стовпа при повторному використанні виїмкової виробки. В макромоделі реалізовано – урахування реології, повна діаграма деформування і реальні механічні характеристики шаруватого масиву, а також уведено спрощення: кріплення очисного вибою представлене тілом у вигляді паралелепіпеда відповідних розмірів з деформаційними характеристиками, що дозволяють відтворити реальну величину опору секцій кріплення, а виїмкова виробка моделюється реальною геометрією, але без установаження кріпильної й охоронної систем. При таких спрощеннях удалося добитися стабільності проведення обчислювальних експериментів і здійснити розрахунок НДС макромоделі методом скінчених елементів із застосуванням програми ANSYS. На другому етапі досліджувався НДС приконтурного масиву й кріплення виїмкової виробки в підлеглий моделі. Підлегли моделі досліджувалися для характерних ділянок різного рівня проявів гірського тиску за довжиною виїмкової виробки, для кожного з яких обґрунтовувалася, будувалася й оброблялася своя геомеханічна модель. Кріплення штреку є комбінованим, яке

складається з рам КШПУ-11,7 з СВП-22(27) із кроком установлення 0,8 м і опорно-анкерного кріплення, а також зводилися центральні й бокові стояки кріплення посилення. Після проходження лави зводилася охоронна система. Початковий стан гірського масиву прийнятий негідростатичним з коефіцієнтом бокового розпору $\lambda = 0,43$ (коефіцієнт Пуассона прийнято $\mu = 0,3$). Початковий вертикальний гірський тиск прийнято $\sigma_y = \gamma H$. Позаду лави вертикальний гірський тиск визначався за епюрами σ_y макромоделі. Досліджувалася ділянка зони стабілізації проявів гірського тиску, який за шахтними дослідженнями наступає позаду лави на відстані від 40 – 60 м до 100 – 120 м. Ця відстань перебуває приблизно в межах місячного посування очисного вибою. Аналізу НДС піддана вертикальна компонента напружень σ_y , дослідження якої розділено на дві складові – вміщуючий виробку гірський масив і кріпильна система виробки після проходження лави. Врахування різноманіття структури й властивостей вуглевміщуючого масиву виконано на основі компромісу між достатньою вірогідністю відображення гірничо-геологічних умов підтримання виїмкової виробки й мінімально допустимою кількістю розрахункових варіантів з метою обмеження тимчасових рамок проведення досліджень. На основі існуючих розробок ІГТМ ім. М.С. Полякова та НГУ про розподіл імовірності появи різних структур за потужністю $m_i^{K,II}$ породних шарів і літотипів у прилеглому вуглевміщуючому масиві (на висоту в покрівлю до 12 – 15 м і глибину в підосшву до 6 – 8 м) виділено 4 найбільш всеосяжних варіанти структури (табл. 1) і 3 варіанти розподілу літотипів (табл. 2).

Таблиця 1 – Найбільш імовірні варіанти розподілу потужності породних шарів покрівлі й підосшви вугільного пласта

№ варіанта	Покрівля, м				Підосшва, м		
	m_1^K	m_2^K	m_3^K	m_4^K	m_1^{II}	m_2^{II}	m_3^{II}
1	1	1	8	2	1	1	4
2	1	2	4	6	1,5	4	2
3	2	4	4	2	2	1,5	3
4	4	8	1	2	3	4	1

Таблиця 2 – Найбільш імовірні варіанти розподілу літологічних різниць у покрівлі й підосшві вугільного пласта

№ варіанта	Покрівля				Підосшва		
	m_1^K	m_2^K	m_3^K	m_4^K	m_1^{II}	m_2^{II}	m_3^{II}
I	Аргіліт	Алевроліт	Піщаник	Алевроліт	Аргіліт	Алевроліт	Піщаник
II	Алевроліт	Аргіліт	Алевроліт	Піщаник	Алевроліт	Піщаник	Аргіліт
III	Аргіліт	Алевроліт	Аргіліт	Алевроліт	Аргіліт	Алевроліт	Аргіліт

Аналіз НДС макромоделі виявив, що концентрація σ_y у зоні опорного тиску перед лави $\sigma_y = (2,6 - 3,1)\gamma H$ поширюється на висоту до 9,5 м і в підосшву на глибину до 11,6 м; величина $\sigma_y = (4,1 - 4,6)\gamma H$ діє у покрівлі на висоту до 2,7 м і в підосшву на глибину до 3,2 м; крім цього, присутні локальні (до 0,5 – 0,6 м) концен-

трації $\sigma_y = (5,3 - 6,3)\gamma H$, а також розтягальні $\sigma_y = 0,5 - 1$ МПа поширюються на висоту в покрівлю 9,7 – 16,8 м і глибину в підшову 12,2 – 21,5 м і провокують розшарування й опускання порід покрівлі й підняття порід підшови позаду очисного вибою і у виїмковій виробці. Більш того, у безпосередній покрівлі й близьких породних шарах основної покрівлі розтягальні σ_y розвиваються до 10 – 15 МПа й багаторазово перевищують опір розтяганню порід будь-якої літологічної різниці в Західному Донбасі. Отже, у покрівлі відбувається не тільки розшарування породних шарів, але і їх руйнування (від розтягання) на висоту до 6 – 7 м, що є одним із факторів формування навантаження на механізоване кріплення очисного вибою, кріпильну й охоронну системи виїмкової виробки. У підшові таких значень розтягальних σ_y не спостерігається. Якщо концентрація стискних σ_y у боках виробки приходить до свого вихідного стану γH вже на відстані по горизонталі 4,5 – 6 м, то в покрівлі й підшові рівень $\sigma_y = (1,0 - 1,5)\gamma H$ по висоті/глибині спостерігається на відстані 18 – 25 м. Більш високий рівень концентрації $\sigma_y = (2,6 - 3,1)\gamma H$ поширюється у покрівлю на висоту до 13,0 м і в підшову на глибину до 7,6 м. Більш вагому небезпеку для стійкості боків виїмкової виробки з боку суміжної виїмкової ділянки представляє концентрація $\sigma_y = (4,1 - 4,6)\gamma H$, що досягає висоти в покрівлі шару 3,0 м і глибиною 1,4 м у його підшові. На контурі виробки (шириною 0,2 – 0,3 м) і по висоті її прямолінійної частини розвиваються напруження $\sigma_y = 50 - 70$ МПа є руйнівними.

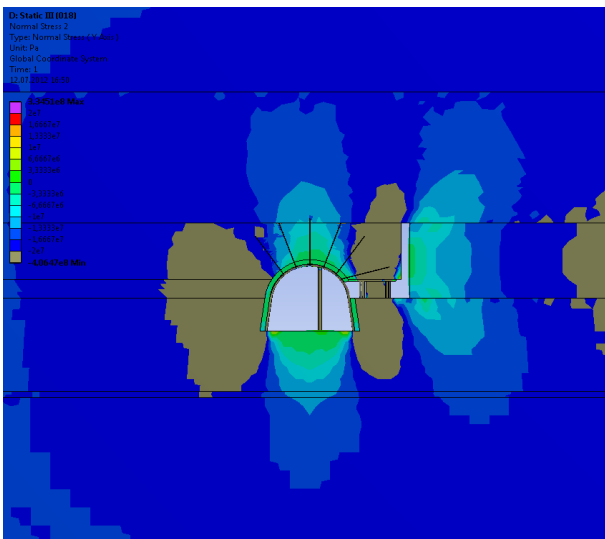


Рисунок 1 – Епюра вертикальних напружень σ_y на ділянці стабілізації гірського тиску

симальних значень в 50 – 70 МПа. Така величина σ_y є руйнівною як для вугільного пласта, так і для порід безпосередньої підшови. Тому прогнозується знеміцнення бокових приконтурних порід по всій висоті підризки підшови на відстань у масиві до 1,5 – 1,7 м, що формує підвищене бокове навантаження на стояки рами. З боку робочого борту утворюється в покрівлі й підшові більш обмежена зона опорного тиску, але з підвищеною інтенсивністю зміни концентрацій стискних

Поля розподілу σ_y підлеглих моделей приконтурного масиву проаналізовані для двох положень перерізу виїмкової виробки: початок ($t = 2$ доби) наростання опору охоронної системи й зона стабілізації проявів гірського тиску (рис. 1), що утворюється через $t = 1$ міс. після проходження лави.

У безпосередній покрівлі склепіння розшарування приконтурних порід від розтягальних σ_y досить обмежений по висоті до 1,1 м, а в підшові – до 1,2 – 1,6 м. З боків виробки утворюються різновеликі зони опорного тиску: з боку неробочого борту стискні σ_y поширюються на відстань до 5,8 – 7,2 м зі збільшенням до мак-

σ_y : по ширині 2,0 – 2,6 м, а основне її поширення відбувається у покрівлю до 5,0 – 5,4 м і в підшову до 4,3 – 4,6 м. У той же час області високих концентрацій $\sigma_y = 50 – 70$ МПа тут суттєво більші, а в деяких обмежених областях стискні σ_y перевищують 100 МПа. На ділянці стабілізації проявів гірського тиску у безпосередній покрівлі над виробкою область дії розтягальних σ_y по висоті скорочується на 25 – 30%, а в безпосередній підшві глибина поширення зменшується на 20 – 25%, що пояснюється повзучістю деформацій приконтурних порід. Зони опорного тиску з боків виробки перетворюються в основному в плані розширення областей дії підвищених концентрацій $\sigma_y \geq 30$ МПа, а максимальні значення σ_y зростають усього на 7 – 9%. Така закономірність пояснюється дією двох протилежних тенденцій. З одного боку, завдяки релаксації напружень відбувається згладжування їх концентрацій з розширенням областей поширення. З іншого боку, завдяки повзучості деформацій зростають об'єми порід покрівлі вугільного пласта, що залучаються до формування навантаження на кріпильну систему виїмкової виробки, а також на приконтурний масив.

Для детального аналізу НДС кріпильної системи був змінений як геометричний, так і силовий масштаби епюр полів досліджуваних компонент напружень. Верхняк рами як поперед лави, так і біля «вікна» лави перебуває у відносно розвантаженому стані з плавним збільшенням σ_y від невеликих розтягальних значень (до 25 МПа) у замку склепіння до стискних $\sigma_y = 100 – 150$ МПа в районі замків піддатливості. Виключення становить локальна область у районі контакту верхняка рами зі стояком кріплення посилення, де контактні напруження збільшуються до 200 – 300 МПа й можуть провокувати пластичні деформації верхняка. Стояк рамного кріплення перебуває у граничному або близькому до нього стані, тому що практично по всій їх довжині $\sigma_y \geq 200 –$

250 МПа. Деякі аномалії σ_y у стояку з боку виробленого простору вказують на його активний вигин у порожнину виробки на трьох ділянках по висоті: 1,1 – 1,4 м; 1,7 – 1,9 м; 2,4 – 2,8 м. Стояк кріплення посилення піддається стискним $\sigma_y = 25 – 50$ МПа.

Анкери в системі опорно-анкерного кріплення активно чинять опір розшаруванню покрівлі на 50 – 60% своєї довжини. Найбільш навантаженими є кінцеві ділянки довжиною 0,4 – 0,5 м периферійних анкерів з боку неробочого борту, де розтягальні σ_y в арматурах досягають 60 – 85% від межі текучості її сталі. На ділянці стабілізації проявів гірського тиску (рис. 2) спостерігаються такі зміни поля σ_y : за довжиною верхняка рами епюра змінюється несуттєво за винятком обмеженої ділянки в районі контакту зі стояком кріплення посилення; тут за відсутності зростання растягальних σ_y збільшується у 2 – 3 ра-

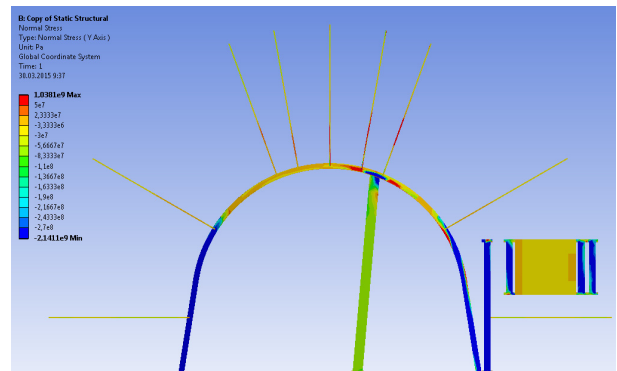


Рисунок 2 – Епюра σ_y у кріпильній системі в зоні стабілізації проявів гірського тиску

зи концентрація стискних σ_y безпосередньо по поверхні контакту верхняка й стояка, а також розширюється на 10 – 30% область дії концентрацій знакозмінних напружень; навантаження на стояки рами суттєво зростає, але при досить рівномірному (у поперечному перерізі СВП) розподілі σ_y у стояку з боку недоторканого масиву та з боку виробленого простору спостерігається активний вигин стояка; координати розміщення цих ділянок не змінюються, а концентрації згинальних напружень зростають в 1,2 – 2,0 рази; навантаження на центральний стояк кріплення посилення збільшується у 1,6 – 2,8 рази; стискні σ_y розподіляються рівномірно як по довжині, так і в площині поперечного перерізу стояка, що запобігає втраті її стійкості від вигину, а в податливому режимі роботи відбуватиметься розвантаження стояка; в системі опорно-анкерного кріплення має місце зростання розтягальних напружень σ_y на 20 – 50% у всіх анкерах, але довжина ділянки їх дії не змінюється і становить ті ж 40 – 50%, тобто охоплює лише обмежену приконтурну частину порід покрівлі, де посилюється її розшарування; навантаження бокових анкерів змінюється несуттєво за фактором дії σ_y , а за узагальненим критерієм приведених напружень нижні анкери (у безпосередній підшві) працюють з опором 65 – 100% від величини несучої здатності, а верхні бокові анкери навантажені до 60 – 80%, що підтверджує доцільність їх застосування.

Викладені результати розрахунків НДС моделей дозволили встановити зв'язки розмірів знемічених приконтурних порід навколо виробки з геомеханічними умовами її підтримання. Нормативна методика СОУ 10.1.0018590.011.2007 визначає тільки висоту склепіння граничної рівноваги порід виходячи з однойменної гіпотези проф. М.М. Протодьяконова, тобто у межах ширини виробки в

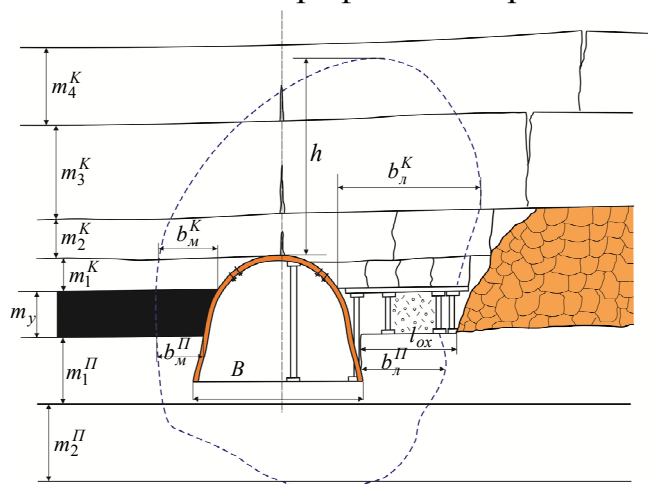


Рисунок 3 – Схема області знеміцнення порід навколо виїмкової виробки в зоні стабілізації гірського тиску

проходці й не враховує області знеміцнення у боках виробки, а відповідно до теорії склепіння проф. П.М. Цимбаревича, параметри цього склепіння суттєво змінюються з урахуванням утворення в боках призм сповзання. Для усунення даного недоліку встановлено закономірності зв'язку ширини області знеміцнення приконтурних порід з геомеханічними параметрами підтримання виїмкової виробки. Тому основна увага була приділена визначенню розмірів області знеміцнення порід у боках виїмкової виробки й відповідному перетворенню контура склепіння граничної

рівноваги (рис. 3).

У кількісному плані спостерігається сповільнене зростання усіх розмірів області знемічених порід у боках виробки: при збільшенні глибини H її розміщення в 3 рази (від 200 до 600 м) параметр b_M^K зростає в 1,92 рази, b_M^II – в 1,86 ра-

зи, b_l^K – в 1,31 рази, b_l^Π – в 1,43 рази. Для конкретизації висновків були побудовані графіки росту параметрів $b_{l,m}^{K,\Pi}$ стосовно своїх максимальних значень при $H = 600$ м (рис. 4). Це дозволило встановити досить тісний зв'язок між функціями росту ширини знеміцнення порід з боку різних бортів виробки, згрупувати зазначені закономірності й одержати рівняння регресії з високими коефіцієнтами кореляції:

$$b_l^{K,\Pi} = n_1^{K,\Pi} \left[1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H) \right], \text{ м};$$

$$b_m^{K,\Pi} = n_2^{K,\Pi} \left[1 - \exp(-3,2 \cdot 10^{-3} H) \right], \text{ м},$$

де $n_{1,2}^{K,\Pi}$ – коефіцієнти апроксимації, які характеризують вплив інших геомеханічних факторів: структури й властивостей прилеглого масиву, а також конструктивних параметрів засобів підтримання виїмкової виробки – тут найбільш суттєвий вплив виявляє ширина охоронної системи. Тому для розрахунків параметрів $b_{l,m}^{K,\Pi}$ у замкненому вигляді встановлений ступінь впливу перерахованих вище факторів.

Стосовно врахування властивостей і структури прилеглої вуглевміщуючої товщі як першого наближення був використаний інтегральний показник, який у нормативній методиці названий «середнім розрахунковим опором стисненню» R і узагальнює міцнісні характеристики породних шарів на висоту в покрівлю й глибину в підшову до 20 м.

Повний аналіз закономірностей впливу будови й властивостей прилеглої вуглевміщуючої товщі дозволив встановити ідентичність цих тенденцій у відносних величинах $b_{l,m}^{K,\Pi} / (b_{l,m}^{K,\Pi})_{max}$ окремо для ширини області знеміцнення з боку неробочого й робочого бортів. Використовуючи методи кореляційно-дисперсійного аналізу, отримано наступні рівняння регресії

$$b_l^{K,\Pi} = n_3^{K,\Pi} / R^{0,31}, \text{ м};$$

$$b_m^{K,\Pi} = n_4^{K,\Pi} / R^{0,63}, \text{ м},$$

де $n_{3,4}^{K,\Pi}$ – коефіцієнти апроксимації.

Коефіцієнти $n_{3,4}^{K,\Pi}$ є складовими коефіцієнтів $n_{1,2}^{K,\Pi}$ і враховують інші впливні параметри, серед яких виділена величина розрахункового опору $R_1^{K,\Pi}$ стисненню породних шарів безпосередньої покрівлі й підшови вугільного пласта, тобто ті літологічні різниці, які зміцнюються боковими анкерами. Значення $R_1^{K,\Pi}$ може відрізнятись від середнього R у кілька разів, а саме в безпосередній покрівлі й підшові здійснюється пошук ширини області знеміцнення порід. Тому окре-

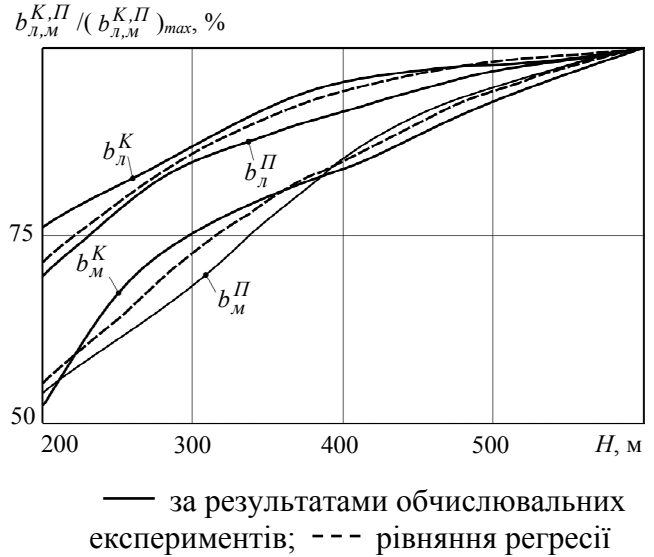
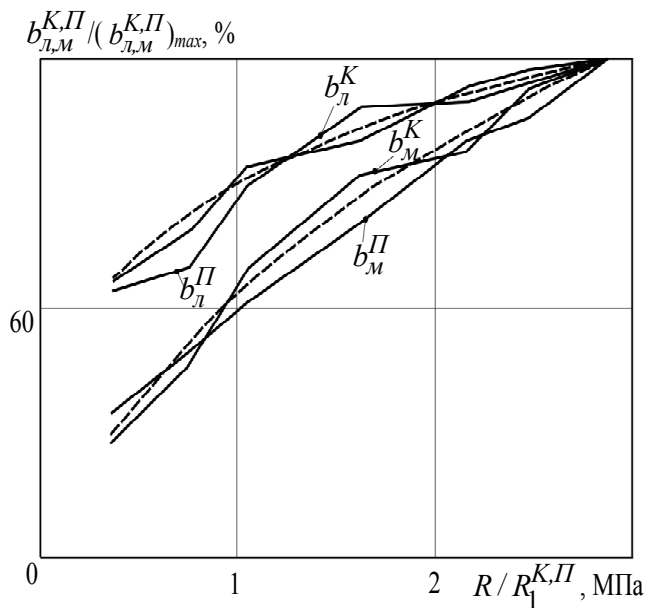


Рисунок 4 – Залежності зміни параметрів $b_{l,m}^{K,\Pi}$ від глибини H

мо були проаналізовані тенденції зміни відносних розмірів $b_{l,m}^{K,\Pi} / (b_{l,m}^{K,\Pi})_{max}$ області знеміцнення бокових порід від варіації співвідношення $R/R_1^{K,\Pi}$ (рис. 5). У результаті отримано наступні рівняння регресії:



— за результатами обчислювальних експериментів; --- рівняння регресії

Рисунок 5 – Залежності зміни параметрів $b_{l,m}^{K,\Pi}$ від $R/R_1^{K,\Pi}$

– з боку робочого борту

$$n_3^{K,\Pi} = n_5^{K,\Pi} (R/R_1^{K,\Pi})^{0,21};$$

– з боку неробочого борту

$$n_4^{K,\Pi} = n_6^{K,\Pi} (R/R_1^{K,\Pi})^{0,45},$$

де $n_{5,6}^{K,\Pi}$ – коефіцієнти апроксимації.

Останнім із суттєво впливних параметрів є ширина охоронної конструкції l_{ox} . Найбільш інформативним параметром при оцінці ступеня впливу l_{ox} є відносна величина $b_{l,m}^{K,\Pi} / (b_{l,m}^{K,\Pi})_{max}$. Тут спостерігаються дві протилежні тенденції: досить суттєвий вплив l_{ox} на ширину області знеміцнення приконтурних порід з боку робочого борту й практично відсутність впливу l_{ox} на область знеміцнення з боку неробочого.

Так, діапазон зміни параметрів $b_m^{K,\Pi}$ становить усього 3 – 12% при варіації ширини охоронної системи від 1 до 3 м. У результаті отримано рівняння регресії:

– з боку робочого борту

$$n_5^{K,\Pi} = n_7^{K,\Pi} l_{ox}^{0,73};$$

– з боку неробочого борту

$$n_6^{K,\Pi} = const,$$

де $n_7^{K,\Pi}$ – коефіцієнт апроксимації. Підсумовуючи результати аналізу даних комплексу обчислювальних експериментів можна стверджувати, що виявлені основні фактори, які найбільш суттєво впливають на розміри області знеміцнення порід у боках виїмкової виробки; встановлено ступінь цього впливу за кожним із факторів, що в сукупності дозволило одержати наступні емпіричні формули:

$$b_l^K = \frac{4,1 l_{ox}^{0,73}}{R^{0,1} (R_1^K)^{0,21}} [1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H)]; \quad b_l^\Pi = \frac{3,6 l_{ox}^{0,73}}{R^{0,1} (R_1^\Pi)^{0,21}} [1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H)], \text{ м};$$

$$b_m^K = \frac{11,2}{R^{0,18} (R_1^K)^{0,45}} [1 - \exp(-3,2 \cdot 10^{-3} H)]; \quad b_m^\Pi = \frac{9,7}{R^{0,18} (R_1^\Pi)^{0,45}} [1 - \exp(-3,2 \cdot 10^{-3} H)], \text{ м}.$$

Обґрунтовано, що з погляду несучої здатності рамного кріплення найбільш інформативним параметром є відношення довжини ділянки пластичного стану до

загальної довжини елемента (стояків або верхняка), які позначені: δ_l для стояків з боку робочого й δ_m неробочого бортів, відповідно, і δ – для верхняка. За викладеними критеріями проведено аналіз стану елементів рамного кріплення й встановлено закономірності їх зв'язку з геомеханічними факторами: спостерігається загальна тенденція росту довжини ділянок пластичного стану елементів рами зі збільшенням глибини розміщення виробки. Так, при збільшенні H від 200 до 600 м відносна довжина ділянок пластичного стану у верхняку зростає від 7,6 до 56,5%; у стояку неробочого борту δ_m збільшується від 15,8 до 74,2%; у стояку рами робочого борту δ_l збільшується з 21,8 до 88%. У такий спосіб при збільшенні H у 3 рази ділянки пластичного стану зросли: δ – в 7,43 рази; δ_m – в 4,70 рази; δ_l – в 4,04 рази. Простежується загальна для усіх елементів рами тенденція зниження розмірів областей пластичного стану при збільшенні міцнісних характеристик прилеглого масиву.

Тенденції впливу R прилеглих породних шарів вуглевміщуючої товщі на ступінь навантаженості анкерів спостерігаються аналогічні раніше описаним закономірностям переважного навантаження бокових сталеполімерних анкерів у порівнянні з такими в покрівлі виробки. Бокові анкери в безпосередній підшві й покрівлі вугільного пласта найбільш активно чинять опір зрушенню надвугільної товщі – ділянки їх пластичного стану поширюються на 54 – 72% і 33 – 52% відповідно. Однак ступінь впливу R помітно нижчий, чим для рамного кріплення. Наприклад, найбільш навантажені бокові анкери в безпосередній підшві характеризуються збільшенням відносної довжини граничного стану їх «арматури» усього на 34,3 – 42,2% при зниженні R у 5 разів. У ході аналізу результатів обчислювальних експериментів встановлено більш суттєвий вплив окремих параметрів структури й властивостей масиву на навантаження деяких груп анкерів. Так, опір бокових анкерів у безпосередній підшві досить чутливий до зниження її R_1^H при одночасному рості потужності m_1^H безпосередньої підшви. Найбільш впливовим параметром виявилось відношення R_1^H / m_1^H : наприклад, при зниженні R_1^H у 5 разів і збільшенні m_1^H у 3 рази (відношення R_1^H / m_1^H знизилось у 15 разів) практично вся довжина несучих елементів бокових анкерів перебуває у граничному стані. Звідси випливає висновок про необхідність посилення боків виробки за глибиною підризки: або збільшенням кількості анкерів, або збільшенням їх несучої здатності. Другий висновок стосується необхідності врахування відношення R_1^H / m_1^H при наступному виборі параметрів анкерного зміцнення приконтурних бокових порід за глибиною підризки підшви виробки. Область суттєвого впливу цього параметра обмежена величиною $R_1^H / m_1^H \leq 25 - 30$ МПа; за межами цього діапазону вплив відношення R_1^H / m_1^H практично відсутній, і в цих умовах переважаючими є інші фактори. У складних гірничо-геологічних умовах при утворенні великої області знеміцнених порід у боках виробки доцільно сталеполімерні анкери замінити на канатні за граничною величиною $(R_1^{K,H})_{cp}$ (табл. 3).

Таблиця 3 – Розрахунки параметрів бокових анкерів і стояків кріплення посилення

<p>Вибір типу бокових анкерів</p> $(R_1^{\Pi})_{zp} = 5,68 \frac{l_{ox}^{3,48}}{R^{0,48}} [1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H)]^{4,76}, \text{ МПа};$ $(R_1^K)_{zp} = 10,5 \frac{l_{ox}^{3,48}}{R^{0,48}} \cdot [1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H)]^{4,76}, \text{ МПа},$ <p>при $R_1^{K,\Pi} \geq (R_1^{K,\Pi})_{zp}$ – сталеполімерні анкери; при $R_1^{K,\Pi} < (R_1^{K,\Pi})_{zp}$ – канатні анкери.</p>
<p>Визначення довжини анкерів</p> <p>$l_{л,м}^{K,\Pi} = l_{зам} + b_{л,м}^{K,\Pi} + l_{хв}$, де $l_{зам} = 0,6 - 0,7$ м – сталеполімерні анкери; $l_{зам} = 0,8 - 1,1$ м – канатні анкери; $l_{хв} = 0,1$ м.</p> $b_{л}^K = \frac{4,1 l_{ox}^{0,73}}{R^{0,1} (R_1^K)^{0,21}} [1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H)]; \quad b_{л}^{\Pi} = \frac{3,6 l_{ox}^{0,73}}{R^{0,1} (R_1^{\Pi})^{0,21}} [1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H)];$ $b_{м}^K = \frac{11,2}{R^{0,18} (R_1^K)^{0,45}} [1 - \exp(-3,2 \cdot 10^{-3} H)]; \quad b_{м}^{\Pi} = \frac{9,7}{R^{0,18} (R_1^{\Pi})^{0,45}} [1 - \exp(-3,2 \cdot 10^{-3} H)].$
<p>Визначення діаметра анкерів</p> $d_{л}^{\Pi} = \frac{1,81}{\sigma^s} \cdot 10^3 \left\{ (3,8 + 6,2 \cdot 10^{-3} H) \left(\frac{17,2}{R^{2,4}} + 0,52 \right) \left[0,25 + 0,73 \exp\left(-0,1 \frac{R_1^{\Pi}}{m_1^{\Pi}}\right) \right] \right\}^{0,5}, \text{ мм};$ $d_{л}^K = \frac{1,63}{\sigma^s} \cdot 10^3 \left\{ (3,3 + 5,8 \cdot 10^{-3} H) \left(\frac{27,4}{R^{2,7}} + 0,48 \right) \left[0,21 + 0,61 \exp\left(-0,1 \frac{R_1^K}{m_1^K}\right) \right] \right\}^{0,5}, \text{ мм}.$
<p>Висота встановлення анкерів від підшви виробки $h = 0,4 - 0,6$ м – нижні анкери; $h = 1,8 - 2,2$ м – верхні анкери, хвостовик вище кромки пласта на $0,15 - 0,20$ м.</p>
<p>Кут нахилу анкерів до горизонталі: нижні – горизонтально; верхні – під кутом $\beta = 25 - 35^\circ$.</p>
<p>Необхідність встановлення центральних стояків кріплення посилення визначається при $H > H_{кр} = 74,2 R^{0,8}$.</p>
<p>Центральні стояки зміщені убік робочого борту $0,4 - 0,6$ м і під кутом нахилу 80° до вертикалі.</p>
<p>Необхідна несуча здатність податливих стояків тертя кріплення посилення зі СВП і гідростояків визначається за формулами:</p> $Q_{к.у}^{\eta} = \frac{620}{R^{1,7}} (1 + 2,1 \cdot 10^{-3} H), \text{ кН}; \quad Q_{к.у}^{\delta} = \frac{350}{R^{0,65}} (1 + 1,4 \cdot 10^{-3} H), \text{ кН}.$

На основі встановлених закономірностей впливу геомеханічних факторів на формування області граничної рівноваги в приконтурних породах виїмкових виробок у зоні стабілізації проявів гірського тиску позаду лави та їх зв'язку з НДС елементів кріпильної системи отримано розрахункові вирази, що визначають конструктивно-силові параметри бокових анкерів, як елементів керування НДС рамного кріплення (табл. 3).

Створена база даних для обґрунтування області гірничо-геологічних умов доцільного застосування стояків кріплення посилення: центральних і бокових. Показано, що конструктивні особливості стояків тертя зі спецпрофілю СВП і гідростояків, що забезпечують їх роботу в режимі постійного опору, надають їм універсальності в плані незалежності від геомеханічних факторів підтримання виїмкової виробки. Нерегульований режим роботи дерев'яних стояків найчастіше призводить до втрати їх стійкої форми та руйнуванню.

ВИСНОВКИ

У дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, подано нове вирішення науково-технічного завдання з обґрунтування умов повторного використання виїмкових виробок шляхом керуванням деформаційно-силовими параметрами кріпильної системи на базі закономірностей прояву гірського тиску.

Основні наукові й практичні результати полягають у наступному:

1. Узагальнено досвід підтримання виїмкових виробок позаду лави в складних гірничо-геологічних умовах, раніше виконаних експериментальних і теоретичних досліджень зрушень вуглевміщуючого масиву й деформування приконтурних порід виробок, механізму навантаження кріплення та його взаємодії з боковими породами, що дозволило обґрунтувати основні фактори й причини, що впливають на стан і поведінку подробленої надвугільної товщі й елементів кріплення, – геомеханічні складові: глибина ведення очисних робіт, структура й властивості бокових порід, ступінь їх обводненості, інтенсивність тріщинуватості, які й прийняті до оптимізації параметрів кріпильної системи позаду лави.

2. Розроблено механізм навантаження кріпильної системи позаду очисного вибою з деталізацією процесів формування у приконтурних породах виїмкових виробок зон граничної рівноваги, що відрізняються різновеликими ділянками порушених порід у боках виробки як по висоті, так і по ширині різних її бортів, а також будучи інтегральним показником напружено-деформованого стану системи «масив – виїмкова виробка» від прохідницького вибою до зони стабілізації проявів гірського тиску позаду лави.

3. Обґрунтовано на тестових спрощених моделях поділ досліджень НДС системи «масив – виїмкова виробка» методом скінченних елементів для підвищення вірогідності результатів надійності роботи обчислювальної техніки й мінімізації необхідних розрахунків на два взаємозалежні етапи: дослідження НДС гірського масиву з незакріпленою виїмковою виробкою і тілом у вигляді паралелепіпеда з відповідною механізованому кріпленню характеристикою – макромодель на першому етапі, і на другому етапі підлегла модель – дослідження НДС приконтурних порід і кріпильної системи. В макромоделі гірського масиву з

відображенням реальної його структури й властивостей змодельовано: кінцева ділянка лави, ділянки виїмкової виробки попереду, на сполученні і позаду лави, ділянки виробленого простору позаду лави із зонами безладного обвалення, шарнірно-блокового зрушення і плавного прогину шарів без порушення суцільності, ділянка недоторканого масиву з боку суміжного стовпа.

4. Встановлено закономірності зв'язку розмірів областей знеміцнених порід у боках виробки з геомеханічними параметрами її підтримання. Ширина знеміцнених бокових порід змінюється у досить значному інтервалі від 0,5 – 1,0 м до 3,0 – 3,5 м і, згідно з класичними гіпотезами склепіння, суттєво перетворює як форму склепіння граничної рівноваги порід, так і епюру розподілу навантаження, а також її загальну величину, що діє на кріпильну систему. Тому вважаємо за доцільне використовувати комбінацію розрахунків висоти склепіння граничної рівноваги порід за нормативними документами з визначенням розмірів знеміцнених порід у боках виробки (за отриманими емпіричними залежностями), що дозволяє прогнозувати параметри склепіноутворення й обґрунтувати параметри кріпильної системи.

5. Виявлено закономірності впливу геомеханічних факторів на стан рамного кріплення серії КШПУ. Найбільш тісний зв'язок НДС рами має місце з такими параметрами як глибина розміщення виробки, середній розрахунковий опір стисненню порід безпосередньої покрівлі й підшви. Через формування підвищених напружень у стояках рами в порівнянні з її верхняком незалежно від умов підтримання виробки доцільно застосовувати відомі технічні рішення з конструктивного зв'язку стояків рами й бокових анкерів. Отримана група закономірностей дозволила системно підійти до вибору параметрів інших кріпильних елементів (сталеполімерних анкерів і стояків кріплення посилення) у напрямі підвищення стійкості виїмкової виробки.

6. Створено базу даних для обґрунтування області гірничо-геологічних умов доцільного застосування стояків кріплення посилення: центральних і бокових. Показано, що конструктивні особливості стояків тертя зі спецпрофілю СВП і гідростояків, що забезпечують їх роботу в режимі постійного опору, надають їм універсальності в плані незалежності застосування від геомеханічних факторів підтримання виїмкової виробки. Нерегульований режим роботи дерев'яних стояків найчастіше призводить до втрати їх стійкої форми й руйнуванню, тобто втрачаються їх початкові функції з посилення кріпильної системи. Однак виявлена низка закономірностей для цілеспрямованого вибору параметрів стояків кріплення посилення, що забезпечують підвищення опору гірському тиску кріпильної системи в цілому.

7. Комплекс різноманітних розрахунків НДС кріпильної системи виїмкових виробок у різних гірничо-геологічних умовах Західного Донбасу виявив ступінь доцільності застосування кожного вантажонесучого елемента з набором рекомендацій і розрахункових виразів стосовно вибору їх раціональних параметрів. Підтверджена ефективність встановлення бокових анкерів з податливими механічними зв'язками зі стояками рамного кріплення. Це вперше доведено в рамках розгляду всього сучасного й перспективного переліку кріпильних елементів із широким діапазоном варіацій їх параметрів і гірничо-геологічних умов. Отрима-

но розрахункові вирази, що повністю визначають усі необхідні параметри: координати встановлення анкерів і їх кут нахилу, довжина анкерів і діаметр несучого стрижня. Також обґрунтовано межу областей доцільного застосування бокових сталеполімерних і канатних анкерів.

8. У результаті створено й затверджено ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» і ДВНЗ «Національний гірничий університет» «Методику розрахунків кріпильної системи дільничних виробок шахт Західного Донбасу», що дозволяє в конкретних умовах експлуатації виробок підвищити високопродуктивне й безпечне ведення очисних робіт.

Сумарний фактичний економічний ефект від реалізації результатів досліджень по двох шахтах склав 12,02 млн грн.

Основні положення і результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Мальных А.В. Геомеханика нагружения и расчет параметров крепежной и охранной систем подготовительных выработок шахт Западного Донбасса: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Мальных А.В. и др.]. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – 228 с.

2. Мальных А.В. Экспериментальные исследования пучения пород почвы подготовительных выработок на пологих пластах Донбасса: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Мальных А.В. и др.]. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – 224 с. (С. 177 – 195).

3. Мальных А.В. Взаимодействие грузонесущих элементов крепежной системы выемочных выработок «массив – рама – анкер»: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Мальных А.В. и др.]. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2015. – 214 с. (С. 118 – 182).

4. Мальных А.В. Повышение устойчивости выемочных выработок в слоистом массиве слабых пород / [В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, А.В. Мальных и др.] // Уголь Украины. – 2014. – № 2. – С. 8 – 11.

5. Мальных А.В. Расчет параметров рамно-анкерной крепи выемочных выработок / [В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, А.В. Мальных и др.] // Уголь Украины. – 2014. – № 5. – С. 5 – 8.

6. Мальных А.В. Закономерности взаимосвязи параметров углевмещающей толщи с пучением почвы пластовых выработок / И.А. Ковалевская, А.В. Мальных, В.Г. Снигур // Розробка родовищ: щорічний наук.-техн. зб. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – С. 343 – 352.

7. Мальных А.В. Исследование и расчет боковых анкерів, устанавливаемых по высоте нижней подрывки выемочных выработок / И.А. Ковалевская, А.С. Гусев, А.В. Мальных // Розробка родовищ: щорічний наук.-техн. зб. – Д.: ТОВ «Літограф», 2015. – С. 313 – 317.

8. Malykhin O. Loading mechanism of extraction mine working in front of a stoping face / I. Kovalevska, D. Astafiev, O. Malykhin [etc.] // Annual Scientific-Technical Collection “Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining”. – The Netherlands: CRC Press/Balkema, 2014. – P. 13 – 18.

9. Malykhin O. Anchor’s strengthening of rock walls of extraction mine workings / I. Kovalevska, O. Malykhin, V. Snigur // New Developments in Mining Engi-

neering: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining. – The Netherlands: CRC Press/Balkema, 2015. – P. 5 – 8.

10. Malykhin A. Features of bottom heaving development mechanism in foliated massif of poor rocks / I. Kovalevska, D. Astafiev, A. Malykhin [etc.] // *Materialy Szkoly Eksploatacyj Podzemnej-2014* [Electronic resource] 1 electronic optical drive (427 KB; CD-ROM). – Krakow: Katedra Gornictwa Podziemnego.

11. Малыхин А.В. Опыт и перспективы оставления пород в шахтах Западного Донбасса / А.В. Малыхин, А.И. Яркович // *Розробка родовищ: щорічний наук.-техн. зб.* – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – С. 201 – 205.

12. Малыхин А.В. Механизм сдвижения надугольной толщи и нагружения крепи вдоль выемочной выработки позади лавы / Г.А. Симанович, В.Г. Черватюк, В.Г. Снигур, А.В. Малыхин // *Розробка родовищ: щорічний наук.-техн. зб.* – Д.: ТОВ «Літограф», 2015. – С. 299 – 306.

13. Малыхин А.В. Технологический регламент крепления и охраны выемочных выработок на пологих пластах Донбасса: науч.-практ. пособие / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Малыхин А.В. и др.]. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – 106 с.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1] – написання розділу 2, вибір параметрів анкера постійного опору; [2] – написання розділів 3, 5, 6, 9, 12; [3] – написання розділу 12; [4] – написання розділів 7 і 8; [5 – 7, 9 – 13] – аналіз закономірностей навантаження кріплення і розрахунок параметрів; [8] – аналіз перспектив залишення породи в ліквідованих виробках.

АНОТАЦІЯ

Малихін О.В. Обґрунтування параметрів кріпильної системи виробок, що повторно використовуються, при розробці вугільних пластів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин. – Державний ВНЗ «Національний гірничий університет» МОН України, Дніпропетровськ, 2015.

Захищаються нові виявлені закономірності управління навантаженням елементів кріпильної системи шляхом оптимізації деформаційно-силових параметрів бокових анкерів у зоні стабілізації проявів гірського тиску позаду лави в шаруватому масиві слабких порід для створення ресурсозберігаючих умов повторного використання виїмкових виробок. Розроблено механізм навантаження кріпильної системи позаду очисного вибою з деталізацією формування у виїмкових виробках зон граничної рівноваги, що відрізняються різновеликими ділянками знеміцнених порід у боках виробки як по висоті, так і по ширині різних її бортів, а також будучи інтегральним показником напружено-деформованого стану системи «масив – виїмкова виробка» від прохідницького вибою до зони стабілізації проявів гірського тиску позаду лави. Обґрунтовано багатопараметричну просторову модель процесів зрушення надвугільної товщі на сполученні лави з виїмковою виробкою, що містить: ділянку попереду очисного вибою, ділянку виробленого простору позаду лави з зонами безладного обвалення, шарнірно-блокового зру-

шення і плавного прогину шарів без порушення суцільності й ділянку недоторканого масиву з боку суміжного виїмкового стовпа, а також враховує структуру й властивості прилеглих породних шарів вуглевміщуючої товщі Західного Донбасу. Розроблено алгоритм поетапного проведення багатопараметричного обчислювального експерименту МСЕ з розрахунку НДС: неоднорідного тонкошаруватого масиву слабких порід з урахуванням його структури, властивостей, глибини розробки й елементів кріпильної системи за повною діаграмою деформування їх матеріалу. Комплекс багатоваріантних розрахунків НДС кріпильної системи виїмкових виробок у різних гірничо-геологічних умовах Західного Донбасу виявив ступінь доцільності застосування кожного вантажонесучого елемента з набором рекомендацій і розрахункових виразів щодо вибору їх раціональних параметрів. Одержано розрахункові вирази, що повністю визначають необхідні параметри: координати встановлення анкерів і їх кут нахилу, довжина анкерів і діаметр несучого стрижня. Також обґрунтована межа областей доцільного застосування бокових сталеполімерних і канатних анкерів.

Розроблено й затверджено «Методику розрахунку кріпильної системи виїмкових виробок шахт Західного Донбасу». Сумарний фактичний економічний ефект від реалізації результатів досліджень по двох шахтах склав 12,02 млн грн

Ключові слова: гірський масив, геомеханічні фактори, виїмкова виробка, лава, кріпильна система, параметри, розрахунок.

АННОТАЦИЯ

Малыхин А.В. Обоснование параметров крепежной системы повторно используемых выработок при разработке угольных пластов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – Государственный ВУЗ «Национальный горный университет» МОН Украины, Днепропетровск, 2015.

Защищаются вновь выявленные закономерности управления нагружением элементов крепежной системы посредством оптимизации деформационно-силовых параметров боковых анкерів в зоне стабилизации проявлений горного давления позади лавы в слоистом массиве слабых пород для создания ресурсосберегающих условий повторного использования выемочных выработок. Разработан механизм нагружения крепежной системы позади очистного забоя с детализацией формирования в выемочных выработках зон предельного равновесия, отличающихся разновеликими участками разупрочненных пород в боках выработки как по высоте, так и по ширине разных ее бортов, а также являясь интегральным показателем напряженно-деформированного состояния системы «массив – выемочная выработка» от проходческого забоя до зоны стабилизации проявлений горного давления позади лавы. Обоснована многопараметрическая пространственная модель процессов сдвижения надугольной толщи на сопряжении лавы с выемочной выработкой, включающая: участок впереди очистного забоя, участок выработанного пространства позади лавы с зонами беспорядочного обрушения, шарнирно-блокового сдвижения и плавного прогиба слоев без наруше-

ния сплошности и участок нетронутого массива со стороны смежного выемочного столба, а также учитывающая структуру и свойства близлежащих породных слоев углевмещающей толщи Западного Донбасса. Разработан алгоритм поэтапного проведения многопараметрического вычислительного эксперимента МКЭ по расчету НДС: неоднородного тонкослоистого массива слабых пород с учетом его структуры, свойств, глубины разработки и элементов крепежной системы по полной диаграмме деформирования их материала. Усовершенствован метод расчета параметров зоны предельного равновесия пород в окрестности выемочной выработки на основе выявленных закономерностей разупрочнения непосредственной почвы и кровли в боках выработки в зоне стабилизации проявлений горного давления позади лавы и учета положений СОУ 10.1.00185790.011:2007.

Комплекс многовариантных расчетов НДС крепежной системы выемочных выработок в различных горно-геологических условиях Западного Донбасса выявил степень целесообразности применения каждого грузонесущего элемента с набором рекомендаций и расчетных выражений по выбору их рациональных параметров. Подтверждена эффективность установки боковых анкеров с податливыми механическими связями со стойками рамной крепи. Это впервые доказано в рамках рассмотрения всего современного и перспективного перечня крепежных и охранных элементов с широким диапазоном вариаций их параметров и горно-геологических условий. Получены расчетные выражения, полностью определяющие все необходимые параметры: координаты установки анкеров и их угол наклона, длину анкеров и диаметр несущего стержня. Также обоснована граница областей целесообразного применения боковых сталеполимерных и канатных анкеров.

Разработана и утверждена «Методика расчета крепежной системы выемочных выработок шахт Западного Донбасса». Фактический экономический эффект от реализации результатов исследований по двум шахтам составил 12,02 млн грн.

Ключевые слова: горный массив, геомеханические факторы, выемочная выработка, лава, крепежная система, параметры, расчет.

ABSTRACT

Malykhin O.V. Substantiation the parameters of the support system of the reusing excavation workings during coal seams mining. – Manuscript.

Thesis of the scientific degree of the Candidate of the Technical Science on specialty 05.15.02 – Underground mining of mineral deposits. – State Higher Educational Institution “National Mining University” Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipropetrovsk, 2015.

Revealed regularities of load control of elements of the support system via optimization of strain-force parameters of wall anchors in stabilization zone of rock pressure manifestation behind the longwall in layered massif of soft rocks for creation of resource-saving conditions of reusing excavation mine workings are again defense.

The support system loading mechanism behind the longwall face with detailization of limit equilibrium of zone formation of mine workings is developed. This

mechanism distinguishes different-sized section of weakened rocks in walls of mine working on high and width of different it sides, and also an integrated indicator of stress-strain state “massif-excavation mine working” system from development face in zone of rock pressure manifestation behind the longwall. The multiparameter three-dimensional model of actuation processes of over-coal rock layer on a row combination with excavation mine working is justified. Model includes section ahead the longwall face, section of goaf behind the longwall face with zone of random failure, joined-block shift and gradual deflection of layers from the side of adjacent extraction pillar, and takes into account the structure and properties of neighboring rock layers in coal-bearing massif of Western Donbass. The stepwise algorithm of carrying out multiparameter computing experiment FEM based on SSS: non-uniform thin layer of soft rocks taking into account its structure, properties, mining depth and elements of support system with full deformation material diagram is developed. The complex of multiple calculations of the SSS of support system of excavation mine working in different mining-and-geological conditions of Western Donbass found a level of application feasibility of each load-carrying element with a set of recommendation and calculation expression at the choice of their rational parameters. The calculation results are given. These calculations completely determine the necessary parameters, which are coordinates of installation of anchors and their slope angel, length of anchors and diameter of the bearing rod. The boundary of areas of feasibility of wall resin-grouted and rope anchors application is also justified.

“The methodology of calculation support system of excavation mine working of Western Donbass mines” is developed and confirmed. The expected economic effect of improvement of stability of the excavation mine workings in one stope district will make 12,02 mln UAH.

Key words: rock massif, geomechanical factors, excavation mine working, support system, parameters, calculation.

МАЛИХІН Олександр Володимирович

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КРІПИЛЬНОЇ СИСТЕМИ
ВИРОБОК, ЩО ПОВТОРНО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ,
ПРИ РОЗРОБЦІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ**

(Автореферат)

Підписано до друку 07.12.15. Формат 60x90/16.
Папір офсет. Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 1,0.
Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 120 прим. Зам. №8131

Видавництво «Літограф»
Ідентифікатор видавця у системі ISBN: 2267
Адреса видавництва та друкарні:
49000, м. Дніпропетровськ, вул. Паторжинського, 29/б
тел.: (066) 369-21-55; (056) 713-57-25
E-mail: Litograf.dp@gmail.com