

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



**КИРИЧЕНКО ВОЛОДИМИР ЯКОВИЧ**

**УДК 622.28.042.42**

**НАУКОВІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ  
ВИРОБОК ВИСОКОРЕСУРСНИМ КРІПЛЕННЯМ  
В ГЕОДИНАМІЧНИХ ЗОНАХ ОЧИСНОЇ ВИЇМКИ**

**Спеціальність 05.15.02 – Підземна розробка родовищ  
корисних копалин**

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

**Дніпропетровськ – 2012**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в ТОВ «Західно-Донбаський науково-виробничий центр «Геомеханіка» (м. Павлоград)

**Науковий консультант:**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри підземної розробки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ)

**БОНДАРЕНКО  
Володимир  
Ілліч**

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри розробки родовищ корисних копалин Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

**КАСЬЯН  
Микола  
Миколайович**

доктор технічних наук, професор, директор Українського державного науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки й маркшейдерської справи Національної академії наук України (м. Донецьк)

**АНЦИФЕРОВ  
Андрій  
Вадимович**

доктор технічних наук, професор, декан Антрацитівського факультету гірничої справи й транспорту Східно-Українського національного університету ім. Даля Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Антрацит)

**РЯБІЧЕВ  
Віктор  
Дронович**

Захист відбудеться « 27 » квітня 2012 року о 12<sup>00</sup> 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, молоді та спорту України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел.: (0562)47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою : 49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий «     » \_\_\_\_\_ 2012 р.

3

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03,  
кандидат технічних наук

В.І. Тимощук

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Економіка й енергетична безпека України прямо залежать від вугільної промисловості як основи розвитку індустрії країни.

Перспективи нарощування вуглевидобутку об'єктивно пов'язані з ускладненням гірничо-геологічних умов і збільшенням глибини розробки, середнє значення якої сягале 700 м, а максимальне – 1400 м, де досить інтенсивно проявляється гірський тиск. При цьому, особливо актуальною є проблема забезпечення стійкості й підтримання гірничих виробок, вирішення якої значною мірою визначає безпеку й ефективність роботи вугільних шахт.

Зі збільшенням глибини розробки суттєво зросли витрати на проведення й підтримання підготовчих виробок, частка яких у собівартості вугілля сягає 30 – 45%. Для кріплення гірничих виробок застосовуються, переважно, арочні кріплення зі спецпрофілю СВП (90 – 95%), питома металоємність яких зросла у два рази й становить 600 – 1000 кг/пог.м. Проте, щорічно середня довжина ремонтів виробок сягає 43 – 57%, а таких, що повністю перекріплюються – 12 – 25% від обсягу підтримуваних; трудомісткість робіт з підтримання виробок становить понад 85 чол./змін на 1000 т видобутку, а чисельність зайнятих на них гірників – понад 30 тис. чол. (при середньообліковому складі прохідників 35 тис. чол. і гірників очисного вибою близько 54 тис. чол.), що крім матеріальних і трудових витрат суттєво знижує ефективність підготовки й відпрацювання запасів, а також безпеку праці.

Це свідчить про масштабну невідповідність арочних типів кріплення гірничо-геологічним умовам, що ускладнилися, експлуатації, характеру інтенсивності прояву гірського тиску. Параметри кріплень, що застосовуються не враховують особливостей геодинамічного впливу очисних робіт, зміни напружено-деформованого стану системи «кріплення – масив» у різні періоди експлуатації, що не дозволяє максимально використовувати несучу здатність породного масиву, забезпечити безпеку й знизити витрати на проведення й підтримання гірничих виробок.

У зв'язку з цим дослідження особливостей зміни стану й механізму руйнування підроблюваного масиву, який вміщує виробку, закономірностей взаємодії геодинамічних зон із системою «кріплення – масив» і розробка на їх основі способів керування стійкістю підготовчих виробок з використанням металорамних кріплень підвищеної несучої здатності є досить актуальною проблемою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами** Дисертаційна робота виконувалася відповідно до Стратегії розвитку паливно-енергетичного Комплексу України до 2030 року («Вугільна промисловість») і Програми «Українське вугілля», затвердженої постановою Кабінету Міністрів

України (№ 1205 від 19 вересня 2001 р.), а також НДТКР Західно-Донбаського науково-виробничого центру «Геомеханіка» за госпдоговірними темами з виробничими об'єднаннями «Павлоградвугілля» (№ 7-92-4 від 10.11.1992 р., № 14/01 від 11.04.2001р.), «Краснодонвугілля» (1154-В/10-8КУО від 13.10.2008 р.), «Свердловантрацит» (№ 3/3-672/7-09 від 21.05.2009 р., № 1/1-293/6-11 від 23.02.20011 р.).

**Мета і завдання наукових досліджень.** Метою роботи є створення науково-обґрунтованих способів керування стійкістю підготовчих виробок металорамними кріпленнями, які дозволяють забезпечити ефективне підтримання, знизити витрати на їх спорудження й експлуатацію в складних гірничо-геологічних умовах.

Для досягнення мети в роботі були поставлені й вирішені наступні основні завдання:

1. Виконаний аналіз досвіду експлуатації, тенденцій розвитку засобів кріплення й існуючих рішень з забезпечення стійкості гірничих виробок.

2. Розроблені наукові основи й критерії визначення необхідних силових і кінематичних параметрів кріплення підготовчих виробок у зоні дії очисних робіт.

3. Обґрунтовані геомеханічні передумови й розроблені розрахункові схему моделювання взаємодії кріплення з масивом порід, що вміщують виробку.

4. Вивчені особливості зміни напружено-деформованого стану й розкритий механізм руйнування підроблюваного масиву.

5. Обґрунтовані наукові критерії створення високоресурсних кріплень, що забезпечують стійкість підготовчої виробки при змінюваних режимах навантаження упродовж усього періоду експлуатації.

6. Оцінена ефективність застосовуваних пшахтних профілів і обґрунтовані вимоги до створення високоресурсного шахтного спецпрофілю для виготовлення кріплень гірничих виробок.

7. Проведені шахтні й стендові випробування нових типів кріплень, наведена техніко-економічна оцінка результатів виробничого впровадження досліджень.

**Ідея роботи** полягає у використанні явища утворення рухомих порушених зон навколо відслоненої поверхні (очисного вибою лави), для наукового обґрунтування й розробки високоресурсних типів металорамних кріплень, які забезпечують безпеку й ефективність підтримання підготовчих виробок у геодинамічних зонах очисного виймання.

**Об'єкт досліджень** – геомеханічні процеси в підроблюваному масиві, підготовчі виробки з металорамним кріпленням на різних етапах їх взаємодії.

**Предметом досліджень** є закономірності руйнування підроблюваного масиву й формування навантажень на кріплення, способи й технічні рішення, що забезпечують експлуатаційну стійкість підготовчих виробок.

Для досягнення поставленої мети в роботі використані наступні методи досліджень: аналіз теоретичних і експериментальних даних про прояв гірського

тиску у виробках; аналітико-експериментальний метод прогнозу параметрів зон руйнування порід навколо виробки з використанням положень механіки суцільних середовищ; шахтні й геофізичні дослідження процесів деформування піддроблюваного масиву; стендові й промислові випробування розроблених конструкцій кріплень; методи техніко-економічної оцінки впровадження результатів дослідження в практику виробництва.

### **Основні наукові положення та результати, їх новизна:**

1. Зі збільшенням опору кріплення зсуви породного контуру і відносна зміна перерізу виробки зменшуються за гіперболічним законом, використання якого забезпечує експлуатаційну стійкість підготовчих виробок при ефективному інтервалі опору кріплення  $150 - 250 \text{ кН/м}^2$ , зі збільшенням глибини розробки ( $>1000 \text{ м}$ ) цей інтервал збільшується до  $350 - 400 \text{ кН/м}^2$ , а понад  $400 \text{ кН/м}^2$  – є недоцільним. Це дозволило розробити вимоги до силових і кінематичних параметрів створених типів рамних кріплень.

2. Напружено-деформований стан гірського масиву попереду рухомої лави, що проявляється спочатку (на відстані її довжини) у пружному режимі з наростаючим хвильовим характером, потім (на віддаленні  $\frac{1}{2}L$ ) відбувається руйнування порід, зумовлене зміною співвідношення компонент напружень, з утворенням рухомих порушених зон «стискання – розущільнення», величина яких з наближенням до очисного вибою знижується, а ступінь порушення збільшується. Урахування цього явища дає можливість обґрунтувати наукові принципи створення нових типів кріплень, що забезпечують експлуатаційну стійкість підготовчих виробок на весь період їх підтримання.

3. Зсуви на контурі виробки, при взаємодії зон – стаціонарної й рухомої попереду очисного вибою – уповільнюються або припиняються диференційованим посиленням і згладжуванням реакції кріплення, що досягається зміною форми й конструкції, збільшенням кривизни, різнорадіусності окремих сегментів і їх сполученості у вузлах піддатливості. Це дозволило розробити високоресурсні кріплення широкого спектра виконання.

4. Суттєве підвищення працездатності металорамних кріплень досягається при використанні створеного спецпрофілю СПА, поперечний переріз днища якого виконано змінною товщиною й збільшується від площини симетрії до ділянок сполучення з похилими бічними стінками, а нижні грані фланців стикаються з опорними поверхнями під кутом  $42 - 47^\circ$  для реалізації тертя у вузлах піддатливості кріплення по сполучних криволінійних поверхнях, що підвищує робочий опір на  $30 - 50 \%$ . Це дозволяє забезпечити експлуатаційну стійкість гірничих виробок і знизити металоємність кріплення.

### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Уперше надано обґрунтування тенденцій збільшення перерізів виробок і типорозмірів застосовуваних шахтних профілів для необхідного, зі збільшенням глибини розробки, підвищення силових і кінематичних характеристик рамних металокріплень, що забезпечують експлуатаційну стійкість підготовчих виробок.

2. Обґрунтована пріоритетність параметра працездатності кріплення й утворюючих його характеристик – робочого опору й конструктивної піддатливості

для формування стійкого стану системи «кріплення – масив», при цьому параметр граничної несучої здатності забезпечується чинником підвищення деформаційно-силових характеристик кріплення. Це дало можливість визначити вимоги до параметрів кріплення підготовчих виробок.

3. Теоретично встановлена закономірність впливу опору кріплення на зсуви породного контуру виробки й науково обґрунтовані ефективні інтервали їх взаємодії зі збільшенням глибини розробки, що дало можливість визначити вимоги до силових характеристик кріплень.

4. Уперше експериментально встановлено й науково обґрунтовано невідоме раніше явище утворення рухомих порушених зон у напружених гірських породах, яке полягає в тім, що навколо відслоненої поверхні (очисного вибою лави), що рухається при проходженні хвилі напруженого стану має місце руйнування й знеміцнення масиву, обумовлене зміною співвідношення компонент напружень.

5. Уперше науково обґрунтовано положення про можливість зниження впливу на виробку рухомих попереду очисного вибою геодинамічних зон «стискання – розущільнення» при випереджувальному посиленні та згладжуванні реактивного опору кріплення, що дозволило розробити вимоги до конструктивних особливостей, формозміни рамних кріплень і визначити параметри кріплення виробки.

6. Уперше науково обґрунтовано, що для подальшого підвищення стійкості виробок і зниження металоємності їх кріплення необхідно змінити конструкцію прокатних профілів, які передбачають реалізацію принципу тертя «в жолобі» у вузлах піддатливості кріплення, що дозволило створити новий тип шахтного спецпрофілю.

**Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджуються коректністю постановки завдань, достатнім обсягом натурних спостережень (обстежено 145 виробок, виконано понад 10 тис. вимірів геофізичних параметрів і фізико-механічних властивостей порід); використанням апробованих методів теорії ймовірностей і механіки суцільних середовищ; задовільною збіжністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень (неузгодженість не більше 20%); достатнім обсягом апробації наукових положень і висновків; успішним впровадженням результатів у виробництво.

**Наукове значення роботи** полягає у використанні явища утворення рухомих геодинамічних зон у підроблюваному масиві й установленні закономірностей їх взаємодії з кріпленням гірничих виробок на різних етапах підтримання, науковому обґрунтуванні способів і засобів підвищення працездатності кріплення відповідно до прояву гірського тиску по контуру й уздовж виробки.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наступному:

1. На базі аналітико-експериментальних досліджень і виявлених особливостей деформування масиву, що вміщує виробку, на різних етапах експлуатації підготовчої виробки з урахуванням літолого-структурної будови масиву, характеру прояву гірського тиску, режиму й схеми навантаження, обґрунтовані й розроблені нові конструкції рамних податливих кріплень: 1-го

технічного рівня – (КШПУ-М, КЦЛ, КПП) і 2-го технічного рівня – (КМП-А3(А4)Р2, КМП-А3(А5)Р3, КЦЛО).

2. Розроблений новий шахтний спецпрофіль СПА зі збільшеним діапазоном і оптимізованою частотою типорозмірного ряду, що перевершує за основними статичними показниками і несучою здатністю вітчизняні й світові аналоги.

3. Розроблені й затверджені в установленому порядку:

– Руководство по поддержанию горных выработок на шахтах Западного Донбасса. – Санкт-Петербург: ВНИМИ, 1992. – 21 с.

– Инструкция по поддержанию выработок на шахтах Западного Донбасса. – Санкт-Петербург: ВНИМИ, Павлоград: ЗДНПЦ «Геомеханика», 1994. – 95с.;

– Методическое пособие по комплексной геофизической диагностике породного массива и подземных геотехнических систем. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2004. – 76 с.

– Технологический регламент поддержания повторно используемых выемочных штреков комбинированными охранными системами // ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск: Монолит, 2009. – 36 с.

– Методические рекомендации по геофизическому контролю и диагностике геомеханического состояния подземных геотехнических систем угольных шахт // Министерство угольной промышленности. Украины ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск: Монолит, 2011. – 32 с.

– Технологический регламент по охране выемочных штреков высоконагруженных лав комбинированными охранными конструкциями в газонасыщенных углепородных массивах: науч-практич. пособие. – Днепропетровск: Монолит, 2011. – 32 с.

– Технические условия на новые типы крепей: крепи шатровые податливые удлиненные модернизированные КШПУ-М (ТУ У 28.1-13432729-005-2002); крепи циркульно-линейные КЦЛ (ТУ У 28.1-13432729-003-2001); крепи металлические податливые арочные двухрадиусные КМП-А3(А4, А5)-Р2 (ТУ У 28.1-13432729-006-2003); крепи металлические податливые трехрадиусные КМП-А3(А5)Р3 (ТУ У 28.1-13432729-015:2011); крепи циркульно-линейные овоидные КЦЛО (ТУ У 28.1-13432729-014:2009); профили фасонные горячекатаные для крепи горных выработок типа СПА. Опытная партия (ТУ У ДП 27.1-00190319-01278:2001).

– Альбомы сечений: Типовые проектные решения № v.401-011-01-2002. Сечения горных выработок, закреплённых металлической крепью КШПУ-М. Типовые проектные решения № v.401-011-03-2005. Сечения горных выработок, закреплённых металлической крепью КЦЛ.

**Реалізація висновків і рекомендацій роботи.** Розроблені конструкції кріплень з підвищеною несучою здатністю й піддатливістю зі спецпрофілей різної маси й площі перерізу у світлі освоєні на заводі ЗДНВЦ «Геомеханіка» і впроваджені в практику кріплення підготовчих виробок на шахтах зі складними гірничо-геологічними умовами (ВАТ «Павлоградвугілля», ПАТ «Ш/У «Покровське», ДП «Красноармійськвугілля», ДУЕК, «Держинськвугілля», «Свердловантрацит», «Краснодонвугілля» і ін.), а також за кордоном (Болгарія, Іран, Естонія) загальним обсягом понад 400 тис. компл. Підтверджений економічний ефект від впровадження – 93,7 млн. грн., розрахунковий – 1,8 – 2,3



млн. грн. на 1 км виробки, зниження фактичних витрат за статтею «проведення, ремонт і підтримання виробок» – від 32 до 74%.

**Особистий внесок здобувача** полягає в постановці наукової проблеми, аналізі її сучасного стану, формулюванні ідеї, цілей, науково-технічних задач досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій, розробці методик досліджень, аналізі й обробці даних експериментів. Автор брав безпосередню участь при проведенні аналітичних, лабораторних і шахтних досліджень, розробці й впровадженні нових конструкцій рамних кріплень.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові положення й практичні результати роботи обговорювалися й одержали схвалення на міжнародних науково-технічних конференціях: «Перша міжнародна конференція «Геотехнічна механіка освоєння надр» (Дніпропетровськ, 1988), «ХІ Міжнародна наукова школа ім. акад. С.А. Христановича» (Сімферополь, 2001), «International Mining Forum» (Краків, Польща, 2002), International conference modern management of mine producing, geology and environment protection (Варна, Болгарія, 2001), «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2004, 2007, 2011), «Школа підземної розробки» (Дніпропетровськ – Ялта, 2007, 2008, 2010, 2011), а також на наукових семінарах кафедри підземної розробки ДВНЗ «Національний гірничий університет» (Дніпропетровськ, 2010, 2011) і технічних радах у ВАТ «Павлоградвугілля» (Павлоград, 2002, 2011), шахті «Червоноармійська-Західна №1» (Красноармійськ, 2005, 2007), ДП «Свердловантрацит» (Свердловськ, 2007, 2009, 2011), ДП «Краснодонвугілля» (Краснодон, 2008), ДП «Дзержинськвугілля» (Дзержинськ, 2009 – 2011).

**Публікації.** За результатами проведених досліджень опубліковано 40 друкованих праць, з них 2 монографії 19 статей у фахових виданнях та 8 патентів на винахід, отримано 1 наукове відкриття.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновку й 5 додатків на 95 сторінках; викладена на 385 сторінках машинописного тексту; містить 54 рисунка, 35 таблиць й список використаних джерел з 183 найменувань на 19 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання наукових досліджень, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, викладено наукові положення і наукову новизну отриманих результатів, практичне значення і реалізація результатів дисертаційних досліджень, представлено відомості про публікацію, апробацію та впровадження за темою та особистий внесок автора.

У **першому розділі** наведений аналіз досвіду експлуатації, тенденцій розвитку засобів кріплення, що використовуються, аналітичних рішень з прогнозування зон руйнування порід і стійкості гірничих виробок. Ці питання постійно перебувають в центрі уваги вітчизняної й закордонної гірничої науки.

Суттєвий внесок у дослідження геомеханічних процесів, що протікають у вуглепородному масиві при веденні гірничих робіт, засобів і способів

забезпечення стійкості виробок внесли Анциферов А.В., Бондаренко В.І., Булат А.Ф., Виноградов В.В., Власов С.Ф., Гайко Г.І., Заславський Ю.З, Зорін А.М., Ільяшов М.О., Касьян М.М., Ковалевська І.А., Кузьменко О.М., Литвинський Г.М., Максимов А.П., Рябічев В.Д., Садовенко І.О., Симанович Г.А., Скіпочка С.І., Софійський К.К., Сугаренко Г.Г., Усаченко Б.М., Фармер Я., Шашенко О.М., Ширін Л.Н., Шмиголь А.В., Халимендик Ю.М., Черняк І.Л. та ін.

Досвід експлуатації свідчить, що найпоширенішим засобом кріплення гірничих виробок на вугільних шахтах є сталеві рамні податливі кріплення і на найближчу перспективу це положення суттєво не зміниться. Однак типи кріплення, що застосовуються не забезпечують безремонтного підтримання підготовчих виробок, що крім значних ресурсних витрат, є наслідком зниження обсягів вуглевидобутку й перешкоджає інтенсифікації підготовки й відпрацювання запасів.

Ретроспективний аналіз засобів кріплення підготовчих виробок виявив низку тенденцій розвитку рамних кріплень (табл. 1), таких як збільшення площі перерізу й щільності установа у виробках, використання більш важких типорозмірів шахтного спецпрофілю, що об'єктивно відбиває недостатність силових характеристик типів кріплень і конструкційного матеріалу що застосовуються для їх виготовлення.

Таблиця 1

Параметри кріплення підготовчих виробок

№ з/п	Показники характеристик кріплення виробок

		а н н я				2 0 1 1	
		до 1980	1983	1992	2003		
1	Переріз виробок	до 11,2 м <sup>2</sup>	73	45	27	9	4
		12-13,8 м <sup>2</sup>	20	37	35	29	37
		14-15,5 м <sup>2</sup>	4	11	23	32	25
		більше 16 м <sup>2</sup>	3	7	12	29	34
2	Типорозмір спецпрофілю	СВП-19	38	30	21	5	—
		СВП-22	41	43	40	22	20
		СВП-27	17	21	30	40	45
		СВП-33	4	6	9	33	35
3	Середня питома металоємність, кг/м	315	372	430	758	7 0	

Якщо раніше середня площа перерізу виїмкових штреків не перевищувала 11,2 м<sup>2</sup>, то на сьогодні – 14 – 16 м<sup>2</sup>. При цьому переріз 11,2 м<sup>2</sup> практично не використовується, а переріз 13,8 м<sup>2</sup>, хоча і є переважним, усе більше замінюється на 15,5 і 18,3 м<sup>2</sup>.

Другою тенденцією є використання більш важких типорозмірів шахтних профілів для виготовлення кріплення. Так профілі СВП-17, 19 вилучені із застосування, а на сьогодні використовуються тільки СВП-22, 27, 33, причому останні – найбільш задіяні у виробництві (понад 80%). Найчастіше для кріплення виробок застосовується більший типорозмір профілю, ніж це передбачено нормативними документами. У сукупності це відбилося на негативному збільшенні (більш ніж у два рази) питомої металоємності кріплення гірничих виробок.

Аналіз існуючих конструкцій показав, що найпоширенішим у країнах СНД є спецпрофіль СВП, а в країнах Європи – лоткові профілі V (ТН-58). Профіль СВП відрізняється суттєвим конструктивним недоліком – відсутністю примусового зачеплення сполучних елементів кріплення по фланцях і недостатнім діапазоном типорозмірного ряду, що, найчастіше, призводить до незворотних деформацій кріплення.

Найбільш значимою і перспективною варто вважати тенденцію, спрямовану на підвищення несучої здатності за допомогою зміни форми перерізу й типу рамної конструкції. Її основою є фундаментальні положення механіки гірських порід і статички споруд, що свідчать про те, що найбільш стійкою формою перерізу

є еліпс (напівеліпс), більша вісь якого орієнтована в напрямку головних (найбільших) зсувів порід.

Аналізом аналітичних рішень встановлено, що кріплення, представлене у формі зрівноважувальної сили (внутрішня гранична умова), є невід'ємною й найважливішою складовою системи «кріплення – масив», а значення її силових і кінематичних параметрів визначають момент набуття стійкого стану виробки. Однак, ефективним інтервалом впливу опору кріплення на зсув породного контуру вважався діапазон  $60 - 120 \text{ кН/м}^2$  (І.Л. Черняк, Ю.М. Ліберман та ін.), а як основний параметр розглядалася гранична несуча здатність, що, в цілому, відповідало типовим гірничо-геологічним умовам і існуючому рівню розвитку засобів кріплення гірничих виробок.

При переході на більші глибини розробки виникла потреба в новому підході, основаному на пріоритетності параметра працездатності кріплення ( $Q$ ) і утворюючих його характеристик – робочого опору і конструктивної піддатливості, в силу єдиної фізичної сутності процесу, як роботи, що забезпечує формування системи «кріплення – масив»:  $Q$ . При цьому параметр граничної несучої здатності кріплення є визначальним чинником можливості підвищення робочого опору й працездатності конструкції.

Обґрунтовано положення про те, що ефективне підтримання підготовчих виробок, можливе при комплексному вирішенні завдань, спрямованих на створення нових конструкцій кріпильних рам, замкових з'єднань і шахтних профілів для виготовлення кріплень.

У другому розділі розглянуті геомеханічні передумови, обґрунтована методика й наведені результати математичного моделювання взаємодії кріплення з масивом порід для одиночної виробки глибокого закладання.

Гірський масив розглянутий як однорідне ізотропне середовище, в якому після проведення виробки виникають пружні й непружні деформації. Розглянута плоска осесиметрична задача (рис. 1).

Зона  $A$  – псевдопластичних деформацій (між колами  $i$ ); зона  $B$  – пружних деформацій (поза колом  $i$ ); зона  $D$  (між колами  $i$ ) характеризує зменшення перерізу на момент настання кінцевої рівноваги системи «кріплення – масив».

де  $h$  – глибина закладання виробки;

$R$  – опір кріплення;

$U$  – зсув породного контуру;

$r_0$  – коло з радіусом  $r_0$  ( $r_0 = OM = OR$ );

$r_0$  – коло з радіусом  $r_0$  ( $r_0 = OM = OR$ );

$r_L$  – коло з радіусом  $r_L$  ( $r_L = OK = OR$ ).

Зміна відносної площі зони деформаційного знеміцнювання визначена за

формулою:  $\Delta S S = \pi r_0^2 - r_0 - U^2 \pi r_0^2 = U^2 r_0 - U r_0^2$ .

У зоні  $A$  рівняння рівноваги в напруженнях:  $d\sigma_r dr + \sigma_r - \sigma_\theta r = 0$ , умова

спільності деформацій:  $d\varepsilon_r dr + \varepsilon_r = 0$ , а рівняння пластичності або

руйнування:

$\sigma_\theta - \sigma_r = \alpha_2 \sigma_r + R_{стис.} f(r)$ , де  $\sigma_r$  – радіальні напруження;  $\sigma_\theta$  – тангенціальні напруження;  $\varepsilon_r, \varepsilon_\theta$  – відповідні їм деформації;  $R_{стис.}$  – межа міцності породи на одноосьове стискання;  $f(r)$  – функція, що відбиває ступінь деформаційного знеміцнення породи в зоні  $A$  ( $f(r_0)=0, f(r_L)=1$ ), – кут внутрішнього тертя.

Для межі поділу зон  $i$  має місце умова безперервності поля напружень,

тобто  $\sigma_\theta(A) - \sigma_r(B) = \psi(\sigma_r)$ .

Для зони  $B$  має місце рівняння  $\sigma_r LB = (1 - \sin \varphi_1)(\gamma h - R_{стис.2})$ .

З урахуванням граничних умов і рівності напружень на межі поділу отриманий вираз, що дозволяє визначити значення радіуса граничної зони  $r_L$ :

$$r \alpha^2 R c_j r_0 r_L r - \alpha^1 f r d r + P r_0 \alpha^2 = 1 - \sin \varphi_1 \gamma h - R c_{\text{тис.2}}.$$

Знаходження  $r_L$  виконано чисельним методом при визначенні зсувів. З огляду на те, що для зони  $B$  зсуви можуть бути визначені з виразу

$$U(B) = 1 + \nu E \cdot M r, \quad M = r L^2 \alpha^3 (\alpha^2 \gamma h + R c_{\text{тис.}}), \quad \text{де } \alpha^3 = 21 -$$

$\sin \varphi_1,$

а також граничні умови й умова безперервності деформацій, остаточно

$$\text{одержуємо: } U = 21 + \nu r L^2 \alpha^2 \gamma h + R c_{\text{тис.2}} E r_0 \alpha^2 \alpha^3 2 R.$$

Математичним моделюванням досліджені три класи функцій  $f(r)$ , для широкого охоплення залежностей деформацій порід у позамежній області:

– експоненціальна  $f r = \beta_0 (r - r_0) n e r r_0;$

– раціональна 
$$fr = \beta_0(r-r_0)n r_0^2 + (r-r_0)^2;$$

– гіперболічна 
$$fr = \beta_0(r-r_0)n(rL_{\max}-r)K,$$

де  $\beta_0$  – постійна, визначувана при  $r = r_0$ .

За результатами розрахунку отримані залежності параметрів  $\beta_0$ ,  $n$ ,  $K$  від величини опору кріплення, що задається (рис. 2).

Рис. 2. Вплив опору кріплення  $P$  на зсув породного контуру  $U$ ,  $U/r_0$  і відносна зміна перерізу виробки  $\Delta s/s$

Установлено, що ступінь впливу реально можливих значень опору кріплення на величину кінцевих зсувів контуру виробки ( $U$ ) виявляється досить суттєвим, а зона пластичних деформацій не перевищує 1 – 2 м, що є фізично важливим і прийнятним для практики.

З міркування припустимих зсувів і експлуатаційно прийнятної піддатливості кріплення його опір необхідно вибирати в межах 150 – 250 кН/м<sup>2</sup>, у міру збільшення глибини ведення гірничих робіт ( $H > 1000$  м) ефективний інтервал  $P$  буде розширюватися до 350 – 400 кН/м<sup>2</sup>, а більше – є недоцільним.

**У третьому розділі** обґрунтована методика й представлені результати досліджень напружено-деформованого стану підроблюваного масиву і його взаємодії з породами, що вміщують виробку, на різних етапах її підтримання.

Був проведений науково-промисловий експеримент (рис. 3).

Рис. 3. Виколювання з плану гірничих робіт і розташування спостережних свердловин (744П, 745П) I – XI – цикли досліджень; ПВ – пункти збудження ВСП на віддаленні від лави

Попереду одиночної очисної виробки (лава № 1162 шахти ім. Героїв Космосу) у пробурених з поверхні спостережних свердловинах періодично, в міру

посування очисного вибою, проводилися комплексні геофізичні дослідження, що містять вимір елементів залягання порід (НІУС), бічне каротажне зондування (БКЗ), вертикальне сейсмічне профілювання (ВСП), акустичний каротаж (АК), акустичний відеотелевізор (АВТ) і ін.; також виконувалися інструментальні спостереження в підготовчих виробках. Усього проведено 11 циклів досліджень (понад 10 тис. вимірів, побудовано близько 2 тис. графіків).

Динаміка зміни кута залягання шарів порід ( $\alpha$ , град) свідчить про хвилеподібне «підняття – опускання» підроблюваної товщі (рис. 4).

Рис. 4. Зміна кута залягання породних шарів ( $\alpha$  – основної,  $\beta$  – безпосередньої покрівлі) залежно від відстані до лави

Виділяються три характерних стани масиву: на значному віддаленні від лави (180 – 90 м) коливальні зміни кута залягання порід не перевищують  $\pm 1^{\circ}30'$  від вихідного значення, тобто без порушення їх суцільності (деформації пружного режиму); при наближенні лави на 70 – 90 м і аж до очисного вибою кут залягання постійно збільшується (в 2,7 – 8 разів), тобто масив розуцільнюється – спочатку порушуються міжшарові зв'язки (при вигинах  $2 - 3^{\circ}$ ), а потім утворюються внутрішньшарові й вертикальні тріщини (при вигинах  $5 - 10^{\circ}$ ); за очисним вибоєм відбувається опускання порід покрівлі й при відході лави понад 30 м шари порід практично займають первісне залягання.

Виміри електрофізичних властивостей порід (методами ГІС і БКЗ) показали, що найбільш інформативним показником оцінки стану підроблюваного масиву є параметр питомого електричного опору порід ( $\rho$ , Ом·м), а його чутливість залежить від розмірів вимірювальних зондів, тобто глибини виміру масиву свердловини (рис. 5).

Рис. 5. Зміна електричного опору порід залежно від відстані до лави.

Розміри зондів: 1 – 0,2 м; 2 – 0,4 м; 3 – 1,0 м; 4 – 2,25 м; 5 – 4,0 м; 6 – 8,0 м

Спостережувані зміни ( $\pm 11 - 31\%$ ) свідчать про хвильовий характер поширення опорного тиску попереду лави. На віддаленні очисного вибою менш 70 м питомий електричний опір різко знижується (в 1,5 – 2,2 рази), що вказує на руйнування масиву порід (непружні деформації); далі – аж до «вікна» лави, знову спостерігаються періодичні зміни  $\rho$ , але з великою амплітудою й частотою, тобто зруйнований масив випробовує додаткове «привантаження – розвантаження» під дією опорного тиску.

Досить інформативним показником ступеня напруженого стану масиву є параметри поширення пружних хвиль: поздовжніх  $v_p$  і поперечних  $v_s$ , динаміка зміни яких при посуванні лави наведена на рис. 6.



Рис. 6. Зміна швидкості поширення поздовжніх і поперечних хвиль (а – основної, б – безпосередньої покрівлі) залежно від відстані до лави

Тут, також на віддаленні 200 – 90 м від лави спостерігаються періодичні зміни параметрів  $V_p$ ,  $V_s$  (12 – 21 % від первісних значень), що відбивають пружний режим деформацій масиву, а при наближенні лави (менше 75 м) відбувається різке зменшення швидкостей поширення пружних хвиль (в 1,3 – 1,5 рази), що свідчить про руйнування масиву, далі – диференціація швидкостей  $V_p$ ,  $V_s$  відбиває чергування зон привантаження й розвантаження порушених порід під впливом очисного виймання.

Виділення зон тріщинуватості порід оцінювалося за критеріями: втрати фазової кореляції головних переломлених хвиль, високий фон обмінних хвиль, різке зниження величин поздовжніх і поперечних хвиль, їх амплітуди й частоти. Детальне вивчення тріщинуватості порід по розрізу виконувалося апаратурою МСАТ з панорамним зображенням стінок свердловин; фрагментарне зображення порід основної покрівлі ( м) при різному віддаленні від очисного вибою наведено на рис. 7 (техногенна тріщинуватість – світле фон).

Г Панорамне  
Л зображення стінок  
иб свердловини № 744  
и  
на П

275

276

277

278

279

280

281

282

а) L = 208 м    б) L = 72 м    в) L = 53 м    г) L = 32 м    д) L = 20 м

Рис. 7. Відеокаротаж тріщинуватості підроблюваного масиву порід  
( – відстань від спостережної свердловини до очисного вибою лави)

На відстані від лави 72 м і менше виявлено явище утворення порушених зон порід, які переміщуються в міру посування очисного вибою. За фронтом руйнування виділяються перемінні зони «стискання – розущільнення» порід, з наближенням до очисного вибою їх ширина знижується, а ступінь руйнування збільшується.

Дослідження у виїмкових штреках охоплювали повний цикл стану виробок: при проведенні в недоторканому масиві й при підтриманні в зоні дії очисних робіт до ліквідації за лавою. Показано, що підготовча виробка випробовує послідовність змінюваних станів системи «кріплення – масив», у кожній з яких відбувається нагромадження деформацій порід, що вміщують виробку.

На підставі експериментальних досліджень дане аналітичне обґрунтування геомеханічної моделі зміни напружено-деформованого стану підроблюваного масиву. Оскільки деформування порід при очисному вийманні має нерівномірнокільний характер, викликаний обваленнями покрівлі, процес розглянутий з позиції теорії коливань. З використанням відомої формули Даламбера й рівнянь вільних затухаючих коливань, із застосуванням методу Бубнова-Гальоркіна отримана графічна залежність амплітуди поперечної хвилі в глинистому сланці від відстані до очисного вибою лави (рис. 8).

Рис. 8. Залежність амплітуди поперечних зсувів порід від відстані до лави

Установлено, що для розглянутих умов має місце деформаційне знеміцнення масиву гірських порід (на віддаленні від вибою лави до 80 м) за рахунок коливальних деформацій, що поширюються, і зміни співвідношення компонент напружень, що підтверджує експериментальні дані й вірогідність отриманих результатів.

Комплексними дослідженнями визначені параметри зони геодинамічного впливу очисного виймання й характер його впливу на стан підготовчих виробок (табл. 2).

Таблиця 2

Взаємодія підготовчої виробки з підроблюваним масивом			
Стан	Хвилеподібна зміна	Фронт руйнування	Періодична зміна
Дія $L$ , м до лави	$L_{упр.}$ (200-90) м	$L_{руйнув.}$ (80-60) м	$L_{дезінтегр.}$ (70-0)

Діапазон відхилень $\Delta^*, \%$ ( $\alpha, \rho_k, V_p, V_s, I_{нар}$ )	$\pm 12-20 \%$	$+60-110 \%$	$\pm 10-50 \%$
Тип деформацій	Пружно-коливальні напруження	Деформаційні руйнування	Послідовний «стискання – розшилювання»
Взаємодія «кріплення – масив»	Стационарний стан граничної рівноваги	Перехід до нестационарного стану	Ціклююче розширення зони граничних рівноваг
Стан виробки	<u>1-1</u>	<u>2-2</u>	<u>3-3</u>
Прояв на кріплення виробки	Практично не проявляється	Короткочасна динамічна дія	Перманентна динамічна дія

Установлено, що зсуви порід на контурі виробки можуть бути вповільнені або припинені випереджуючим, відповідним приросту напружень, збільшенням внутрішньої граничної умови системи граничної рівноваги, тобто посиленням кріплення.

Виявлений характер зміни напружено-деформованого стану підроблюваного масиву дозволяє обґрунтовано визначати параметри кріплення підготовчих виробок. Сформульовані основні принципи й зміст заходів, що забезпечують експлуатаційне підтримання підготовчих виробок для різних за складністю гірничо-геологічних умов (табл. 3).

Як основне кріплення необхідно використовувати рамні конструкції з підвищеними значеннями робочого опору (понад 450 кН/компл.) і конструктивної піддатливості (до 700 мм для триланкових і до 1000 мм і більше – для багатоланкових моделей), а як додаткові посилюючі заходи – анкерування, тампонаж закріпного простору, інвентарне стоякове кріплення і. ін.

Таблиця 3

Параметри кріплення підготовчих виробок				
Тип складності умов	Переріз у світлі, м <sup>2</sup>	Робочий опір кріплення, кН/м <sup>2</sup>	Конструктивна піддатливість, мм	Схема кріплення

	12-15	40-60	до 300
$\gamma_{HR} \leq 0,3$			
	14-16	60-120	300-700
$\gamma_{HR} = 0,3-0,5$			
	15-21	150-250	700-1000
$\gamma_{HR} \geq 0,5$			

**Четвертий розділ** присвячений розробці й дослідженню нових конструкцій рамних кріплень, призначених для забезпечення ефективного сприйняття навантаження від тиску порід у виробку за весь період підтримання підготовчих виробок.

Розроблені кріплення нового технічного рівня (НТУ) відрізняються від типових арочних кріплень сукупністю наступних відмітних ознак: зміною форми перерізу кріплення й сполученості несучих елементів залежно від літолого-структурної будови й залягання масиву; диференційованою міцністю елементів конструкції кріплення на окремих ділянках периметра перерізу, залежно від характеру проявів гірського тиску й переважної деформації порід; зміною співвідношення радіусів вигину й сполученості утворюючих сегментів, залежно від характеру й режиму навантаження рами кріплення.

У конструктивному виконанні кріплення нового технічного рівня мають відмінності й умовно підрозділяються на дві групи: 1-го й 2-го технічних рівнів. До кріплень першого технічного рівня відносяться: шатрові – КШПУ-М (патент України № 18737), циркульно-лінійні – КЦЛ (патент України № 35419), полігональні – КПП (патент України № 45884), а до кріплень другого технічного рівня: овоїдні дворадіусні – КМП-А3(А4)Р2 (патент України № 61034), овоїдні трирадіусні – КМП-А3(А5)Р3 (патент України № 54759) і циркульно-лінійно овоїдні – КЦЛО (патент України № 26645). Типорозмірний ряд, характеристики й параметри кріплень наведені в табл.4.

Таблиця 4

Основні характеристики й параметри кріплень нового технічного рівня

Група	Тип кріплення	Кіл-сть ланок (конструктивна піддатливість, мм)	Переріз у світлі, м <sup>2</sup>	Висота, мм	Ширина, мм	Робочий опір, кН/раму	Гранична несуча здатність, кН/раму	Маса рами, кг
НТУ -1	КШПУ-М	3-х (до 400) 5-ти (до 800)	9,5; 11,1; 11,7; 13,7; 14,4;15,1;17,7; 20,3;25,5	2990- 4829	2873- 6626	260-480	443-680	198- 501
	КЦЛ	3-х (до 400)	9,5;10,3; 11,1;11,7; 14,4	2917- 3719	3868- 4657	250-300	403-670	174- 369
	КПП	3-х (до 400) 5-ти (до 800)	10,2;11,5; 12,3;14,4; 14,7;17,4	2990- 3400	3678- 4700	160-200	435-660	212- 401
НТУ -2	КМП-А3(А4)Р2	3-х (до 700) 4-х (до 1000)	10,2;11,4; 12,4;13,3; 14,1;15,5; 16,1;18,0; 22,0	3301- 4577	4080- 5858	392-627	588-940	208- 461
	КМП-А3(А5)Р3	3-х (до 700) 5-ти (>1000)	9,8;11,8; 12,3;13,4; 14,4;15,4; 17,2;19,0; 21,8;25,0	2370- 5115	4200- 6000	265-480	630-950	199- 513
	КЦЛО	3-х (до 500) 4-х (до 1000)	9,5;11,2; 12,4;13,1; 14,1;15,6; 16,1;17,3; 18,0;19,1	2969- 4262	3849- 6063	240-576	561-816	203- 420

Запропоновано нові технічні рішення замкових з'єднань з забезпечення підвищеної працездатності кріплень (патенти України № 56078 і № 74742), які припускають: передачу головного затискного зусилля безпосередньо через фланці спецпрофілей сполучних елементів; використання напівобгинальної планки; введення до складу конструкції стабілізаторів, призначених для стабілізації й вирівнювання стискальних зусиль. Ці рішення забезпечують одержання необхідного й стабільного робочого опору кріплення при мінімізації розкиду значень (до  $\pm 18\%$ ).

Для забезпечення якісного виготовлення кріплень нового технічного рівня розроблений спосіб моноциклічного пресування елементів кріплення, реалізованого в промисловому масштабі на заводі ЗДНВЦ «Геомеханіка», який дозволяє здійснювати продуктивне згинання утворюючих сегментів необхідної конфігурації, мінімізувати довжину технологічних прямих кінцевих ділянок згинних сегментів і молковку стінок спецпрофілю, що забезпечують стабільність умов тертя у вузлах піддатливості.

Аналіз ефективності розроблених конструкцій кріплень зроблений за наступними основними параметрами: згинальним моментом у перерізі під дією навантажувальних зусиль ( $M_i^{max}$ ); коефіцієнтом конструктивної якості,

( $K = \sigma_i / [\sigma] d S$ ); ; граничній несучій здатності і робочому опорі ; конструктивної

піддатливістю ; працездатністю . Результати

розрахунку показали, що кріплення нового технічного рівня мають покращену й більш рівномірно розподілену за периметром рами епюру згинальних моментів (рис. 9).

Рис. 9. Епюра згинальних моментів :  
а – кріплення базисного рівня; б – кріплення НТУ

Зниження величин згинальних моментів становить: для кріплень НТУ-1 – у 1,3 – 1,7 рази; для кріплень НТУ-2 – у 1,8 – 2,5 рази. Це досягається ступенем наближення геометричних параметрів перерізу до еліпсної конфігурації перерізу (коефіцієнт еліпсності ): якщо у типових кріплень відхилення від еліпсності становить 31 – 35 %, то у кріплень НТУ-1 – не перевищує 17 %, а НТУ-2 – 4 – 8 %. Формозміна рамної конструкції кріплення дозволяє без збільшення маси збільшити граничну несучу здатність на 30 – 35% для кріплень НТУ-1 і в 1,8 – 2 рази для НТУ-2. Врахування нерівномірності елементів конструкції досягнуте за допомогою зміни кривизни утворюючих сегментів і їх сполученості з породним масивом, що вміщує виріб.

Для забезпечення експлуатаційної стійкості підготовчих виробок використаний новий підхід, який передбачає резервування несучої здатності кріплення, що враховано закладеним у конструкції кріплень принципом різнорадіусності й спрямованим посиленням міцності несучих елементів для

згладжування реакції кріплення на дію рухомих напружено-деформованих зон порід.

Установлено, що зі зменшенням радіуса критичного елемента за гіперболічним законом (рис. 10) збільшується несуча здатність кріплення, а, відповідно, пропорційно коефіцієнту запасу – робочий опір.

Рис. 10. Вплив кривизни вигину сегмента на несучу здатність кріплення

Останнє, поряд із формозміною перерізу рами й введенням у вузли піддатливості стабілізуючих елементів, забезпечується різнорадіусним вигином сегментів кріплення з коефіцієнтом співвідношення. Так, співвідношення радіусів вигину верхняка й бічних стояків для типових кріплень АПЗ, АП5 становить 1 – 1,12, то для кріплень НТУ-1 сягає 1,27 – 1,33, крім того, у кріплень НТУ-2 верхній елемент має дворадіусне виконання. Виходячи з вищерозглянутих вимог і прийомів їх досягнення, загальна порівняльна характеристика ефективності розроблених кріплень наведена в табл. 5.

Таблиця 5

Параметри	Порівняльна ефективність кріплень		
	Типові ародні кріплення	Кріплення нового технічного рівня	
		НТУ-1	НТУ-2
Коефіцієнт конструктивної якості	0,31 – 0,37	0,42 – 0,55	0,57 – 0,70
Гранична несуча здатність	умовно «0»	+ 20 – 60 %	+ 70 – 85 %
Робочий опір	умовно «0»	+ 20 – 50 %	+ 70 – 120 %
Піддатливість, мм	300	300 – 700	500 – 1000 і більше
Працездатність	умовно «1»	↑ в 2,5 – 3 рази	↑ в 4 – 5 разів

Кріплення нового технічного рівня характеризуються наступними відмінностями й перевагами: без істотного збільшення ваги комплекту досягнуте збільшення несучої здатності (в 2,0 – 2,8 рази), що дозволяє збільшити (без зменшення запасу міцності) робочий опір рами (в 1,8 – 2,5 рази) і зменшити щільність (тобто металоємність) кріплення виробок.

**П'ятий розділ** присвячений розробці й дослідженню нової конструкції високоресурсного спецпрофілю для виготовлення рамних кріплень. Аналіз конструкцій відомих типів шахтних профілів показав недостатність їх параметрів при створенні кріплень нового технічного рівня. При розробці нового профілю враховувалися наступні вимоги: підвищення статичних показників опору і ; можливість примусового зачеплення сполучних профілів по фланцях; збільшення й оптимізація типорозмірного ряду.

Вирішено завдання – за допомогою зміни конфігурації й геометричних параметрів раціональним розподілом металу по перерізу профілю й збільшенням площі контакту опорних поверхонь профілів суміжних сполучних сегментів – забезпечити підвищення силових характеристик кріплення.

У новій конструкції профілю (патенти України № 45296, № 63614, № 12770) поперечний переріз днища виконаний змінної товщини, що збільшується від площини симетрії до ділянок сполучення днища з похилими бічними стінками, а нижні грані фланців сполучені з криволінійними опорними поверхнями виступів і розташовані під гострим кутом до горизонтальної площини (рис. 11).

Типорозмірний ряд СПА, що включає сім профілерозмірів (21, 24, 27, 30, 33, 36, 39 кг/м), побудований таким чином, що зміна (градація) між суміжними профілями має постійне значення й становить за масою погонного метра 3 кг, а за площею поперечного перерізу – 380 мм<sup>2</sup>. При цьому був оптимізований і розширений діапазон профілерозмірів СПА.

Рис. 11. Профіль СПА: а – поперечний розріз перерізу;  
б – загальний вигляд; 1 – днище; 2 – бічні стінки; 3 – фланці

Принциповою відмінністю й перевагою профілю СПА є можливість використання принципу тертя в жолобі по поверхнях «виступ – западина», тоді як у профілі СВП – по площинах стінок (рис. 12).



Рис. 12. Положення зон тертя



сполучних профілів:  
а – до стиску; б – після стиску

Порівняльний аналіз профілю СПА з вітчизняним СВП і німецьким V (ТН58) зроблений за найбільш значимими критеріями: моментом опору, коефіцієнтом використання матеріалу й конструктивною якістю поперечного перерізу профілю, питомим моментом опору на вигин. Установлено, що за всіма параметрами профіль СПА має більш високі значення (35 – 50%).

Споживчі властивості спецпрофілю СПА оцінені за результатами аналізу силових характеристик у конструкціях металокріплень. Установлено, що зі збільшенням площі перерізу кріплення ступінь перевищення несучої здатності профілю СПА над профілем СВП зростає за гіперболічним законом (рис. 13).

Рис. 13. Гранична несуча здатність комплекту кріплення залежно від перерізу виробки

Відзначимо закономірності, що мають важливе практичне значення:

1. На малих перерізах (до  $12 \text{ м}^2$ ), при використанні СПА-21, щільність кріплення варто приймати однаковою, при цьому металоємність кріплення знижується за рахунок маси комплекту ( $1,0 \text{ кг/пог.м}$  кріплення) з одночасним збільшенням  $P_n$  (до 10%).

2. На великих перерізах ( $18 - 22 \text{ м}^2$ ) при використанні профілю СПА-30 при рівній щільності встановлення кріплення металоємність знижується за рахунок ваги комплекту (до  $3 \text{ кг/пог.м}$  кріплення), а при використанні профілю СПА-33 можливе збільшення кроку установки рам на один щабель ( $0,3 \text{ м} \rightarrow 0,5 \text{ м}$ ;  $0,5 \text{ м} \rightarrow 0,8 \text{ м}$ ), при цьому зниження металоємності сягає 35 – 40%.

3. На середніх перерізах ( $13 - 16 \text{ м}^2$ ) при використанні профілю СПА-27 зниження металоємності досягається як за рахунок збільшення кроку установки кріплення, так і за рахунок маси комплекту, а при використанні профілю СПА 30 – за рахунок зниження щільності кріплення металоємність зменшується на 30 – 35 %.

**У шостому розділі** надані техніко-економічна ефективність і результати промислового використання кріплень нового технічного рівня в різних гірничо-геологічних умовах експлуатації на шахтах України і за кордоном (Болгарія, Іран, Естонія).

Установлено, що кріплення нового технічного рівня забезпечують стійкість підготовчих виробок, що суттєво знижує витрати на їх підтримання, збільшує продуктивність, безпеку й економічність роботи видобувної дільниці. Досягнуто зниження металоємності виробок на 15 – 20%, підвищення темпів їх проведення на 10 – 15 %, зниження обсягів видачі гірничої маси на  $0,5 - 1,0 \text{ м}^3/\text{пог.м}$ , збільшення в 2 і більше разів міжремонтного строку підтримання виробок, зниження загальних витрат на підтримку дільничних виробок – від 30 до 70%. Ресурсозбереження за статтею «кріплення й підтримання підготовчих виробок» забезпечує зниження метало- і фондоємності кріплення, а також експлуатаційних

витрат. Розрахунками й даними практики встановлено загальне зменшення виробничих витрат від 1,3 до 1,8 млн грн на 1 км виробки в сприятливих умовах, і від 1,8 до 2,9 млн грн/км у важких умовах експлуатації.

По об'єктах впровадження кріплень НТУ відзначено, що поліпшення стану підготовчих виробок є також основним фактором збільшення навантаження на лаву й інтенсифікації видобування готових до виймання запасів, що відповідає загальній умові економічної ефективності розробки на великих глибинах. У результаті добове навантаження на лаву зросло в 2 – 2,8 рази, а собівартість 1 т по лаві знизилася на 40 – 45% (шахти ім. О.Г. Стаханова, ім. О.Ф. Засядька, Південно-Донбаська №1, №3). Установлено, що економічний ефект від впровадження кріплень НТУ пропорційно зростає зі збільшенням глибини й ускладненням гірничо-геологічних умов розробки.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій надане теоретичне узагальнення й нове вирішення актуальної наукової проблеми підвищення стійкості підготовчих виробок на основі виявленого явища утворення рухомих порушених зон підроблюваного масиву й установлених закономірностей їх взаємодії з системою «кріплення – масив». Це дозволяє цілеспрямовано управляти стійкістю й надійністю кріплення в режимах, що змінюються, навантаження на всьому періоді експлуатації підготовчої виробки. У роботі виявлені особливості протікання деформаційних процесів навколо виробки під час руху фронту очисних робіт і обґрунтований механізм взаємодії кріплення й порід, що вміщують виробку, встановлені закономірності напружено-деформованого стану й реактивного опору кріплення, що враховують послідовність змін стану підроблюваного масиву й визначені ефективні інтервали параметрів деформаційно-силових характеристик кріплення, на основі яких розроблені нові конструкції кріплення й шахтного профілю, які забезпечують експлуатаційну стійкість виробок у складних гірничо-геологічних умовах.

Основні наукові й практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Обґрунтовано новий підхід і вимоги до параметрів робочих характеристик кріплення, що передбачають як пріоритетний необхідний рівень працездатності, визначаємий величиною робочого опору й конструктивною піддатливістю. Гранична несуча здатність кріплення розглядається як забезпечувальний параметр реалізації підвищених (у два й більше разів) значень його робочого опору, а необхідна конструктивна піддатливість визначається значеннями припустимих зсувів порід, що забезпечують експлуатаційний стан виробки.

2. Уперше обґрунтовані вихідні вимоги до силових і кінематичних параметрів кріплень. Установлено, що для забезпечення експлуатаційної стійкості

виробок у складних гірничо-геологічних умовах необхідний рівень робочого опору кріплення перебуває в межах 150 – 250 кН/м<sup>2</sup>, в міру збільшення глибини ведення гірничих робіт ( м) його ефективний інтервал збільшується до 350 – 400 кН/м<sup>2</sup>, а понад 400 кН/м<sup>2</sup> – є недоцільним.

3. Уперше надано нове уявлення закономірностей протікання деформаційних процесів у підроблюваному масиві, що полягає в тім, що попереду рухомого очисного вибою слідом за наростаючою хвилеподібною зміною напруженого стану порід у пружному режимі деформації спостерігається (на віддаленні 1/2 довжини лави) явище утворення рухомих порушених зон, що супроводжуються періодичним розщепленням породної товщі на структурні блочно-шаруваті елементи. За рухомих фронтів руйнування масиву, що диференціюється відповідно до міцнісної неоднорідності шарів, виділяються зони різного ступеня дезінтеграції в перемінній послідовності «стиск–розущільнення», з наближенням до очисного вибою протяжність цих зон знижується, а ступінь руйнування – збільшується.

4. Установлено, що при взаємодії зон – стаціонарної навколо проведеної підготовчої виробки й рухомої попереду очисного фронту – спостерігається послідовна (в міру наближення вибою лави) зміна зовнішньої граничної умови, що проходить східчато з наростанням, у силу чого гранична рівновага і порушується й розміри зони збільшуються, а забезпечення стійкості виробки досягається відповідним збільшенням внутрішньої граничної умови, тобто посиленням кріплення, яке повинне випереджально відповідати приросту зовнішньої граничної умови, що визначається швидкістю просування лави й міцнісними властивостями масиву порід.

5. Обґрунтовано науковий підхід до ефективного керування надійністю кріплення, яке полягає в резервуванні й оптимізації запасу міцності конструкції, що досягається формозміною елементів кріплення, їх різнорадіусним виконанням і сполученістю у вузлах піддатливості, які забезпечують згладжування реакції кріплення на вплив рухомих напружено-деформованих зон порід. Установлено, що підвищення граничної несучої здатності кріплення досягається диференційованою зміною кривизни критичного елемента, зі збільшенням якої за гіперболічним законом зростає несуча здатність (в 2 і більше разів).

6. Визначено необхідні значення силових і кінематичних параметрів металорамних кріплень: гранична несуча здатність комплекту не менш 700 – 850 кН/раму; робочий опір, не менш 450 кН/раму; конструктивна піддатливість для триланкових конструкцій до 700 мм і для багатоланкових конструкцій до 1000 мм. Це забезпечується формозміною перерізу кріплення до еліпсної конфігурації й диференційованим посиленням утворюючих елементів, удосконаленням конструкції та розташування сполучних елементів кріплення (вузлів піддатливості), застосуванням більш удосконалених способів згинання твірних сегментів кріплення.

7. Розроблено конструкції кріплень нового технічного рівня (КШПУ-М, КЦЛ, КПП, КМП-А3(А4)Р2, КМП-А3(А5)Р2, КЦЛО). Типорозмірний ряд кріплень охоплює максимальний діапазон перерізів: від 9,5 до 25,5 м<sup>2</sup>. Усього створено 65 типорозмірних моделей. У нових конструкціях в порівнянні з

типовими кріпленнями досягнуто збільшення силових характеристик у 1,5 – 2,0 і більше разів.

8. Розроблено новий профіль для кріплень гірничих виробок – спецпрофіль СПА, в конструкції якого поперечний переріз днища виконаний змінної товщини, що збільшується від площини симетрії до ділянок сполучення з похилими бічними стінками, а нижні грані фланців сполучені з криволінійними опорними поверхнями фланців і розташовані під гострим кутом до горизонтальної площини. Принциповою відмінністю й перевагою профілю СПА є можливість використання принципу тертя в жолобі, реалізація якого у вузлах піддатливості кріплення дозволяє підвищити рівень робочого опору на 30 – 50% і стабілізувати його значення.

9. Досвід широкомасштабного застосування кріплень нового технічного рівня (понад 400 тис. комплектів) показав можливість досягнення більш стійкого стану підготовчих виробок, що суттєво знижує витрати за статтею «проведення, ремонт, підтримання» (на 30 – 70%), збільшує продуктивність вуглевидобутку і забезпечує ресурсозбереження на всіх етапах експлуатації підготовчих виробок. Техніко-економічна ефективність застосування кріплень нового технічного рівня зростає в міру ускладнення гірничо-геологічних умов.

10. Високоресурсні кріплення нового технічного рівня впроваджені в практику кріплення підготовчих виробок на шахтах зі складними гірничо-геологічними умовами (ВАТ «Павлоградвугілля», ПАТ «Ш/У «Покровське», ДП «Красноармійськвугілля», ДУЕК, «Дзержинськвугілля», «Свердловантрацит», «Краснодонвугілля» та ін.), а також за кордоном (Болгарія, Іран, Естонія). Підтверджений економічний ефект – 93,7 млн грн.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Усаченко Б.М. Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт Западного Донбасса / Б.М. Усаченко, В.Я. Кириченко, А.В. Шмиголь. – М.: ЦНИЭИуголь, 1992. – 167 с.

2. Паламарчук Т.А. Элементы механосинергетики породного массива / Т.А. Паламарчук, В.Я. Кириченко, Б.М. Усаченко. – Д.: Лира, 2006. – 306 с.

3. Шмиголь А.В. Методика расчета параметров выемочных штреков шахт Западного Донбасса / А.В. Шмиголь, В.Я. Кириченко, И.А. Садовенко // Шахтное строительство. – 1987. – №1. – С. 9-10.

4. Кириченко В.Я. Новые экономичные крепи для условий повышенного горного давления / Кириченко В.Я. // Геотехническая механика: наук.техн.сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2000. – №20. – С. 98-101.

5. Шевченко В.В. Изобретательский анализ по созданию соединительных элементов штрековой податливой металлокрепил / В.В. Шевченко, В.Я. Кириченко // Геотехническая механика: науч. техн. сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2000. – №23. – С. 82-90.

6. Явление образования перемещающихся нарушенных зон впереди лавы / [Кириченко В.Я., Халимендик Ю.М., Лишин А.В., Усаченко Б.М.] // Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 2001. – №1. – С. 97-98.

7. Об испытаниях податливых стальных рамных крепей горных выработок / [Грядущий Ю.А., Кириченко В.Я., Грядущий В.Б., Сугаренко Г.Г.] // Геотехническая механика: науч. техн. сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2001. – №30. – С. 211-218.

8. Кириченко В.Я. О концепции обоснования плотности крепления подготовительных выработок глубоких шахт / В.Я. Кириченко, Г.Г. Сугаренко, Ю.В. Сальников // Геотехническая механика: науч. техн. сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2002. – №40. – С. 279-283.

9. Кириченко В.Я. Грависинергетика подрабатываемой углепородной толщи движущимся очистным забоем / В.Я. Кириченко // Геотехническая механика: науч. техн. сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2004. – №51. – С. 8 – 17.

10. Особенности построения сортаментного ряда профилей для шахтной крепи / [Луцкий М.Б., Дорожко И.К., Чичкан А.А., Лигус Н.Н., Кириченко В.Я., Луценко В.А.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – №7. – С. 34-37.

11. Разработка и исследование новой конструкции профилей для крепления горных выработок / [Луцкий М.Б., Кириченко В.Я., Дорожко И.К. и др.] // Черная металлургия. – 2006. – № 1. – С. 25-29.

12. Кириченко В.Я. Аналитическое описание зон разрушения пород вокруг длительно эксплуатируемых горных выработок / В.Я. Кириченко, Г.Т. Рубец, В.И. Соколовский // Геотехническая механика: науч. техн. сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2006. – №61. – С. 149-173.

13. Кириченко В.Я. Штрековые крепи, проверенные временем и признанные шахтерами / В.Я. Кириченко // Уголь. – 2006. – №11. – С. 21-23.

14. Кириченко В.Я. Крепи нового технического уровня – главная предпосылка повышения показателей поддержания горных выработок / В.Я. Кириченко // Геотехническая механика: науч. техн. сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2006. – №66. – С. 31-39.

15. Кириченко В.Я. О подходах и приложения теории процессов случайного распространения для моделирования движения фронта хрупкого разрушения пород в окрестности горных выработок / В.Я. Кириченко, Б.М. Усаченко, Г.Т.

Рубец // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. – 2006. – № 61. – С. 41 – 48.

16. Кириченко В.Я. Экономичная крепь крепь КВТ для условий высокого горного давления / В.Я. Кириченко, Б.М. Усаченко, А.И. Корнилов // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск.: 2007. – №9. – С. 56 – 59.

17. Кириченко В.Я. Штрековые металокрепи, отвечающие экономическим требованиям и геомеханическим задачам больших глубин / В.Я. Кириченко, Б.М. Усаченко // Геотехническая механика: науч. техн. сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2008. – № 78. – С. 178-189.

18. Кириченко В.Я. Несущая способность штрековых металокрепей из спецпрофиля СВП / В.Я. Кириченко // Геотехническая механика: науч.техн. сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2009. – №83. – С. 55-65.

19. Кириченко В.Я. К выбору конструкции и несущей способности штрековой металокрепи / В.Я. Кириченко // Геотехническая механика: науч. техн. сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2009. – №84. – С. 170-173.

20. Кириченко В.Я. Механико-математическое моделирование расчетной схемы смещения породного контура и определения давления на крепь горной выработки. / В.Я. Кириченко // Геотехническая механика: науч. техн. сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2011. – №93. – С. 45-55.

21. Прокопенко В.І. Економічна доцільність впровадження інноваційного кріплення на шахтах / В.І. Прокопенко, А.В. Кириченко, В.Я. Кириченко // Уголь України. – 2011. – №3. – С. 18-22.

22. Пат. 18737, Україна, E21D11/14. Арочне податливе кріплення гірничої виробки / А.В. Шмиголь, В.Я. Кириченко. – № 94061889; заявл. 28.06.94; опубл. 25.12.97, Бюл. №6.

23. Пат. 45884, Україна, E21D11/00/. Арочне податливе кріплення / В.Я. Кириченко, А.В. Шмиголь, В.Д. Мазур. – № 2001086036; заявл. 31.08.01; опубл. 15.09.03, Бюл. №9.

24. Пат. 35419, Україна, E21D11/14. Арочне податливе кріплення гірничої виробки «КЦЛ» / В.Я. Кириченко, Ю.М. Халимендик. – № 99105554; заявл. 12.10.99; опубл. 15.10.03, Бюл. №10.

25. Пат. 4596, Україна, E21D11/14. Профіль гарячекатаний для кріплення гірничих виробок / М.Б. Луцький, В.Я. Кириченко, Е.А. Звягільський, А.Н. Куликович, А.В. Міхєєв. – № 2002010596; заявл. 24.01.02; опубл. 15.10.04, Бюл. №10.

26. Пат. 56078, Україна, E21D11/14, 11/22. Замок вузла податливості / Г.Г. Сугаренко, Н.А. Алієв, В.Я. Кириченко. – № 2002108533; заявл. 28.10.02; опубл. 15.11.04, Бюл. №11.

27. Пат. на корисну модель 26645, Україна, E21D11/14. Металеve рамне податливе кріплення «КЦЛО» / В.Я. Кириченко, В.В. Виноградов, В.В. Гладнев. – № u 2007 08590; заявл. 26.07.07; опубл. 25.09.07, Бюл. №15.

28. Пат. на корисну модель 54759, Україна, E21D11/14. Триланкове металеве рамне податливе кріплення «КМП-А3Р3» / В.Я. Кириченко, А.В. Кириченко, Г.Г. Сугаренко. – № u 201005392; заявл. 05.05.10; опубл. 25.11.10, Бюл. №22.

29. Пат. на корисну модель 61034, Україна, E21D11/14. Металеve арочне податливе кріплення / В.Я. Кириченко, А.В. Кириченко, Г.Г. Сугаренко. – № u 201013693; заявл. 18.11.10. опубл. 11.07.11, Бюл. №13.

30. Кириченко В.Я. Новые представления о характере разрушения подрабатываемого массива / В.Я. Кириченко // Матер. XI Міжнар. наук. школи ім. акад. С.А. Христиановича. – 2001. – С. 79-81.

31. Кириченко В.Я. Основные факторы ресурсосбережения при креплении или поддержании горных выработок / В.Я. Кириченко // Украинско - Польский форум горняков: междунар. науч. техн. конфер. – Д.: НГУ, 2004. – С. 478-483.

32. Кириченко В.Я. Грависинергетика подрабатываемой углепородной толщи движущимся очистным забоем / В.Я. Кириченко // Геотехническая механика: науч. техн. сб. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2004. – №51. – С. 8 – 17.

33. Усаченко Б.М. Геофизические аспекты диагностирования процессов самоорганизации породного массива виброакустическим и электрометрическим методами / [Усаченко Б.М., Кириченко В.Я., Яланский А.А. и др.] // Форум гірників – 2006: матер. міжнар. конф. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2006. – С. 129-133.

34. Кириченко В.Я. Новая ресурсоэкономная крепь с линейно-циркульным верхняком / В.Я. Кириченко // Форум гірників – 2007: матер. міжнар. конф. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2007. – С. 158-161.

35. Кириченко В.Я. Рамные крепи для широкого спектра горно-геологических условий современных шахт / В.Я. Кириченко., С.П. Иванов., В.В. Гладнев // Школа підземної розробки: матер. міжнар. наук. практич. конф. – Дніпропетровськ. – Ялта: Національний гірничий університет, 2007. – С. 151-154.

36. Кириченко В.Я. Механосинергетические явления в породных массивах как геомеханическая база создания новых штрековых крепей горных выработок. / В.Я. Кириченко, Б.М. Усаченко // Школа підземної розробки: матер. міжнар. наук. практич. конф. – Дніпропетровськ – Ялта: Національний гірничий університет, – 2008. – С. 136-140.

37. Кириченко В.Я. Металлорамные штрековые крепи нового технического уровня. / В.Я. Кириченко // Школа підземної розробки: матер. міжнар. наук.-практич. конф. – Дніпропетровськ – Ялта: Державний ВНЗ Національний гірничий університет, 2010. – С. 241-266.



38. Кириченко В.Я. Оценка потребительских свойств крепей горных выработок с использованием нового профиля / В.Я. Кириченко // Школа підземної розробки: матер. V міжнар. наук. практич. конф. – Дніпропетровськ – Ялта: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2011. – С. 177-183.

39. Кириченко В.Я. Техничко-экономическая эффективность и результаты промышленного применения крепей нового технического уровня / В.Я. Кириченко, А.В. Кириченко // Форум гірників: матеріали міжнародної конференції. – Дніпропетровськ: ДНГУ. – 2011. – С. 194– 199.

40. Открытие №188. Явление образования перемещающихся нарушенных зон в напряженных горных породах / В.Я. Кириченко, Е.Л. Звягильский, А.В.Лишин, Б.М. Усаченко, Ю.М. Халимендик // Сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез. – М.: РАЕН, 2001-2002. – С. 62-63.

**Особистий внесок** автора в публікаціях, написаних у співавторстві, полягає в наступному: у роботах [1, 2] – методика й результати дослідження стану масиву порід, установлення особливостей його взаємодії з кріпленням гірничої виробки, нові засоби й способи керування системи «кріплення – масив»; у роботах [3, 33, 36] – постановка завдання, методика діагностики й шахтного експерименту, обґрунтування результатів і їх новизни; у роботах [5, 7, 8, 35] – аналіз інформаційних джерел, ідея й способи підвищення працездатності кріплення, участь у стендових випробуваннях; у роботах [6, 40] – ідея постановки й керівництво проведенням науково-промислового експерименту, збір і відпрацьовування результатів геофізичних вимірів, формулювання положень відкриття; у роботах [12, 15, 21, 39] – аналіз аналітико-експериментальних досліджень і оцінка ефективності рішень по прогнозуванню стійкості виробок; у роботах [10, 11, 25] – ідея створення й вирішення завдання, обґрунтування ознак і новизни шахтного профілю; у роботах [16, 17] – розробка способів підтримання виробок і обґрунтування параметрів кріплення; у роботах [22, 23, 24, 24, 25, 26, 27, 28, 29] – ідея, обґрунтування й відмітні ознаки кріплень нового технічного рівня.

## АНОТАЦІЯ

Кириченко В.Я. Наукові основи підвищення стійкості виробок високоресурсним кріпленням в геодинамічних зонах очисної виїмки. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет» МОНмолодьспорт України, Дніпропетровськ, 2012.

Дисертація присвячена питанням надійної й економічної підтримки підготовчих виробок на основі методів і способів керування напруженим станом металорамних кріплень і масиву, що вміщує виробку.

Основна ідея роботи полягає у використанні явища утворення рухомих порушених зон навколо відслоненої поверхні (очисного вибою лави), що рухається для наукового обґрунтування й розробки високоресурсних металорамних кріплень, що забезпечують безпеку й ефективність підтримання підготовчих виробок у складних гірничо-геологічних умовах.

У роботі обґрунтовано новий підхід і вимоги до деформаційно-силових параметрів кріплень; надано нове уявлення закономірностей протікання деформаційних процесів у підроблюваному масиві; установлені характер і механізм взаємодії кріплення виробки й підроблюваного масиву; обґрунтований новий підхід керування надійністю виробок за рахунок попереднього резервування й оптимізації запасу міцності кріплення при очікуваному впливі напружено-деформованих зон, що переміщуються. Це дозволило обґрунтувати й розробити нові конструкції металорамних кріплень, замкових з'єднань і шахтного спецпрофілю, які забезпечують суттєве підвищення стійкості підготовчих виробок і зниження витрат на їх підтримання.

Ключові слова: метало-рамне кріплення, напружений стан порід, руйнування масиву, керування зусиллями, резервування надійності, стійкість виробок.

## **АННОТАЦИЯ**

Кириченко В.Я. Научные основы повышения устойчивости выработок высокоресурсными крепями в геодинамических зонах очистной выемки. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Государственный ВУЗ «Национальный горный университет» МОН молодежи и спорта Украины, Днепрпетровск, 2012.

Диссертация посвящена вопросам надёжного и экономичного поддержания подготовительных выработок на основе методов и способов управления напряжённым состоянием металлорамных крепей и вмещающего массива.

Основная идея работы заключается в использовании явления образования перемещающихся нарушенных зон в окрестности движущейся обнажённой поверхности (очистного забоя лавы) для научного обоснования и разработки высокоресурсных металлорамных крепей, обеспечивающих безопасность и эффективность поддержания подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях.

Обоснованы требования к силовым и кинематическим параметрам крепей. Установлено, что для обеспечения эксплуатационной устойчивости выработок наиболее эффективный интервал сопротивления крепи  $150 - 250 \text{ кН/м}^2$  и может увеличиваться (при глубине разработки более  $1000 \text{ м}$ ) до  $350 - 450 \text{ кН/м}^2$ , а более  $400 \text{ кН/м}^2$  – является нецелесообразным.

Впервые дано представление закономерностей протекания деформационных процессов в подрабатываемом массиве, заключающиеся в том, что впереди движущегося очистного забоя вслед за нарастающим волнообразным изменением напряжённого состояния пород в упругом режиме деформаций происходит (на удалении порядка  $1/2$  длины лавы) разрушение пород, обусловленное изменением соотношения компонента напряжений, с образованием перемещающихся нарушенных зон «сжатия – разуплотнения» с периодическим расщеплением породной толщи на структурные блочно-слоистые элементы, с приближением к очистному забою протяжённость этих зон снижается, а степень разрушения – увеличивается.

Установлено, что при взаимодействии зон – стационарной вокруг проведённой подготовительной выработки и движущейся впереди очистного фронта - наблюдается последовательное (по мере приближения забоя лавы) изменение внешнего граничного условия, проходящего ступенчато с нарастанием, в силу чего предельное равновесие нарушается и размеры зоны увеличиваются, а обеспечение устойчивости выработки достигается соответствующим увеличением внутреннего граничного условия, т.е. усилением крепи, которое должно упреждающе соответствовать приросту внешнего граничного условия, определяемому скоростью подвигания лавы и прочностными свойствами массива пород.

Обоснован научный подход к эффективному управлению надёжностью крепи, заключающийся в резервировании и оптимизации запаса прочности конструкции, что достигается формоизменением элементов крепи, их радиусным исполнением и сопряжённостью в узлах податливости, обеспечивающих сглаживание реакции крепи на воздействие перемещающихся напряжённо-деформированных зон пород. Установлено, что повышение предельной несущей способности крепи достигается дифференцированным изменением кривизны критического элемента, с увеличением которой по гиперболическому закону возрастает несущая способность (в 2 и более раз).

Определены необходимые значения силовых и кинематических параметров металлорамных крепей: предельная несущая способность комплекта не менее  $700 - 850 \text{ кН/раму}$ ; рабочее сопротивление не менее  $450 \text{ кН/раму}$ ; конструктивная податливость для трехзвенных конструкций до  $700 \text{ мм}$  и для многозвенных конструкций до  $1000 \text{ мм}$ . Это обеспечивается формоизменением сечения к эллипсной конфигурации и дифференцированным усилением образующих элементов, совершенствованием конструкции и расположения соединительных элементов крепи (узлов податливости), применением более совершенных способов гибки образующих сегментов крепи.

Разработаны конструкции крепей нового технического уровня (КШПУ-М, КЦЛ, КПП, КМП-А3(А4)Р2, КМП-А3(А5)Р2, КЦЛО). Типоразмерный ряд крепей охватывает максимальный диапазон сечений: от 9,5 до 25,5 м<sup>2</sup>. Всего создано 65 типоразмерных моделей. В новых конструкциях по сравнению с типовыми крепями достигнуто увеличение силовых характеристик в 1,5 – 2,0 и более раз.

Разработан новый профиль горячекатаный для крепей горных выработок – спецпрофиль СПА, в конструкции которого поперечное сечение днища выполнено переменной толщины, которое увеличивается от плоскости симметрии к участкам сопряжения с наклонными боковыми стенками, а нижние грани фланцев сопряжены с криволинейными опорными поверхностями фланцев и расположены под острым углом к горизонтальной плоскости. Принципиальным отличием и преимуществом профиля СПА является возможность использования принципа трения в желобе, реализация которого в узлах податливости крепи позволяет повысить уровень рабочего сопротивления на 30 – 50% и стабилизировать его значение.

Высокоресурсные крепи нового технического уровня внедрены в практику крепления подготовительных выработок на шахтах со сложными горно-геологическими условиями (ОАО «Павлоградуголь», ПАО «Ш/у «Покровское», ГП «Красноармейскуголь», ДУЭК, «Дзержинскуголь», Свердловантрацит», «Краснодонуголь» и др.), а также за рубежом (Болгария, Иран, Эстония). Подтверждённый экономический эффект – 93,7 млн грн.

Ключевые слова: металлорамная крепь, напряжённое состояние пород, разрушение массива, управление усилиями, резервирование надёжности, устойчивость выработок.

## ANNOTATION

Kirichenko V.Y. Scientific bases of mine workings stability increase by high-resource supports in geodynamic zones of stoping. – On the right of manuscript.

Doctor of technical sciences thesis on specialization 05.15.02 – Underground mining of mineral deposits. – State higher education instituton “National Mining University”, Dnipropetrovsk, 2012.

The thesis is dedicated to safe and economic maintenance of development workings based on methods of stress state management of metal-frame supports and host massif.

Basic idea of the work is usage of detected phenomena of dislocating fractured zones formation close to the moving exposed surface (longwall stope) for scientific substantiation and development of new constructions of metal-frame supports providing safety and effectiveness of development workings support in complex mining-geological conditions.

New approach and requirements for strain-force parameters of supports is substantiated; new representation of laws of strain processes flow within developed massif is given; character and interaction mechanism of support and developed massif is established; new approach of workings reliability management is substantiated by way of preliminary reserving and optimization of support durability reserve with expected influence of moving stress-strain zones.

It would allow to substantiate and develop new constructions of metal-frame, lock connections and mine special profile that provide significant increase of development workings stability and decrease of costs for their maintenance.

Key words: metal-frame magnetic, stressed state of the rocks, the destruction of the array, management efforts, reservation of reliability, stability working.

**КИРИЧЕНКО Володимир Якович**

**НАУКОВІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ВИРОБОК  
ВИСОКОРЕСУРСНИМ КРІПЛЕННЯМ В ГЕОДИНАМІЧНИХ  
ЗОНАХ ОЧИСН  
ВИЇМКИ**

(Автореферат)

Підписано до друку 26.03.12. Формат 60x90/16.

Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,0.

Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 120 пр. Зам. №76

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