

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

ФОМИЧОВ ВАДИМ ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 622.831.1: 622.831.232

**НАУКОВІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ГЕОМЕХАНІЧНИМИ
СИСТЕМАМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РЕКУРСИВНИХ МЕТОДІВ
ПРИ ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ**

Спеціальність: 05.15.02 – підземна розробка родовищ
корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертація є рукопис.

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

Науковий консультант:

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

БОНДАРЕНКО
Володимир
Ілліч

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, директор Інституту фізики гірничих процесів НАН України (м. Дніпропетровськ)

ГРІНЬОВ
Володимир
Герасимович

доктор технічних наук, професор, директор проектного та науково-дослідного центру ПрАТ «Донецьксталь» – металургійний завод» (м. Донецьк)

АГАФОНОВ
Олександр
Васильович

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

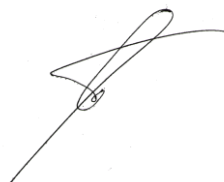
КРУКОВСЬКИЙ
Олександр
Петрович

Захист відбудеться «25» червня 2015 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 із захисту дисертацій Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19, т. 47-24-11).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України.

Автореферат розісланий «25» травня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03
кандидат технічних наук, доцент



М.В. Петльований

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Резерв підвищення рентабельності вуглевидобутку знаходиться в широкомасштабному застосуванні ресурсозбережних технологій підтримки виїмкових виробок. Вони займають ключові позиції у забезпеченні безперебійного і високопродуктивного технологічного процесу видобутку вугілля.

Найбільш складні гірничо-геологічні умови відпрацювання вугільних пластів характерні для шаруватого масиву слабких порід Західного Донбасу, де проблема підтримки повторно використовуваних виїмкових виробок надзвичайно актуальна, оскільки призводить до значних деформацій і пошкодження кріплення, збільшення витрат на підтримання виробок.

Відносно досліджень стану гірничих виробок сформовано кілька класів методик вирішення завдань геомеханіки. Застосування того чи іншого класу рішення обумовлено як можливостями обчислювальних засобів, так і якісною складністю геомеханічної системи або процесу, стан якого піддається аналізу.

Ці моделі віднесені до високого рівня допусків на етапі постановки завдання, що визначає великий діапазон можливих рішень і, як наслідок, не може гарантувати точності розрахунків у конкретних гірничо-геологічних умовах. Вони дозволяють отримувати тільки оцінний і не мають здатність давати адекватний кількісний результат. Побудову узагальненої моделі на даному етапі розвитку обчислювальних технологій можна вважати недоцільною.

Запропонований автором підхід у моделюванні задач геомеханіки є неординарним, здатним забезпечити можливість вирішення широкого діапазону проблем при проектуванні та експлуатації виїмкових виробок, що знаходяться під впливом очисних робіт. Технологія проведення розрахунків не суперечить відомим, а суттєво розширює їхні можливості з привнесенням елементів управління в організацію формування розрахункової області для управління станом гірського масиву.

Таким чином, розробка уніфікованої системи визначення оптимальних параметрів управління гірським тиском при забезпеченні стійкості повторно використовуваних виробок у широкому діапазоні доступних характеристик опису геомеханічних систем, їх взаємодії та різних типів розглянутих процесів зміни напружено-деформованого стану (НДС) системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» є важливою та актуальною науково-технічною проблемою, вирішення якої забезпечує оптимальні експлуатаційні параметри і стан гірничих виробок.

Зв'язок роботи з державними науковими і науково-технічними програмами. Наведені в дисертації дослідження виконані в рамках науково-дослідних тем ГП-422 «Наукові основи керування просторовою системою «масив – кріплення» з урахуванням граничного й позамежного стану та уніфікова-

ними засобами контролю газових сумішей» (№ ДР 0109U002815); ГП-450 «Наукові основи деформування просторово-неоднорідної системи «масив – кріплення» з урахуванням контролю умов праці в шахтах за пиловим фактором» (№ ДР 0112U00869).

Наукова проблема полягає в розробці наукових основ управління геомеханічними системами «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» із застосуванням багатопараметричної рекурсивної нелінійної моделі проведення обчислювального експерименту з визначення закономірностей взаємного впливу ключових елементів системи, що дозволяє ефективно управляти станом виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт та підвищити точність і адекватність результатів досліджень, забезпечити ресурсозбереження, оптимізувати експлуатаційні показники, та розширити діапазон технологічних рішень при підземній розробці вугільних родовищ.

Метою дисертаційної роботи є розробка наукових основ управління станом геомеханічної системи із застосуванням рекурсивних методів при підземній розробці родовищ на підвалинах закономірностей взаємного впливу різнотипних оптимальних показників напружено-деформованого стану системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» виїмкових виробок протягом їх експлуатації.

Для реалізації мети роботи поставлені **задачі досліджень**:

1. Сформулювати науково-технічну проблему підвищення стійкості виїмкових виробок при відпрацюванні пологих вугільних пластів з урахуванням методів обчислювального експерименту при вирішенні завдань геомеханіки.

2. Розробити узагальнений метод управління взаємодії елементів системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» на базі високоточного моделювання багатопараметричної рекурсивної нелінійної моделі.

3. Обґрунтувати комплекс геомеханічних елементів, що забезпечують інформаційно-технічний базис при вирішенні завдань геомеханіки в моделях з високим рівнем узагальнень гірничо-геологічних умов.

4. Реалізувати технологію проектування елементів кріплення виїмкових виробок на основі геомеханічних моделей для вирішення прикладних задач підземної розробки вугільних родовищ шляхом логічної корекції системи управління багатопараметричною рекурсивною моделлю.

5. Розробити методику управління гірським тиском, що забезпечує сталий стан виїмкових виробок з урахуванням посунання очисного вибою на пологих пластах у шаруватому масиві слабких порід.

6. Розробити нормативно-технічну базу для розрахунку параметрів кріплення та охорони виїмкових виробок з метою їх повторного використання.

Ідея роботи полягає у використанні закономірностей взаємодії визначальних елементів структурної моделі геомеханічної системи для прогнозування і формування сталого стану повторно використовуваних виїмкових виробок

протягом їх експлуатації.

Об'єкт досліджень – процеси управління взаємодією елементів кріплення й охоронних конструкцій з гірським масивом для прогнозування зміни стану геомеханічної системи із застосуванням елементів рекурсивних методів при моделюванні розподілу напружень та деформацій навколо повторно використуваних виїмкових виробок у складних гірничо-геологічних умовах.

Предмет досліджень – закономірності впливу різнотипних оптимальних показників напружено-деформованого стану системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» на сталий стан повторно використуваних виїмкових виробок із застосуванням багатопараметричної рекурсивної нелінійної моделі.

Методи досліджень. Для досягнення поставленої мети в роботі було використано комплекс методів, що містить у собі: узагальнення наукових джерел з проблем прогнозування управління станом виїмкових виробок при використанні обчислювальних експериментів, які засновані на аналітичних, числових та експериментальних системах опису станів і процесів, що протікають у геомеханічних системах; методи гірничої механіки; методи будівельної механіки; рекурсивні методи побудови розрахункових моделей; методи гідродинаміки багатофазних середовищ при аналізі тріщинуватості породного масиву; метод скінченних елементів при реалізації оптимального опису системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» в різних варіантах постановки задач геомеханіки; проведення та аналіз шахтних експериментів для визначення ефективності прийнятих технічних рішень.

Наукові положення, які отримані дисертантом і виносяться на захист:

1. Внутрішні зусилля анкерів зростають зі зміною гірського тиску за тригонометричною ступеневою залежністю, яку встановлено завдяки застосуванню багатопараметричної рекурсивної нелінійної моделі для напружено-деформованого стану системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції». Це дозволяє визначити граничний показник оптимального розташування і довжини анкерів та надає можливість управління станом геомеханічної системи й зниження матеріаломісткості кріплення.

2. При врахуванні статистичних характеристик систем тріщин в елементарному об'ємі гірського масиву його стан уточнюється модифікованим енергетичним інваріантним інтегралом Черепанова – Райса, завдяки чому визначається збільшення нелінійної деформації та розмір залишкової міцності порід. Це дозволяє прогнозувати ймовірність вивалоутворення вміщувальних порід та управляти станом геомеханічної системи, визначаючи оптимальні показники розташування елементів кріплення виїмкових виробок.

3. Встановлено залежність характеристик зони підвищеного гірського тиску від реологічних властивостей дрібношаруватого масиву та величини й координати максимальних вертикальних напружень, що дозволяє управляти

станом геомеханічної системи за рахунок вибору оптимальної швидкості посування та часу зупинки очисного вибою. Це дозволяє забезпечити достовірний розрахунок параметрів стійкості сполучення виїмкових та очисних виробок, знижується рівень конвергенції порід у виїмковій виробці.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблено багатопараметричну рекурсивну нелінійну модель обчислювального експерименту для оптимізації опису геомеханічної системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» повторно використовуваних виробок у виїмкових стовпах і для підвищення адекватності отриманих результатів розрахунків до реальних гірничо-геологічних умов;

- вперше визначено залежність між геометричними параметрами анкерного кріплення та зміною сумарної потенційної енергії системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» на всіх етапах використання виїмкових виробок від їх проведення та в процесі їх повторного використання;

- уточнено залежність між зниженням несучої здатності анкерів і зміною НДС приконтурного породного масиву в граничному та позамежному стані з використанням рекурсивних методів розрахунку, що дозволяє визначати оптимальні параметри встановлення анкерів при вирішенні задач управління станом геомеханічних систем з урахуванням фактору часу;

- вперше розроблено модель залежності енергетичних, геометричних і статистичних характеристик тріщинуватості породного масиву та його залишкової міцності, що дозволяє підвищити точність обчислювальних експериментів на 20 – 25 % при прийнятті проектних технологічних рішень з кріплення й охоронних конструкцій;

- уточнено залежність між розташуванням у гірському масиві зон вивалоутворення та фізичними характеристиками порід, які деформуються за межами теорії пружності, при управлінні станом геомеханічної системи за рахунок обрання оптимального виду контуру виробки у складних гірничо-геологічних умовах;

- вперше отримано залежність між координатами розташування максимуму вертикальних напружень, зміною його величини та характеристиками зони підвищеного гірського тиску, що дає можливість визначати для умов дрібношаруватого масиву оптимальну швидкість посування та час зупинок очисного вибою.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей і ступеня взаємного впливу характеристик порід і системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» за допомогою багатопараметричної рекурсивної нелінійної моделі проведення обчислювального експерименту, що дозволяє ефективно управляти станом підготовчих виробок у зоні впливу очисних робіт та підвищити точність і адекватність одержуваних результатів досліджень на 20 – 25 %.

Практичне значення роботи полягає в наступному:

- розроблено методику визначення оптимальних параметрів моделювання елементів геомеханічної системи при реалізації обчислювальних експериментів дослідження взаємодії гірського масиву, кріплення та охоронних конструкцій;
- впроваджено технологічний регламент кріплення та охорони виїмкових виробок, що забезпечує підвищення стійкості геомеханічної системи на всіх етапах експлуатації;
- запропоновано технологічне рішення зниження ймовірності вивалотворення при зменшенні металомісткості кріплення в різних гірничо-геологічних умовах за рахунок вибору оптимальної форми контуру й схеми кріплення гірничої виробки;
- розроблено рекомендації щодо зниження металомісткості рамного кріплення шляхом перерозподілу навантаження між кріпленням й охоронними конструкціями;
- розроблено рекомендації з визначення швидкості посування й часу зупинок очисного вибою вздовж виїмкової виробки, при яких забезпечується мінімізація конвергенції порід і знижуються геометричні розміри та величина напружень зон підвищеного гірського тиску;
- розроблено рекомендації для проектування й установа рамно-анкерного кріплення повторно використовуваних виїмкових виробок, які враховують фізичні й статистичні характеристики тріщинуватості породного масиву.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується: використанням прийнятих положень і законів механіки гірських порід, механіки суцільного середовища, теорії управління гірським масивом, теорії руйнування, аналітичних і чисельних математичних методів моделювання; використанням точних вимірювальних пристроїв і методів проведення експериментальних досліджень; порівняльним аналізом результатів обчислювального експерименту та експериментальних даних, отриманих на шахтах України (відхилення не перевищують 7 %).

Реалізація результатів досліджень, висновків і рекомендацій роботи:

- створено «Методику визначення оптимальних параметрів опису елементів розрахункової моделі, що застосовується при проведенні обчислювальних експериментів з визначення стану геотехнологічних об'єктів вугледобувних виробництв» (затверджена в 2014 р.), яку використано при проведенні прикладних досліджень стійкості виїмкових виробок на шахтах Західного Донбасу;
- розроблено «Технологічний регламент кріплення та охорони виїмкових виробок на пологих пластах» (затверджений Міністерством енергетики та вугільної промисловості України, 2013);
- очікуваний економічний ефект від впровадження результатів досліджень у виробництво складає понад 12 млн грн на рік.

Особистий внесок автора полягає в теоретичній розробці та розв'язанні наукової проблеми узагальнення методів вирішення завдань геомеханіки шляхом формування опису досліджуваної моделі із застосуванням елементів рекурсивної математики, проведенні обчислювальних експериментів, які визначають НДС складно структурованої геомеханічної моделі, узагальненні отриманих результатів та розробці на їх основі технологічних рекомендацій щодо підвищення стійкості виробок, які використовуються повторно, проведенні та аналізі результатів шахтних досліджень.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи та результати досліджень доповідалися на міжнародній конференції «Форум гірників» (м. Дніпропетровськ, 2009 – 2011); 22nd World mining congress & Expo (Istanbul, 2011); Szkoła Eksploatacyj Podziemnej (Krakow, 2009, 2010, 2012, 2013); міжнародній науковій школі «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках» (м. Сімферополь, 2012, 2013); міжнародній науковій конференції «Математичні проблеми технічної механіки – 2012» (м. Дніпропетровськ – Дніпродзержинськ); міжнародній науково-практичній конференції «Школа підземної розробки» (м. Ялта, 2008, 2009, 2011, 2012); XXXVII Zimova Szkoła Mechaniki GorotworuI Geoinzynierii (Wisla – Jawornik, 2014); Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих учених (м. Дніпропетровськ, 2012); VIII науково-практичній конференції «Проблемы горного дела и экологии горного производства» (м. Антрацит, 2013); науково-практичній конференції «Перспектива развития Прокопьевско-Киселевского угольного района как составная часть комплексного инновационного плана моногородов» (м. Прокоп'євськ, 2011).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 53 наукові роботи, з них 6 монографій, 31 – у спеціалізованих фахових виданнях і 16 – у збірниках матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій, з них 10 – у виданнях з високим індексом цитування.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 6 розділів, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 375 сторінках машинописного тексту, включає 98 рисунків, 15 таблиць, список використаних джерел із 271 найменування на 31 сторінці і 4 додатки на 59 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 434 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано напрям досліджень дисертації, актуальність теми дисертації, розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету й задачі досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, наведено наукові положення, новизну та значення отриманих результатів, які виносяться на захист, а також наведено інформацію про особи-

стий внесок здобувача, апробацію результатів та структуру роботи.

Перший розділ містить детальний аналіз стану проблеми та обґрунтування задач досліджень.

Оптимізація процесу управління геомеханічними системами ґрунтується на визначенні напружено-деформованого стану системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції». Розвиток технологій обчислювального експерименту як основи для вирішення завдань забезпечення стійкості гірничих виробок було реалізовано в роботах: О.Г. Протосені, В.В. Виноградова, В.Е. Миренкова, М.С. Буличева, Б.О. Картозії, О.А. Агафонова, І.Л. Черняка, О.В. Солодянкіна, Е.В. Конопелько, Ч. Джегера, І.А. Ковалевської, М.В. Курлені, Н.О. Самоделкіної, О.П. Круковського, О.П. Рязанцева, О.М. Шашенка, О.О. Сдвіжкової, Е.В. Ламоніна, Л.Д. Павлової.

Поряд з цими дослідженнями слід особисто виділити роботи, виконані для аналізу стійкості виїмкових виробок, які використовуються повторно при стовповій системі розробки пологих тонких вугільних пластів, що знаходяться в складних технологічних умовах. Особистий внесок у цьому напрямку зробили такі вчені: М.М. Грищенков, В.Г. Гріньов, Л.В. Байсаров, А.І. Демченко, С.І. Касьян, О.О. Прівалов, А.А. Насонов, М.В. Андрощук, Б.О. Ваулін, В.В. Маліков, Р.М. Терещук і ін.

Відносно досліджень стану гірничих виробок спостерігається розвиток математичного моделювання, що дозволило сформулювати кілька класів методик вирішення задач геомеханіки.

Для цього всі прийняті розрахункові схеми слід розділяти на три основні групи деталізації моделювання реальних об'єктів: перша – моделі з високим рівнем узагальнень; друга – моделі різнорівневі, за ступенем точності опису окремих об'єктів; третя – моделі максимального рівня опису досліджуваного середовища (технології віртуального моделювання).

Побудову узагальненої моделі в задачах геомеханіки на даному етапі розвитку обчислювальних технологій можна вважати недоцільною, оскільки такого роду моделі дозволяють отримувати тільки оцінний, з точки зору якості, результат.

Технологічно орієнтовані моделі являють собою розрахункові області, що забезпечують зважений опис елементів гірничо-геологічної структури і побудови кріплення виробок. Такі моделі, в цілому залишаючись досить схематичними, дозволяють описувати складні нелінійні процеси.

На даний час найбільш поширено використовується диференціальне моделювання складно структурованого об'єкта. Вони забезпечують високий рівень адекватності отриманих результатів як в якісному, так і в кількісному сенсах.

Багатопараметрична рекурсивна нелінійна модель є однією з різновидів останнього класу задач. Слід виділити дві основні переваги цієї моделі: визна-

чення параметрів системи в ході постановки розрахункового завдання і застосування рекурсивної методики пошуку оптимального виду опису елементів розрахункового завдання. У цьому значенні первинна постановка завдання не обтяжується жорстким завданням показників моделювання, що значною мірою впливає на вибір області можливих рішень.

У другому розділі наведені математичні описи елементів рекурсивної математики, які забезпечують ефективну методику побудови обчислювальних моделей і проведення дослідницьких робіт на всіх етапах, включаючи постановку задачі управління станом геомеханічної системи, проведення моделювання геотехнологічних процесів, проведення і аналіз стану виїмкових виробок у ході натурних вимірювань.

На рис. 1 наведений узагальнений алгоритм, який дозволяє отримати оптимальний результат розрахунків за показниками геомеханічної системи при проведенні обчислювальних експериментів з використанням методу скінченних елементів.



Рисунок 1 – Узагальнений алгоритм реалізації багатопараметричної рекурсивної нелінійної моделі розрахунку геомеханічного об'єкта при формуванні обчислювальної області чисельного методу

Застосування рекурсивного підходу в пошуку оптимальних параметрів елементів розрахункової схеми має забезпечувати не тільки фізико-математичну адекватність опису, але й гарантувати єдиність одержуваних результатів. Отже, вибір рекурсивного опису стану будь-якої геомеханічної системи повинен бути виконаний таким чином, щоб у ході проведення всіх роз-

рахункових серій обчислювального експерименту рішення для цієї системи однозначно відповідало формату прийнятого математичного відображення. Тому необхідно провести верифікацію функціональних рівностей, які використовують при побудові математичного опису конкретної задачі геомеханіки з імітацією різних граничних і початкових показників.

Для прийнятних результатів обчислювального експерименту вирішення задач геомеханіки була використана методика визначення узагальненого наведеного показника. На підставі аналізу поведінки чотирьох незалежних змінних P_A , P_C , P_E , P_M отримано розрахункову область Ω_P значень оптимальних показників моделювання окремих елементів в задачах геомеханіки.

Суть даної моделі полягає в тому, що для кожного з розглянутих параметрів будується крива допустимих значень вигляду

$$P_{lim}(x) = \frac{P(x) - K(\bar{x})}{f(x)} t [f_{max}(x) - f_{min}(x)], \quad (1)$$

де $P_{lim} \in | P_A, P_C, P_E, P_M |$ – оператори адекватності та вартості розрахунків, ефективності вирішення і межі прийнятних результатів; $f(x)$ – базова функція; $P(x)$ – апроксимуючий многочлен; $K(\bar{x})$ – коригувальний показник навколо обраної точки; $[f_{max}(x) - f_{min}(x)]$ – допустима область відповіді; t – показник точності моделювання елемента системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції».

Перетин зон операторів дає область допустимих значень при моделюванні реального об'єкта. Коли значення узагальненого приведенного показника потрапляє в цю область, це означає вибір оптимальних характеристик для модельованого об'єкта.

Розрахунок узагальненого приведенного показника виглядає так:

$$P = (P_A(G_A; t) + P_C(G_C; t) + P_E(G_E; t) + P_M(G_M; t)) / 4; \quad (2)$$

де G_A , G_C , G_E , G_M – відповідно оператори управління адекватністю розрахунків, їх вартості, ефективності вирішення і межі допустимих результатів, отримані за допомогою комплексного аналізу стану розрахункової моделі в ході її оптимізації.

Визначення опису операторів G_A , G_C , G_E , G_M було здійснено за допомогою методу локальних варіацій для числового рішення задач оптимального управління. В даному випадку розглядається система диференціальних рівнянь, яку опишемо так:

$$F' = G(u, x, t), \quad (3)$$

де $G = (G_A, G_C, G_E, G_M)$ – чотиривимірний вектор-функція, яка являє собою сім'ю операторів управління; $u = (u_1, \dots, u_m)$ – n -мірний вектор керуючих функцій; $x = (x_1, \dots, x_n)$ – вектор фазових координат; t – незалежна змінна, що визначає область управління.

На рис. 2 наведена частина узагальненого алгоритму постановки обчислювального експерименту з вирішення завдань підвищення стійкості виробок, в рамках якого виконується регулювання опису окремого параметра розглянутої геомеханічної системи.

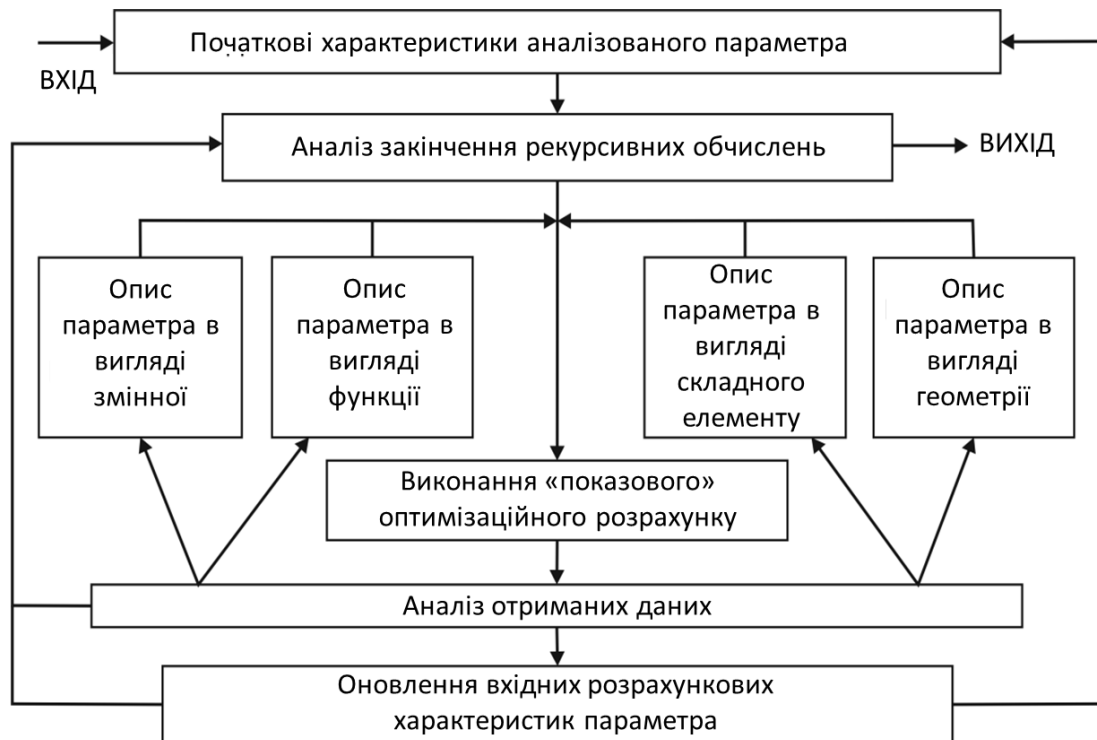


Рисунок 2 – Рекурсивний алгоритм регулювання системи опису окремого параметра геомеханічної системи, реалізованої в рамках методу скінченних елементів

На початковому етапі до системи аналізу передаються характеристики цього параметра, що задані в узагальненому алгоритмі обчислювального експерименту. Далі визначають припустимі границі адекватності даного параметра в рамках розв'язуваної задачі. Потім відбувається запуск процесу рекурсії та відразу відбувається виконання показового розрахунку. Цей розрахунок отримав назву «показового», оскільки при його проведенні виконуються обчислення окремих мікромоделей. В ході подальшого аналізу встановлюється відповідність отриманих результатів фізичному змісту задачі геомеханіки, яку розглядають, тобто визначається адекватність обраного виду конкретного параметра.

Таким чином, запропонований автором методичний підхід у моделюванні завдань управління геомеханічною системою є на даний момент новим. Надана

технологія проведення розрахунків не суперечить уже відомим, а розширює можливості з привнесенням елементів управління в організацію формування розрахункової області.

При визначенні стійкості виробок, що знаходяться в різних гірничо-технологічних умовах, можна виділити шість основних логічних блоків: постановка задачі; обчислювальний експеримент; семантичний аналіз; промислові дослідження, регламентування отриманих результатів і розробка узагальнюючої методики визначення параметрів кріплення. Кожен з цих блоків є структурно закінченою одиницею в межах якої виконуються роботи певного типу.

При побудові моделі й постановці завдання визначається сукупність параметрів досліджуваного об'єкта, вводяться допустимі обмеження та характеристики оптимізації кріпильних й охоронних конструкцій. Умови вже не можуть змінюватися при проведенні подальших робіт і тому є показниками якісного рівня проведених досліджень. На цьому етапі основним інструментом слід вважати інтелектуальні здібності дослідника, які базуються на розумінні фізичних характеристик розглянутих кріпильних і охоронних систем. Безумовно, прийняття рішення в цьому блоці повинні ґрунтуватися на дослідженнях, проведених в рамках даної проблематики.

При проведенні обчислювального експерименту доводиться уточнювати й змінювати розрахункову модель, що розробляється в рамках поставленого завдання. Обрані узагальнені характеристики співвідносяться з конкретними геометричними і механічними показниками розрахункової області, вибирається тип фізичних середовищ і методики їх розрахунку. Потім відбувається безпосередній опис даної системи. Паралельно генеруються всі об'єкти розрахунку – анкера, рама, бут, лита смуга і т.п. Кожний елемент моделюється шляхом пошуку оптимального рішення за сукупністю фактів впливу на фізичне середовище і локального опису розглянутих показників. Уточнена й врівноважена модель розбивається на кінцеві елементи і задача вирішується. Отримувані результати аналізуються на предмет відповідності узагальненим математичним і фізичним законам.

У разі успішного первинного аналізу отриманих результатів розрахунку проводиться їх семантичний аналіз по кожному з елементів відповідно до його типу з метою виявлення особливостей взаємодії різних елементів системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» на стійкість конкретної виїмкової виробки. Отримані дані є основою для комплексного аналізу стійкості виробки, що знаходиться під впливом гірського тиску. Якщо цей аналіз виявляється позитивним подальші роботи переходять в етап промислових досліджень, інакше відбувається повернення до формування обчислювальної моделі в рамках обраної розрахункової постановки завдання.

Шахтні дослідження проводяться для пошуку оптимального рішення в рамках існуючих технологічних компонент в конкретних умовах. Застосо-

вуються два підходи: аналіз запропонованих конфігурацій за доступністю та допустимістю з погляду забезпечення виробничих процесів; проведення шахтного експерименту, в разі неоднозначності висновків зроблених на основі першого підходу. В обох випадках, якщо перебір доступних варіантів технічних рішень не забезпечує досягнення поставленої узагальненої задачі, доводиться повертатися до обчислювального експерименту, умови якого змінюються відповідно до обмежень, що встановлені на етапі шахтних досліджень.

Одним з результатів, отриманих у ході проведення дослідницьких робіт з моделювання елементів кріплення виробки є визначення характеристик комбінованої схеми контакту анкера й шпура. Математично таке співвідношення описується рівнянням

$$K_a = \frac{((\sigma_{zT} - \sigma_z) + (\sigma_{cT} - \sigma_c)) \Delta l}{|E_z - E_c|^{1,62} l}, \quad (4)$$

де σ_{zT} , σ_{cT} – межі текучості полімерного складу і прилеглих до шпурів гірських порід відповідно, МПа; σ_z , σ_c – максимальні значення головних напружень у зоні контакту полімерної суміші і гірської породи відповідно, МПа; E_z , E_c – модулі пружності матеріалу полімерного заповнювача і гірської породи відповідно, МПа; l , Δl – довжина анкера і його відносне подовження під дією навантаження, м.

Кінцевим результатом досліджень є створення методики розрахунку технологічних показників систем кріплення та охорони виїмкових виробок при їх повторному використанні. Основною концепцією даної методики є забезпечення умов повторного використання виробок ресурсозберігаючими технологіями, заснованими на сучасних методах управління проявами гірничого тиску і залучення породного масиву в протидію геомеханічних процесів, що супроводжують очисні роботи. Реалізація принципів ресурсозбереження здійснюється за двома напрямками – зміцнення приконтурних порід системами анкерів із створенням армопородних грузонесучих конструкцій та управлінням опорним тиском в боках виробки охоронними системами змінної жорсткості.

У третьому розділі вперше були виконані дослідження з визначення ефективності управління напружено-деформованим станом приконтурного породного масиву в різних комбінаціях взаємодії рамного і анкерного кріплення при переході порід у граничний стан.

При великих розмірах деформації контуру виробки моделювання рамного кріплення КШПУ необхідно виконувати з урахуванням існуючої податливості замків. Геометрично модельований замок являє собою фрагмент з поперечним перерізом рами, який додають у модель за місцем його розташування та податливістю. Враховується довжина за поперечною віссю перетину. Таки чином,

забезпечується максимальна величина податливості модельованого рамного кріплення до 400 мм.

Для модуля пружності моделі замку вводиться поправочний коефіцієнт $E^{low} = \sqrt{2}E/2$. Коефіцієнт Пуассона для даного матеріалу задається 0,49.

Межа текучості в моделі замку податливості визначається таким чином, щоб при усереднених нормальних напруженнях, спрямованих перпендикулярно поперечному перерізу профілю рами при навантаженні на раму 80 % від її несучої здатності та з урахуванням при обліку взаємного впливу елементів конструкції кріплення, матеріал моделі переходив у стан ідеальної пластичності й забезпечував податливість.

Ця умова визначається за формулою:

$$\sigma_T^{low} = \frac{P_{max}}{2F} \left(0,8 \sin \alpha + \frac{\sqrt{2}}{2} \cos \alpha \right), \quad (5)$$

де F – площа поперечного перерізу профілю, м²; α – кут розташування центру замку відносно до вертикальної осі виробки, град.

Для досліджуваної виїмкової виробки приймемо $P_{max} = 490$ кН, $\alpha \approx 44^\circ$ згідно з технічною документацією, та за даними довідника для СВП-27 – $F = 34,37 \cdot 10^{14}$ м². Відповідно до формули (5) отримано необхідне значення межі текучості матеріалу моделі замку $\sigma_T^{low} = 70,5$ МПа, яке закладається в розрахунок.

В результаті попередніх розрахунків системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» для умов блоку № 10 шахти «Красноармійська – Західна № 1» були виявлені наступні особливості НДС. У покрівлі та підшві виробки чітко простежуються зони розвантаження й зона підвищеного гірничого тиску в боках, що цілком узгоджується з існуючими положеннями механіки підземних споруд. В зоні підвищеного гірничого тиску в боках виробки є області, де вертикальні напруження σ_y досягають межі міцності на стиск вугілля і алевроліту, що залягає в безпосередній покрівлі пласта d_4 . Утворюються локальні області граничного стану алевроліту, що створюють підвищений бічний тиск на стійки рами і призводять до їх вигину з утворенням пластичних зон в самій стійці (підтверджено натурними спостереженнями). В підшві виробки зона розвантаження більша, оскільки в ній знаходиться потужний шар пісковика, що стримує прояви гірничого тиску.

Розподіл розтягувальних напружень σ_y по довжині анкерів виглядає наступним чином: найбільш навантаженими є ділянки які примикають до устя і дна шпуру; середня ділянка довжини анкера розвантажена. Така поведінка анкера, що закріплюється по всій довжині шпуру, описана в часописах багатьма авторами, що дослі-

джували ці процеси. Отже, отриманий результат узгоджується з існуючими уявленнями про механізм анкерного зміцнення порід.

На підставі даного механізму із застосуванням багатопараметричної рекурсивної нелінійної моделі був розроблений показник ефективності роботи анкера W_a . Це дозволяє виконати оцінку ефективності роботи анкера із зростанням величини гірничого тиску (рис. 3). Дана оцінка полягає в отриманні співвідношення між наведеними значеннями інтенсивності напружень у точках розрахункової моделі без моделювання анкерів і відповідними точками в анкерах основної розрахункової моделі.

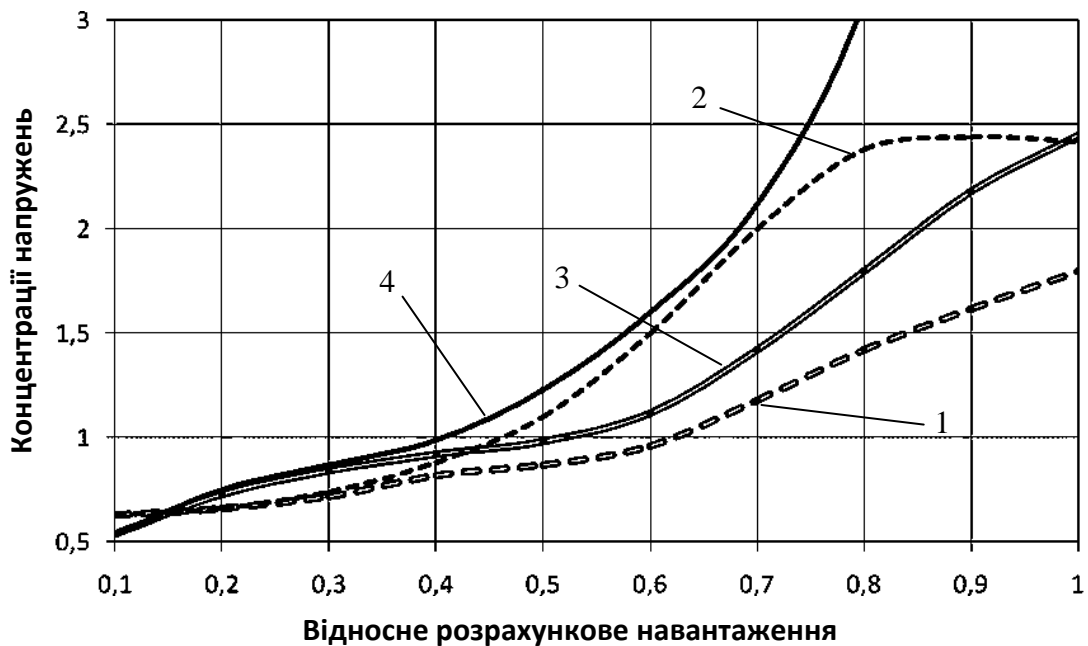


Рисунок 3 – Залежність зміни концентрації напружень в обраних точках моделі від збільшення навантаження при проведенні пружно-пластичного розрахунку: 1 і 2 – зліва і справа в боках виробки в моделі без анкерів, відповідно; 3 і 4 – в крайньому лівому і правому анкерах основної моделі

Аналізуючи зображені на рис. 3 графіки можна зробити висновки, що анкер, встановлений з боку незруйнованого масиву, починає активно чинити опір гірничому тиску при досягненні значень γH у межах 14 – 16 МПа. У той час як анкер, встановлений з боку обваленого породного масиву, починає сприймати навантаження з 12,3 МПа і при цьому підвищує поріг переходу гірських порід в граничний стан у зоні своєї установки. Для систематизації даного аналізу опишемо ефективність роботи анкера W_a рівнянням

$$W_a = \frac{P_{max}}{P_{max}^a}, \quad (6)$$

де P_{max} – максимум концентрації напружень у зоні установлення анкера (мо-

дель без анкерів); P_{max}^a – максимум концентрації напружень у моделі анкера (основна розрахункова модель).

При значеннях W_a , які знаходяться в діапазоні від 0 і до 0,4 анкера можна не ставити; від 0,41 до 1,2 – анкер забезпечує підвищення несучої здатності приконтурного гірського масиву; а при значеннях вище – анкер стає основним компонентом підтримки стійкості блоку порід, що примикають до шпуру.

Однак аналіз, який виконується тільки в одній вибраній точці, може призвести до неправильної оцінки ефективності роботи анкера. Така проблема вирішується введенням інтегрального підходу в аналізі при отриманні значення W_a^{eq} , як усередненого показника в кількох розрахункових точках обчислювальної моделі, тобто

$$W_a^{eq} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{max} / P_{max}^a)_i}{n}, \quad (7)$$

де n – число розрахункових точок, обраних для аналізу та порівняння результатів розрахунку тестової і основної розрахункових моделей.

Вирази (6) і (7) забезпечують можливість оцінки ефективності установки окремого анкера в певний момент часу без урахування розвитку деформаційного стану приконтурного гірського масиву. При вирішенні задач геомеханіки з урахуванням великої кількості нелінійних характеристик такий показник не можна приймати як єдиний критерій ефективності розташування анкера.

Комплексний аналіз епюр напружень і графіків показав, що існує яскраво виражена функціональна залежність зміни величини концентрації напружень від місця розташування анкерів. Порівнявши пари графіків 1–3 і 2–4 рис. 3, побачимо якісні відмінності в зміні стану системи «гірський масив – анкер», які виникають із зростанням величини напружень навколо контуру виїмкових виробок.

Для реалізації опису отриманих особливостей сукупності кривих, спроектованих на площину «концентрація напружень – відносне навантаження», було виведено рівняння

$$P = d_1^{1,82} \tan\left(\frac{\gamma H}{\gamma H_{max}}\right) - \frac{\gamma H}{\gamma H_{max}} \cos\left(d_2 \pi \frac{\gamma H}{\gamma H_{max}}\right), \quad (8)$$

де $d_1 \in (3...10)$ – перша «домінуюча» характеристика, що являє собою коефіцієнт структурної жорсткості моделі породного масиву з розрахунку середньозваженого кута зростання максимуму напружень відносно питомого збільшення прикладеного навантаження; $d_2 \in (1...2)$ – друга «керуюча» характеристика, яка використовується для опису стану гірського масиву до і після межі текучості породи.

Для розглянутих умов моделювання всі отримані графіки відповідають значенням «домінуючого» параметра $d_1 \geq 4,8$, а при $d_2 > 1,32$ – установка конкретного анкера забезпечує найбільшу ефективність при збереженні суцільності приконтурного гірського масиву. У цьому випадку всі криві, описані з використанням (8), задовольняють вищенаведені умови і вказують на анкери, розташування яких є найбільш оптимальним, отриманим у межах застосування багатопараметричної рекурсивної нелінійної моделі проведення обчислювальних експериментів.

Таким чином, виконання узагальненого аналізу очікуваної ефективності встановлення анкерів у різних гірничо-геологічних умовах при проведенні обчислювального експерименту зі стійкості повторно використовуваної гірничої виробки на підставі принципів, закладених у багатопараметричну рекурсивну нелінійну модель, забезпечує отримання найбільш стійкої схеми кріплення в геомеханічній системі.

У четвертому розділі виконано аналіз конструктивної ефективності кріплення виїмкової виробки, яка використовується повторно, пройденої в тріщинуватому породному масиві в умовах високої ймовірності вивалотворення.

Раніше при розгляді параметрів геомеханічної системи використовувалась єдина платформа фізичного опису, а її вибір ґрунтувався на бінарній логіці поведінки окремої характеристики. При описі тріщинуватості відбувається визначення конфігурації моделювання на основі сукупності факторів, пов'язаних послідовно або ієрархічно.

Під час проведення розрахунків було показано, що кожна система тріщин робить різний внесок у розвиток деформацій породних шарів. Якщо довші тріщини, завдяки їх орієнтації формують навколо своїх вершин зони підвищених розтягувальних деформацій, то короткі тріщини являють собою фактор ослаблення поперечного перерізу виробки.

Як показник стану окремої тріщини, був обраний енергетичний інваріантний інтеграл Черепанова – Райса. Даний інтеграл подамо в вигляді:

$$J = \frac{1}{t} \frac{\partial}{\partial l} \int_0^P \nu dP = \frac{1}{t} \int_0^P \frac{\partial \nu}{\partial l} \Big|_P dP,$$

де P – навантаження, що прикладається до розрахункової області, МПа; ν – одержувані переміщення, м; t – довжина тріщини поперек в її вершині, м; l – довжина тріщини від устя до вершини, м.

Даний вираз отриманий з урахуванням зниження потенційної енергії досліджуваного обсягу породного блоку внаслідок розвитку тріщини. Це означає, що замість звичайного поправочного коефіцієнта можна для кожного окремого кінцевого елемента змінювати його характеристики міцності, зва-

жаючи на величину напружень.

У реальних умовах слід розглядати сукупність тріщин з подібними параметрами, розкид яких необхідно враховувати в математичному описі конкретної системи тріщин.

Для початку варто визначити усереднений параметр тріщин у системі. Це найпростіше виконати із застосуванням математичної статистики. Тому запишемо формулу енергетичного інваріантного інтегралу Черепанова – Райса з урахуванням середнього арифметичного параметрів тріщин в обраному обсязі гірської породи

$$J = \frac{\bar{X}}{ntS} \int_0^P \frac{\partial v}{\partial l} \Big|_P dP, \quad (9)$$

де $S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)}$ – стандартне відхилення в розмірах тріщин для

обраної системи; X_i – показники лінійних розмірів тріщин в обраному одиничному об'ємі породи; \bar{X} – середнє арифметичне величини тріщин в обраному обсязі породи; n – число тріщин на одиницю довжини обраного зразка породи.

Оціночні розрахунки, виконані при проведенні обчислювальних експериментів, показали, що такий опис тріщинуватості має суто нелінійний характер і значні відмінності в рівні впливу на деформаційні характеристики різних порід.

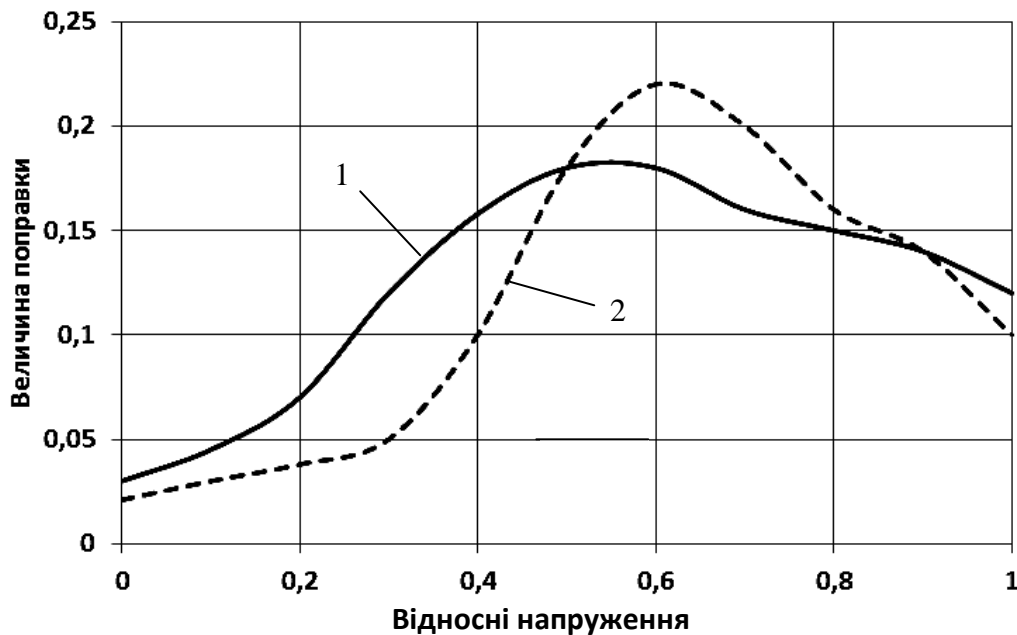


Рисунок 4 – Залежність величини поправок міцності порід від зростання відносних напружень: 1– аргіліт; 2 – пісковик

На початку зростання напружень (рис. 4) рівень впливу аналізованого па-

раметра має лінійний характер і незначно різниться за абсолютною величиною. Потім настає активна фаза впливу системи тріщин на механічні характеристики порід.

Таким чином, вплив розглянутого параметра тріщинуватості на породи з різними механічними характеристиками має схожу трифазну структуру. Наявність цих фаз добре узгоджується з самою природою розвитку тріщин у породному масиві.

Розглядається вплив густоти тріщин на розподіл напружень у розрахунковій області (рис. 5). Зі збільшенням кількості тріщин вплив тріщинуватості зростає, а кривизна графіка зменшується.

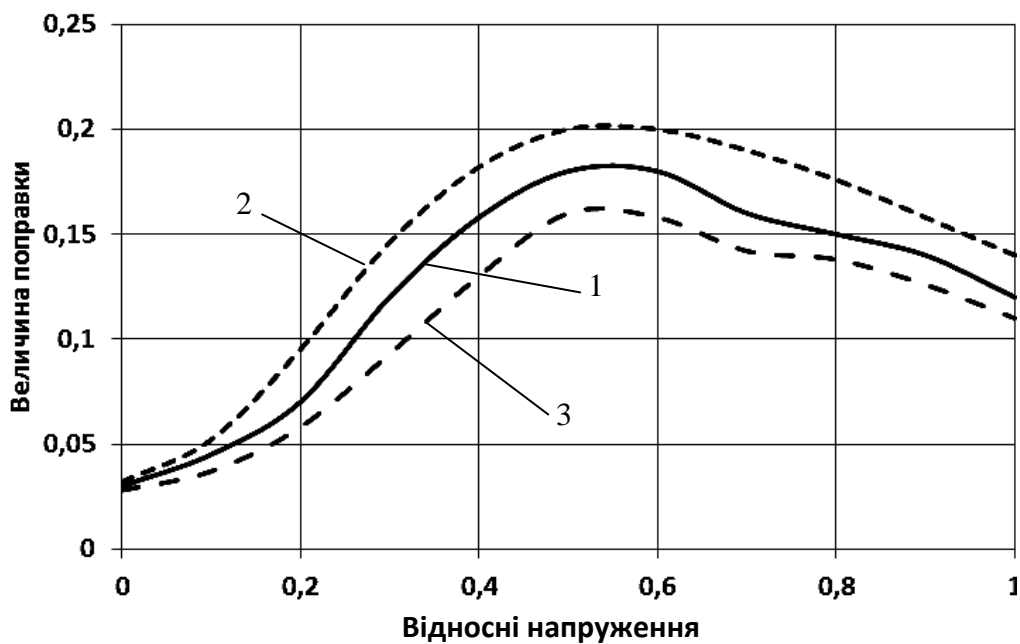


Рисунок 5 – Залежність зміни поправочних коефіцієнтів на характеристики міцності породи при різній густоті тріщин із зростанням напружень: 1 – при 15 тріщинах на 0,1 м; 2 – при 20 тріщинах на 0,1 м; 3 – при 5 тріщинах на 0,1 м

Таким чином, чим менше число тріщин, тим складніше характер їх впливу на розподіл напружень. З цього випливає, що із зростанням кількості тріщин у питомому обсязі їх можна описувати у вигляді простого параметра, а зі зменшенням їх кількості слід переходити на макромодельовання.

Для забезпечення можливості обліку тріщинуватості, як нелінійної характеристики гірської породи, необхідно розглядати розрахункову область обчислювального експерименту у вигляді тривимірного об'єкта. В ньому будь-яка система тріщин може бути орієнтована як уздовж однієї з осей системи координат розрахункової області, так і під кутом до неї.

Виконані дослідження показали, що початок обвалення порід покрівлі у виїмковій виробці (вивалоутворення) відбувається безпосередньо в закріпному просторі й триває до моменту укладання клітей. У цьому випадку найбільш

технологічним і економічно виправданим виходом є зміна форми рамного кріплення шляхом заміни циркульної форми зводу рами (КМП-А3) на форму «зводу максимально наближеного до еліпса» (кріплення КМП тип АЗР2) або на загострену форму кріплення опуклого трикутника КВТ-2 з великим відношенням її висоти до ширини.

Опис тріщинуватості в розрахунках, що має такий вигляд, дозволяє відкоригувати первинно запропоноване технологічне рішення і забезпечує зниження матеріаломісткості кріплення до 9 % завдяки підвищенню його стійкості за рахунок зниження максимальних напружень у гірському масиві на 14 %.

У п'ятому розділі розглянуто реалізацію управління зміною стану виїмкових виробок при проході очисного вибою з урахуванням реологічних властивостей породного масиву й особливостей побудови кріплення та охоронних конструкцій у складних гірничо-геологічних умовах.

Основою розрахункової моделі в даному обчислювальному експерименті були обрані найбільш складні, з точки зору структури породного масиву, умови опису розрахункової області, що враховують високу обводненість порід. Моделювалося сполучення виїмкової виробки та очисного вибою з механізованим кріпленням після обвалення безпосередньої покрівлі.

Розрахунок проводився у двокроковій постановці. На першому кроці вирішувалося «миттєве» пружно-пластичне завдання, на другому – на підставі отриманого напружено-деформованого стану першого кроку, проводилися обчислення вже з урахуванням певних експериментально одержаних реологічних кривих. Отримані дані за своєю структурою добре узгоджуються з другою моделлю текучості матеріалу програми ANSYS Time Hardening, яку описує такий вираз

$$\dot{\varepsilon} = C_1 \sigma^{C_2} t^{C_3},$$

де $\dot{\varepsilon}$ – еквівалентні пластичні деформації; C_1, C_2, C_3 – коефіцієнти, які експериментально визначаються та показують зміну напружено-деформованого стану системи залежно від характеристик матеріалу; σ – значення еквівалентних напружень, МПа; t – поточний розрахунковий час, с.

Порівняння остаточних результатів пружно-пластичного розрахунку і розрахунку з урахуванням фактору часу відразу дозволяє зробити висновок про якісні та кількісні зміни у НДС породного масиву. У другому випадку напруження сконцентровані в породному шарі, що підтримує основний звід очисного вибою і в боці виробки, тобто з часом відбувається розвантаження гірського масиву. Через 100 діб створюються умови, що спричиняють руйнування чергового породного шару в покрівлі очисного вибою. При цьому зона підвищеного гірського тиску перед лавою повністю зникає, а напруження у виїмковій виробці позаду лави починають спадати до 8 – 12 МПа.

Отже, у наведених гірничо-технологічних умовах розрахунок реологічних

характеристик порід у результаті проведення обчислювального експерименту дозволяє отримати картину зміни НДС геомеханічної системи, що максимально відповідає сучасним уявленням про формування та зміну зон підвищеного гірського тиску в породному масиві, який прилягає до очисного вибою.

Тепер розглянемо зміну максимуму вертикальних напружень σ_y на всьому часовому інтервалі розрахунку (рис. 6). Як видно, на інтервалі до десяти

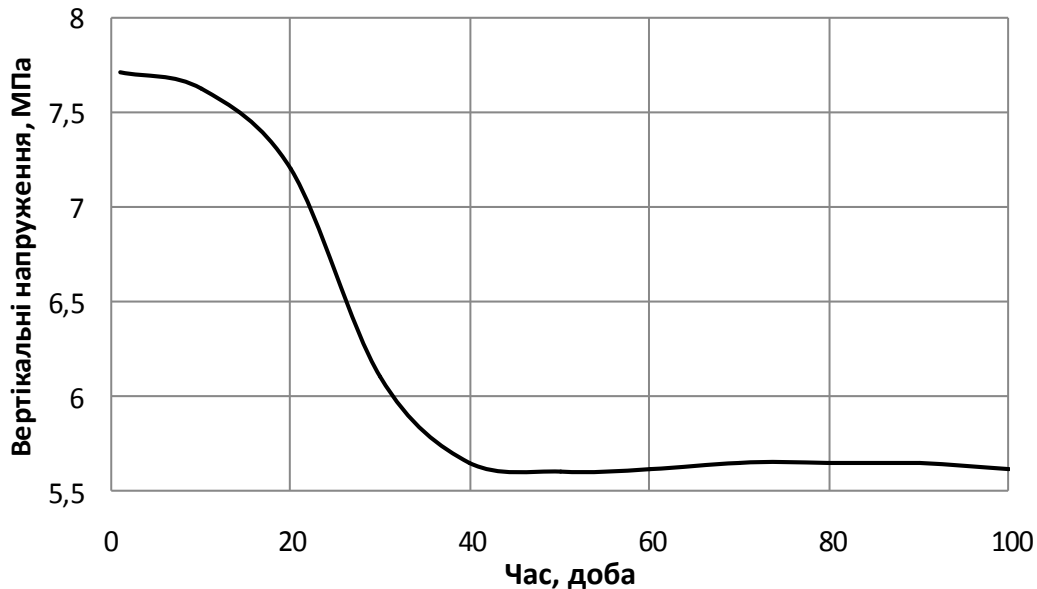


Рисунок 6 – Залежність максимуму вертикальних напружень у моделі сполучення виїмкової виробки та очисного вибою з урахуванням часу при двокроковому шаговому розрахунку

днів максимум напружень σ_y залишався практично незмінним (в межах лінійного відхилення на 1...2 %, отриманий за результатом розрахунку пружно-пластичної моделі). Потім починається стрімке падіння напружень, яке досягає величини в 38 % і, починаючи з 38-ї доби, напруження знову стабілізуються і вже значно не змінюються до кінця розрахунку. Це говорить про те, що обраний часовий інтервал повністю включає в себе всі основні фази поведінки реологічного середовища. А значить, отримане рішення є повним у сенсі фізико-математичного опису поведінки порід як механічного середовища.

Переміщення в породах покрівлі очисної виробки в основному викликані втискуванням стійок механізованого кріплення на глибину до 0,26 м, при цьому породні шари, які зависають над виробкою починають деформуватися не узгоджено. Це обумовлюється різними значеннями сім'ї коефіцієнтів C_1, C_2, C_3 для більш міцного пісковика і слабкого алевроліту, за рахунок чого реологічні криві алевроліту мають більш пологий вигляд з більшими, ніж у пісковика, абсолютними значеннями в часі (рис. 7).

З часом зростання деформації пісковика виявляється значно меншим, а зміни в прилеглих до нього породних шарах алевроліту значно різняться. Чим

ближче до порід основної покрівлі розташовується шар алевроліту, тим значніше зростання деформацій з часом: графік 1 – максимум 0,25 м; графік 2 – 0,49.

Розглядаючи графіки (рис. 7), можна виділити три характерних зони зміни НДС породного масиву. Перша – характеризується поведінкою гірського масиву як механічного середовища, близького за властивостями до пружно-пластичного матеріалу. Верхня межа цієї зони перебуває в районі 17 – 20 розрахункової доби. Після цього відбувається часткове руйнування вміщувальних гірських порід, яка супроводжується зростанням деформацій. Цей процес гальмується в районі 63 – 70 доби. Потім настає стабілізація, порушення якої може супроводжуватися обваленням наступного породного шару в покрівлі.

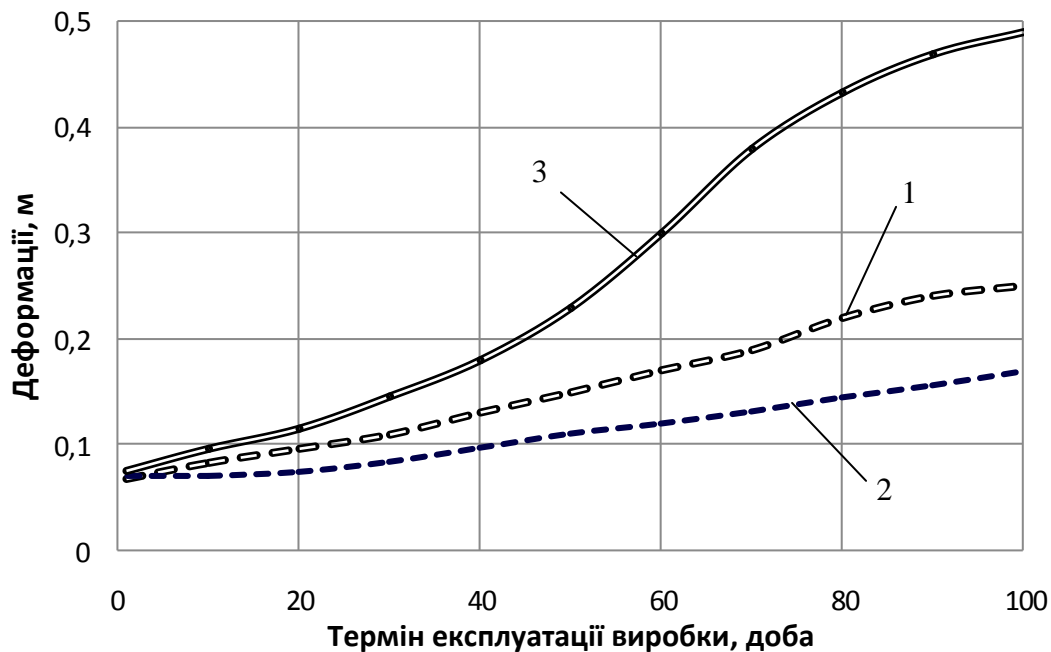


Рисунок 7 – Залежність зростання деформацій від часу при розрахунку з урахуванням реології в шарах основної покрівлі очисної виробки: 1 – алевроліт; 2 – пісковик; 3 – алевроліт «верхній»

Аналіз вищевикладених даних дозволяє знайти значення оптимальних швидкостей посування очисного вибою залежно від структури і механічних характеристик вуглевмісного породного масиву. У цьому сенсі умовою, за якої настає обвалення чергового породного шару в безпосередній покрівлі очисного вибою, є наявність піку взаємного впливу функції вертикальних напружень і показника зміни цих напружень у поточному породному шарі. Це створює умову для формування магістральних тріщин, які збільшуються в результаті розшарування породного масиву по площинах нашарування, що призводить до втрати суцільності породного масиву й утворення окремих блоків.

Отже, швидкість посування очисного вибою повинна забезпечити такий технологічний інтервал, при якому породи безпосередньої покрівлі очисної виробки в області сполучення з виїмковою виробкою залишаються стійкими

безпосередньо за лавою. Вони здатні сприймати навантаження без руйнування і не піддаються підвищеним вертикальним напруженням з іншого.

У ході проведених досліджень був отриманий вираз, який дозволяє визначити прийнятну швидкість посування очисного вибою

$$V = 2,17 \frac{L_{max}}{T_l}, \quad (10)$$

де L_{max} – відстань між площиною очисного вибою і максимумом «хвилі» вертикальних напружень, що виникають уздовж виїмкових виробок, м; T_l – часовий інтервал, який відповідає першому стабільному відрізку значень максимуму напружень, доба (рис. 7).

Для розглянутого рішення задачі з визначення оптимальних показників стійкості сполучення виїмкової і очисної виробок швидкість посування повинна становити не менше 5 м на добу.

Одним із способів забезпечення стійкості виїмкових виробок є використання гумоповітряного армованого кріплення (ГПАК). Висока швидкість зведення і невимогливість щодо дотримання точної форми контуру виробки – це основна перевага даного типу кріплення. Застосування байонетного замка дозволяє об'єднувати модулі ГПАК швидко і з дотриманням високої якості контакту.

Завдяки конструктивним особливостям кріплення розподіл зовнішнього навантаження відбувається не тільки за поперечним перерізом виробки, а й уздовж неї. Це в ряді порушень цілісності гірського масиву на контурі виробки дозволяє знизити концентрацію зусиль на одному елементі кріплення шляхом розподілу внутрішніх напружень по всьому силовому каркасу ГПАК.

Фізично ГПАК являє собою армований металевий решіткою гумовий блок надалі – модуль. Логічно модуль складається з двох частин. Перша частина забезпечує конструктивну жорсткість кріплення та обмін зусиллями між сусідніми модулями, друга – податливість і стійкий контакт кріплення з поверхнею виробки. Це забезпечує рівномірний розподіл навантаження в межах геомеханічної системи, яка знаходиться поза та під впливом зони підвищеного гірського тиску.

У шостому розділі наведено результати порівняльного аналізу зміни форми контуру модельованої виробки та її аналога, досліджуваного при проведенні шахтних спостережень.

Визначення напруженого стану анкерів, установлених у покрівлі та боках виробки відповідно до запропонованого паспорта кріплення, проводилося на трьох замірних постах, дискретно за часом і відповідно до положення площини очисного вибою відносно поперечного перерізу виробки, в якому встановлені анкери. Результати порівняння розрахункових та усереднених замірних величин

максимальних наведених напружень σ , що виникають в обраних анкерах, подані на рис. 8.

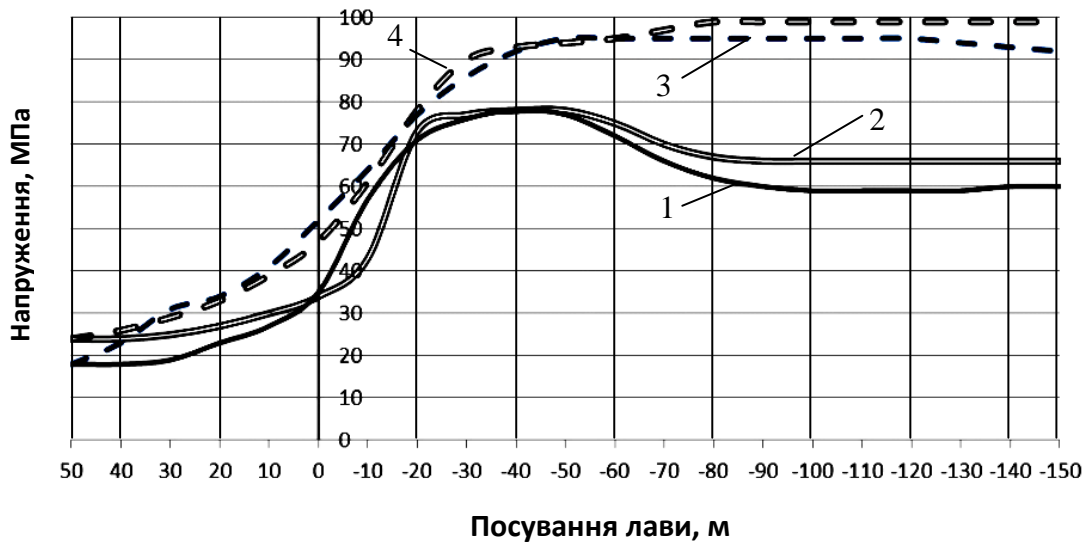


Рисунок 8 – Залежність зміни напруженого стану анкерів під час посування лави: 1 і 2 – натурні й розрахункові значення напружень відповідно для третього від центрального анкера в сторону очисної виробки; 3 і 4 – натурні й розрахункові значення напружень відповідно для третього від центрального анкера в бік недоторканого масиву

Графіки (рис. 9) встановленого анкера і його моделі в обох випадках мають схожий характер зміни максимумів напружень, тобто якісно збігаються. Відхилення абсолютних значень напружень для анкера, встановленого з боку недоторканого породного масиву, не перевищують 12 %, а для анкера, що розміщується з боку очисної виробки, а максимальні відхилення не перевищують 30 % у вузькому діапазоні. Під час проведення досліджень з визначення зміни контуру виробки були встановлені шість «опорних» анкерів. Вони були розподілені наступним чином: два – в підшві виробки на однаковій відстані від осі її вертикальної симетрії; ще два – симетрично один одному нижче 0,1 м нижньої межі вузла податливості кріплення КШПУ і ще два – також симетрично, але вище вузла податливості на 0,8 м по контуру виробки.

Результати натурних спостережень відносно зростання вертикальних деформацій контуру виробки в порівнянні з результатами розрахунку, які наведені на рис. 9, мають найбільшу розбіжність, що дорівнює 89 мм на відрізку посування лави між 25 – 50 м. При цьому з відходом лави від замірної станції значення вертикальних зміщень наближаються до розрахункових і на відстані близько – 150 м становлять менше розрахункових. В цілому зростання вертикальних переміщень у повторно використовуваній виробці виявляється вище розрахункових у початковий момент проходження зони підвищеного гірського тиску і починає швидко знижуватися зі збільшенням відстані до неї.

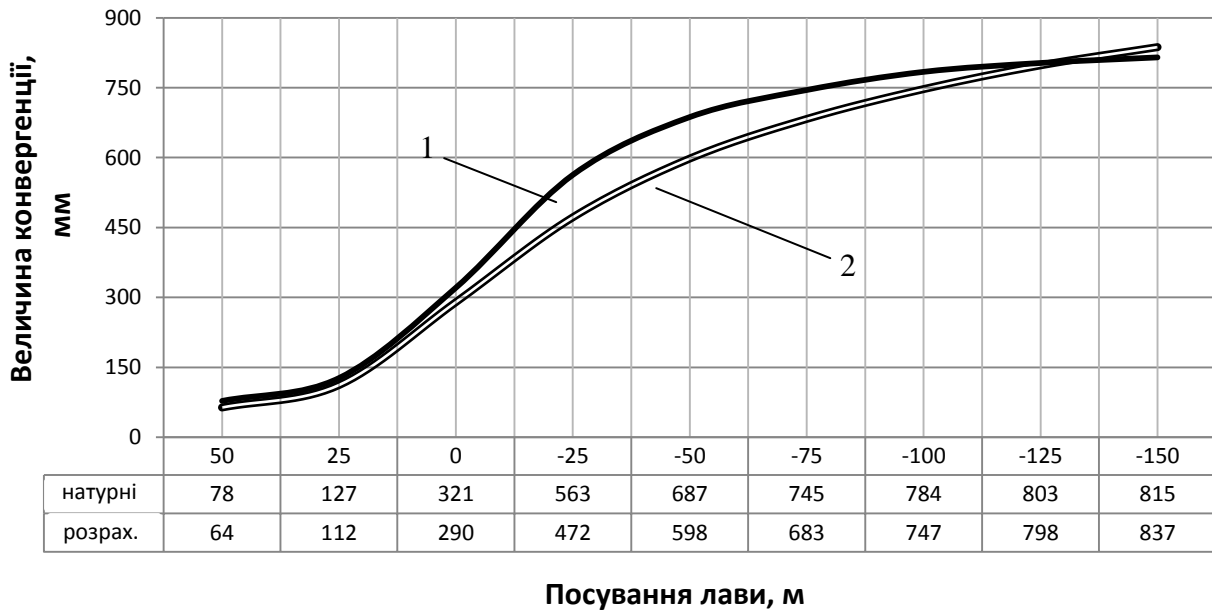


Рисунок 9 – Залежність конвергенції порід підоснови та покрівлі повторно використовуваній виробці від посування лави: 1 – натурні; 2 – розрахункові

Таким чином, можна стверджувати, що розрахункова модель, забезпечивши в середньому показники з відхиленням приблизно 7 % порівняно з натурними даними не повністю враховує структуру взаємодії елементів кріплення і породного масиву, але з введенням в розрахунок описів охоронної конструкції ця особливість розрахункової моделі нівелюється. В цілому виконаний аналіз порівняння отриманих результатів з кількох замірних станцій дозволяє встановити задовільну якість виконаного обчислювального експерименту при реалізації завдань управління геомеханічними системами у складних гірничо-геологічних умовах.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна нова науково-технічна проблема із створення наукових основ управління станом геомеханічних систем повторно використовуваних виїмкових виробок із застосуванням рекурсивних методів для визначення закономірностей взаємного впливу різнотипних показників напружено-деформованого стану системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції», що є важливим для подальшого розвитку ресурсозберігаючих технологій видобування вугілля на шахтах України.

Основні наукові та практичні результати, висновки та рекомендації роботи полягають у наступному:

1. На підґрунті виконаного аналізу сформульована нова науково-технічна проблема з підвищення стійкості виїмкових виробок, що використовуються по-

вторно, з урахуванням методів обчислювального експерименту при вирішенні завдань геомеханіки з управління станом геомеханічних систем, що дає можливість адекватно оцінювати ефективність технічних рішень при підземному видобутку вугілля на шахтах України.

2. Розроблено багатопараметричну рекурсивну нелінійну модель, що дозволяє визначити критично важливі параметри опису породного масиву, елементів кріплення та охоронних конструкцій з урахуванням процесів їх взаємодії в геомеханічній системі при підземній розробці вугілля. На підставі цієї методики реалізована керуюча структура проведення наукових досліджень при обґрунтуванні технологічних рішень з підтримки й охорони виробок, що використовуються повторно.

3. Реалізована база опису конструктивних елементів кріплення, що використовується при проведенні розрахунків у рамках різних типів завдань управління геомеханічною системою. Це дозволяє оптимізувати процес управління проведенням обчислювальних експериментів шляхом рекурсивного аналізу ступеня ефективності прийнятих технологічних рішень і обґрунтовувати їх прийнятність у межах мінімального обсягу проведених натурних досліджень відносно стійкості гірничих виробок.

4. Розроблено гумоповітряне армоване кріплення, в якому реалізовано технологію проектування елементів підтримки виїмкових виробок на основі моделей геомеханічних систем, створених для вирішення прикладних завдань підземної розробки вугільних родовищ. Завдяки цьому кріпленню можна забезпечити підвищення стійкості виїмкової виробки, що пройдена в слабких породах дрібношаруватого гірського масиву при складних геологічних умовах.

5. Розроблено методику визначення оптимальних параметрів моделювання елементів геомеханічної системи при реалізації обчислювальних експериментів дослідження взаємодії гірського масиву, кріплення та охоронних конструкцій. Визначено граничний показник оптимального розташування і довжини анкера на основі тригонометричної степеневої залежності внутрішніх зусиль анкерів від гірського тиску, що дозволяє на етапі проектування оптимізувати характеристики анкерного кріплення шляхом оцінки стійкості контуру повторно використовуваної виробки у всьому часовому діапазоні її експлуатації поза і в зоні впливу підвищеного гірського тиску.

6. Встановлено, що в слабких породах підвищення стійкості повторно використовуваної виїмкової виробки з рамно-анкерним кріпленням досягається зміною розташування охоронних конструкцій, завдяки чому зменшується розмір профілю рами, що забезпечує зниження металомісткості рамного кріплення за рахунок перерозподілу навантаження між кріпленням й охоронними конструкціями.

7. Розроблено модель залежності енергетичних, геометричних і статистичних характеристик тріщинуватості породного масиву та його залишкової

міцності, що дозволяє підвищити точність обчислювальних експериментів на 20 – 25 % при прийнятті проектних технологічних рішень з кріплення й охоронних конструкцій визначено вплив перерозподілу напружень за межею міцності на формування зон вивалоутворення, що надало можливість обирати оптимальні геометричні й механічні показники виробки та її кріплення при управлінні геомеханічною системою.

8. Встановлено залежність між координатами розташування максимуму вертикальних напружень, зміною його величини та характеристиками зони підвищеного гірського тиску. Розроблено двокомпонентний критерій, що дає можливість визначати оптимальну швидкість посування та час зупинок очисного вибою для умов дрібношаруватого масиву, а також дозволяє мінімізувати вплив зони підвищеного гірського тиску на конструктивні елементи рамно-анкерного кріплення виїмкових виробок і механізованого кріплення очисної виробки. Стійкість виробки забезпечується шляхом зниження ресурсомісткості з підтримки й охорони повторно використовуваної виробки.

9. Розроблено рекомендації щодо зниження металомісткості рамного кріплення шляхом перерозподілу навантаження між кріпленням й охоронними конструкціями, визначення швидкості посування й часу зупинок очисного вибою вздовж виїмкової виробки та проектування й установа рамно-анкерного кріплення повторно використовуваних виїмкових виробок, які враховують фізичні й статистичні характеристики тріщинуватості породного масиву.

10. Розроблено і впроваджено на шахтах України технологічний регламент кріплення та охорони виїмкових виробок на пологих пластах, завдяки якому реалізовані оптимізаційні схеми підвищення стійкості геомеханічних систем у складних гірничо-геологічних умовах на основі проектування й встановлення рамно-анкерного кріплення, що забезпечило зниження ресурсомісткості. Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів дослідження на шахтах України складає понад 12 млн грн на рік.

Перелік наукових праць, у яких опубліковані наукові результати:

1. Фомичев В.В. Экспериментальные исследования устойчивости повторно используемых выемочных выработок на пологих пластах Донбасса / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович и др. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2012. – 426 с.

2. Фомичев В.В. Прогноз перемещений контура пластовой выработки в слоистом массиве слабых пород / В.И. Бондаренко, М.А. Ильяшов, И.А. Ковалевская и др. – Днепропетровск: Системные технологии, 2008. – 194 с.

3. Фомичев В.В. Геомеханика взаимодействия рамной и анкерной крепей в единой грузонесущей системе / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Ю.Я. Чередниченко и др. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2010. – 174 с.

4. Фомичев В.В. Методы расчета перемещений и упрочнения приконтурных пород горных выработок шахт Западного Донбасса / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симановичи др. – Днепропетровск: Дріант, 2010. – 328 с.
5. Фомичев В.В. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, и др. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2012. – 236 с.
6. Фомичев В.В. Аналитико-экспериментальные исследования устойчивости выемочных выработок и расчет параметров крепежной системы / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович и др. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2013. – 178 с.
7. Фомичев В.В. Обоснование и исследование пространственной геомеханической модели сдвижения вокруг пластовой выработки тонкослоистого массива слабых пород / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, В.В. Фомичев и др. // Вісті Донецького гірничого інституту, 2009.– № 1. – С. 183–190.
8. Фомичев В.В. Методология и результаты компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния системы «слоистый массив – крепь» подготовительной выработки / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, В.В. Фомичев // Горный журнал. – Москва: Руда и Металлы. – 2010. – С. 62–66. Спец. вып.
9. Фомичев В.В. Вплив характеристик шаруватості та кута падіння гірничого масиву на результати обчислювальних експериментів по стійкості виїмкових виробок / І.А. Ковалевська, В.В. Фомичев, А.І. Скитенко та ін. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – № 3. – С. 31–35.
10. Фомичев В.В. Анализ достоверности получаемых результатов вычислительных экспериментов при прогнозе перемещений контура подготовительных выработок / В.В. Фомичев, А.И. Скитенко // Збірник наукових праць НГУ. – Днепропетровск, 2012. – № 37. – С. 30–39.
11. Fomychov V. Determination of optimal use of hydromechanical method of coal mining using plane in various geological-mining conditions / A. Krowiak, V.Fomychov // Mining & Environment. – Katowice: Central mining institute, 2012. – № 4. – С. 87–96.
12. Фомичев В.В. Закономерности влияния геотехнологических характеристик крепи и пород горного массива на устойчивость выемочной выработки в зоне разгрузки / В.В. Фомичев, В.Ю. Медяник, В.О. Соцков и др. // Збірник наукових праць НГУ. – Днепропетровск, 2013. – № 42.– С. 95–101.
13. Фомичев В.В. Определение зон повышенных напряжений, влияющих на устойчивость демонтажной камеры в зоне очистных работ / Г.А. Симанович, В.В. Фомичев, В.А. Соцков // Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – 2014. – Вип. 114. – С. 113–124.

14. Фомичов В.В. Дослідження впливу опорних елементів кріплення на стан порід підосви підготовчої виробки / В.В. Фомичов, В.М. Почепов, О.Р. Мамайкін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008. – № 8. – С. 47–50.

15. Фомичов В.В. Інформаційна модель шахти – особливості проектування та основні критерії реалізації / В.В. Фомичов, В.М. Почепов, Л.Я. Фомичова // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008. – № 11. – С. 37–40.

16. Фомичов В.В. Особливості впливу умов контакту елементів геомеханічної моделі «шаруватий масив – кріплення виробки» на результати обчислювального експерименту / В.І. Бондаренко, В.М. Почепов, В.В. Фомичов, та ін. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008. – № 12. – С. 24–26.

17. Фомичев В.В. Исследование взаимодействия НДС вмещающих пластовую выработку слабых пород с их деформационными характеристиками / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, В.В. Фомичев и др. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2010. – № 1. – С. 26–29.

18. Фомичов В.В. Принципи розробки інформаційної системи шахти, яка враховує геомеханічний стан гірського масиву / В.В. Фомичов, В.О. Соцков // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2010. – № 3. – С. 20–22.

19. Фомичов В.В. Керування технологічними процесами шахти в аварійних ситуаціях інформаційною системою, яка оснований на контролі стану гірського масиву / В.В. Фомичов, В.О. Соцков // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2010. – № 4. – С. 48–50.

20. Фомичов В.В. Математичні методи моделювання взаємодії кріплення та гірського масиву при вирішенні задач геомеханіки / В.В. Фомичов, В.В. Лапко, О.Р. Мамайкін // Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – 2011. – Вип. 94. – С. 116–121.

21. Фомичов В.В. Особливості обчислювального моделювання взаємодії анкера і порід гірського масиву / В.В. Фомичов, Р.В. Зубер, Г.П. Сівак // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2010. – № 6. – С. 21–25.

22. Фомичев В.В. Особенности использования резино-воздушной армированной крепи на шахтах Западного Донбасса / В.В. Фомичев, В.Ю. Медяник, А.И. Скитенко и др. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – № 1. – С. 46–49.

23. Фомичев В.В. Перспективы применения и конструктивные особенности резино-воздушной армированной крепи / В.В. Фомичев, В.Ю. Медяник, А.И. Скитенко и др. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – № 2. – С. 40–43.

24. Фомичев В.В. Предпосылки построения расчетных моделей рамно-анкерной крепи с учетом нелинейных характеристик поведения физических сред // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – № 4. – С. 54-58.

25. Фомичев В.В. Моделирование механических характеристик горных пород при решении задач геомеханики с учетом геометрических и механических параметров трещин / В.В. Фомичев, В.Н. Почепов, Л.Я. Фомичева // Збірник наукових праць НГУ. – Днепропетровск, 2013. – № 41. – С. 37–44.

26. Фомичев В.В. Особливості використання канатних анкерів при підтриманні виїмкових виробок на шахтах Західного Донбасу / В.В. Фомичев, В.В. Лапко // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2013. – № 5. – С. 31–36.

27. Фомичев В.В. Исследование устойчивости надрабатываемого дренажного штрека при приближении очистного забоя для условий ШП «Самарская» / В.В. Фомичев, В.О. Соцков // Збірник наукових праць НГУ. – Днепропетровск, 2013. – № 43. – С. 11–18.

28. Фомичев В.В. Определение и анализ изменения допустимых показателей напряженно-деформированного состояния элементов рамно-анкерной крепи монтажного штрека при подходе очистного забоя / В.В. Фомичев, В.А. Соцков, А.В. Малыхин // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – № 1. – С. 22–26.

29. Фомичев В.В. Исследование модели изменения состояния дренажного штрека в условиях надработки в шахтах Западного Донбасса / В.В. Фомичев, В.А. Соцков // Вісник НТТУ КП. Сер. Гірництво: зб. наук. пр. – Київ, 2014. – Вип. 24. – С. 71–78.

30. Фомичев В.В. Определение изменения несущих характеристик элементов крепи штрека при его надработке в условиях мелкослоистого породного массива / В.В. Фомичев, В.А. Соцков, А.С. Гусев // Розробка родовищ: щорічн. наук.-техн. зб. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2014. – С. 399–407.

31. Фомичев В.В. Анализ взаимодействия податливой крепи пластовых выработок для различных горно-геологических условий по результатам вычислительного эксперимента / В.В. Фомичев, В.А. Соцков, В.В. Лапко // Збірник наукових праць НГУ. – Днепропетровск, 2014. – № 45. – С. 51–59.

32. Фомичев В.В. Определение оптимальных параметров устойчивости системы трещиноватые породы – крепь выработки / В.И. Бондаренко, В.В. Фомичев, Ю.Я. Чередниченко // Уголь Украины. – Киев: ОП УкрНИИпроект, 2014. – № 12 (696). – С. 14–20.

33. Фомичев В.В. Исследование закономерностей изменения скорости звука в восходящих многофазных потоках / Е.А. Кириченко, В.И. Самуся, В.И. Бондаренко и др. // Школа подземной разработки: материалы VI междунар науч.-практ. конф. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2012. – С. 53–65.

34. Fomychov V. Structure and Technological Elements of Information System of Mine Based on the Control of a Condition of Rock Mass / V. Bondarenko, V. Buzylo, V. Fomychov // Deep Mining Challenges. International Mining Forum 2009. – Taylor & Francis Group/CRC Press/Balkema, 2009. – P. 1–8.

35. Fomychov V. Optimization of frame-bolt support in the development workings, using computer modeling method / I. Kovalevscaj, A. Vyvcharenko, V. Fomychov // 22nd World mining congress & Expo (11–16 September). – Istanbul. – 2011. – Vol. 1. – P. 267–278.

36. Fomychov V. The usage of rubber-air reinforced lining (RARL) during maintenance of in-saem / V. Fomychov, V. Medyanyk, V. Pohepov // School Underground Mining – 2011: materials of V International scientific-practical conference / New geoinformational and technical systems in mining. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2011. – P. 291–297.

37. Fomychov V. Establishment of the laws and calculation of mine workings support dislocation / I. Kovalevska, G. Simanovich, V. Fomychov A. Skitenko // Techniki i technologie w podzimnej eksploatacji ztoz: materialy XXI Szkoły Eksploatacyj Podzemnej – 2012. – Krakow: IGSMiE PAN, 2012. – P. 297–302.

38. Fomychov V. Features of carrying out experiment using finite-element method at multivariate calculation of “mine massif – combined support” system / V. Bondarenko, I. Kovalevs’ka, V. Fomychov // School Underground Mining – 2012: materials of VI International scientific-practical conference / Geomechanical Processes During Underground Mining. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2012. – P. 7–14.

39. Fomychov V. Modern technologies of bolting in weakly metamorphosed rocks: experience and perspectives / V. Fomychov, V. Lapko, L. Fomychova // School Underground Mining – 2014: materials of VIII International scientific-practical conference / Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2014. – P. 347–350.

40. Fomychov V. Analysis of Stress-strain State of the Cable Bolt Installed in the Face Exit while the Longwall Face Approaches / V. Bondarenko, V. Fomychov, V. Sotskov // XXXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Gorotworu I Geoinżynierii / Geotechnika I Budiwnictwo Specjalne 2014, Wisla-Jawornik, 10-14 marca 2014. – P. 89–94.

41. Фомичев В.В. Влияние нелинейных характеристик приконтурных горных пород на процесс деформирования рамной крепи / В.В. Фомичев, А.И.Скитенко // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: материалы XXIII международ. науч. школы. / Таврич. нац. ун-т. – 2013. – Симферополь, - С. 275–278.

42. Fomychov V. Bolt support application peculiarities during support of development workings in weakly metamorphosed rocks / V. Fomychov, V. Lapko,

V. Pochepov // School Underground Mining – 2013: materials of VII International scientific-practical conference / Mining of Mineral Deposits. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2013. – P. 211–217.

43. Фомичов В.В. Обґрунтування параметрів опорних елементів кріплення підготовчої виробки / В.В. Фомичов, В.М. Почепов, В.В. Лапко та ін. // Проблемы горного дела и экологии горного производства: матер. VIII междунар. науч.-практ. конф. 25–26 апр. 2013, г. Антрацит. – Донецк: Світ книги, 2013. – С. 51–56.

44. Фомичев В.В. Особенности моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива вокруг пластовой выработки в условиях шахт Западного Донбасса / В.В.Фомичев, А.И. Скитенко // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: материалы XXII междунар. науч. школы. / Таврич. нац. ун-т – Симферополь, 2012. – С. 349–351.

45. Фомичев В.В. Многопараметрическая оптимизация модели системы «массив – крепь» для условий расчета НДС на сопряжении «лава – штрек» / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская. В.В. Фомичев // Математичні проблеми технічної механіки – 2012: матеріали міжнар. наук. конф. – Дніпропетровськ – Дніпродзержинськ, 2012. – Т. 2. – С. 63.

46. Фомичев В.В. Влияние на адекватность и точность решения задач геомеханики математических методов, используемых при моделировании взаимодействия крепи и горного массива / В.В. Фомичев, В.В. Лапко, А.Р. Мамайкин // Форум гірників – 2011: матеріали міжнар. конф. / М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Дніпропетровськ, 2011. – С. 109–114.

47. Фомичев В.В. Влияние характеристик неоднородности тонкослоистого горного массива на результаты вычислительного эксперимента по устойчивости выемочных выработок / В.И. Бондаренко, Г.А. Симанович, В.В.Фомичев др. // Школа подземной разработки: материалы V междунар. науч.-практ. конф. / М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Днепропетровск, 2011. – С. 10–18.

48. Фомичев В.В. Исследование особенностей моделирования взаимодействия анкера с окружающей породой численными методами / В.В. Фомичев, В.Ю. Медяник, Т.В. Маслова // Перспектива развития Прокопьевско-Киселевского угольного района как составная часть комплексного инновационного плана моногородов: сб. тр. III междунар. науч.-практ. конф. – Прокопьевск: ГУ КузГТУ, 2011. – С. 190–193.

49. Fomychov V. Calculation substantiation of the yield lock model of the polygonal yieldable support with elongated props by means of experiment / I. Kovalevscay, V. Fomychov, A. Vyvcharenko // Scholl Underground Mining – 2010: materials of IV International scientific-practical conference / New techniques and technologies in mining. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2010. – P. 83–87.

50. Фомичев В.В. Тенденции изменения напряженного состояния слабых пород кровли пластовой выработки / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, В.В. Фомичев и др. // Форум гірників – 2010: матеріали міжнар. конф. / М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Дніпропетровськ, 2010. – С. 183–188.

51. Фомичев В.В. К методике расчета величины вдавливания стоек рамной крепи / В.В. Фомичев, В.Н. Почепов, Л.Я.Фомичева и др. // Materialy Skoly Eksploatacij Podziemnej 2010. – Krakow: IGSMiEPAN, 2010. – С. 517–522.

52. Фомичев В.В. Исследование влияния геомеханических параметров углевлещающего породного массива на смещение кровли подготовительной выработки / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, В.В. Фомичев и др. // Форум гірників – 2008: матеріали міжнар. конф. / М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Дніпропетровськ, 2008. – С. 54–59.

53. Фомичев В.В. Исследование напряженно-деформированного состояния вмещающих пластовую выработку слабых пород / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, В.В. Фомичев и др. // Школа подземной разработки: материалы междунар. науч.-практ. конф. / М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Днепропетровск, 2008. – С. 77–84.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві: [1-4, 7, 8, 32, 37, 38, 41, 42, 45, 47, 48-50] – розробка й проведення обчислювальних експериментів, визначення параметрів обрання технологічних рішень; [5, 6, 10, 20, 39] – аналіз розвитку математичних методів дослідження гірського тиску в складних геомеханічних системах; [9, 14, 16, 17, 21, 24, 25, 27, 29–31, 40, 44, 46, 51–53] – визначення особливостей розвитку напружено-деформованого стану геомеханічної системи з урахуванням фізичної неоднорідності гірського масиву; [11–13, 28, 33] – визначення технологічних параметрів при розробці корисних копалин; [15, 18, 19, 34] – розробка елементів інформаційних систем управління шахтою; [22, 23, 26, 35, 36, 43] – розробка методів управління гірським тиском в умовах вуглевидобутку.

АНОТАЦІЯ

Фомичов В.В. Наукові основи управління геомеханічними системами із застосуванням рекурсивних методів при підземній розробці родовищ. – На правах рукопису.

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

Дисертація присвячена розробці наукових основ управління станом геомеханічної системи із застосуванням рекурсивних методів при підземній роз-

робці родовищ на підвалинах закономірностей взаємного впливу різнотипних оптимальних показників напружено-деформованого стану системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» виїмкових виробок на всіх етапах їх експлуатації.

На базі багатопараметричної рекурсивної нелінійної моделі з використанням високоточного моделювання було розроблено узагальнений метод управління взаємодією елементів системи «гірський масив – кріплення та охоронні конструкції» в різних гірничо-геологічних умовах.

Розроблена методика визначення оптимальних параметрів розрахункових моделей вугледобуваючих підприємств та технологічний регламент кріплення й охорони виїмкових виробок з метою їх повторного використання.

Впровадження багатопараметричної рекурсивної нелінійної моделі для пошуку оптимальних показників складних геомеханічних систем надало можливість отримати на шахтах України фактичний та можливий економічний ефект понад 12 млн грн на рік.

Ключові слова: гірський масив, повторно використовувана виїмкова виробка, кріплення, обчислювальний експеримент, оптимізація розрахунків.

АННОТАЦИЯ

Фомичёв В.В. Научные основы управления геомеханическими системами с применением рекурсивных методов при подземной разработке месторождений. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных ископаемых. - Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», МОН Украины, Днепропетровск, 2015.

Диссертация посвящена разработке научных основ управления состоянием геомеханической системы с применением рекурсивных методов при подземной разработке месторождений на основе закономерностей взаимного влияния разнотипных оптимальных показателей напряженно-деформированного состояния системы «горный массив – крепление и охранные конструкции» выемочных выработок на всех этапах их эксплуатации.

Идея работы заключается в использовании закономерностей взаимодействия определяющих элементов структурной модели геомеханической системы для прогнозирования и формирования устойчивого состояния повторно используемого выемочной выработки на протяжении ее эксплуатации

Сформулирована научно-техническая проблема повышения устойчивости выемочных выработок при отработке пологих угольных пластов за счет сложных методов проведения вычислительного эксперимента при решении задач по управлению распределением влияния горного давления на элементы крепления

и охранные конструкции. На базе многомерной рекурсивной нелинейной модели с использованием высокоточного моделирования был разработан обобщенный метод управления взаимодействием элементов системы «горный массив – крепление и охранные конструкции» в разных горно-геологических условиях. Благодаря этому методу обоснован комплекс геомеханических элементов, обеспечивающих информационно-технический базис при решении задач геомеханики в моделях с высоким уровнем обобщений горно-геологических условий.

Путем логической коррекции системы управления многопараметрической рекурсивной модели было реализовано технологию проектирования элементов крепления выемочных выработок для решения прикладных задач подземной разработки угольных месторождений. Разработана новая модель зависимости энергетических, геометрических и статистических характеристик трещиноватости породного массива и его остаточной прочности, что позволяет повысить точность вычислительных экспериментов на 20 - 25 % при принятии проектных технологических решений по крепи и охранным конструкциям.

На базе анализа изменения состояния системы «горный массив – крепление и охранные конструкции» реализована методика управления горным давлением, которая обеспечивает устойчивое состояние выемочных выработок с учетом подвигания очистного забоя на пологих пластах в слоистом массиве слабых пород.

Разработанные методика определения оптимальных параметров расчетных моделей угледобывающих предприятий и технологический регламент крепления и охраны выемочных выработок с целью их повторного использования.

Внедрение многомерной рекурсивной нелинейной модели для поиска оптимальных показателей сложных геомеханических систем позволило получить на шахтах Украины фактический и возможный экономический эффект более 12 млн грн в год.

Ключевые слова: горный массив, повторно используемая выемочная выработка, крепи, вычислительный эксперимент, оптимизация расчетов.

ABSTRACT

Fomychov V.V. Scientific management basis of geomechanical systems with application of recursive methods for underground deposits mining. – Manuscript.

Thesis of the scientific degree of the Doctor of Technique Sciences on a 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.

The thesis is devoted to development of scientific bases of geomechanical system management using recursive methods for underground deposits mining on the foundation of mutual influence patterns of different types of optimal stress-strain state parameters of the system "massif – mount design and security" excavation workings in all phases of operation.

On the basis of multiparameter nonlinear recursive model using high-precision simulation method was developed generalized managing method of interacting system elements "massif - support and security structures" in various geological conditions.

The developed method of determining the optimum parameters of calculation models of coal-mining enterprises and technological regulation of support and excavation works secure with aim of their reuse.

The implementation of multiparameter recursive nonlinear model to find the optimal indicators of complex geomechanical systems provided an opportunity to get actual and possible economic effect of more than 12 ml. Uah. per year at Ukraine mines.

Keywords: massif, reused excavating working-out, support, calculation experiment, calculations optimization.

Фомичов Вадим Володимирович

**НАУКОВІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ГЕОМЕХАНІЧНИМИ
СИСТЕМАМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РЕКУРСИВНИХ МЕТОДІВ
ПРИ ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ**

(Автореферат)

Підписано до друку 23.05.15. Формат 60x90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,8.
Обл.-вид. арк. 1,8. Тираж 120 прим. Зам. № 289

Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К Маркса, 19