

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

Негрій Сергій Григорович



УДК [622.02: 622.26: 622.83: 622'1] (043.5)

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ОХОРОНИ
ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ
В УМОВАХ СЛАБКИХ БІЧНИХ ПОРІД**

05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня доктора
технічних наук

Покровськ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, доцент

Єфремов Ігор Олексійович,

завідувач кафедри розробки родовищ корисних копалин
Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України (м. Покровськ)

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент

Гапсєв Сергій Миколайович,

завідувач кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України
(м. Дніпро)

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Курносів Сергій Анатолійович,

старший науковий співробітник відділу проблем розробки
родовищ на великих глибинах Інституту геотехнічної
механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпро)

доктор технічних наук,

Агафонов Олександр Васильович,

начальник управління з перспективного розвитку та науки
Дирекції з технічного розвитку та інвестицій ПрАТ
«Донецьксталь-металургійний завод» (м. Покровськ)

Захист дисертації відбудеться “ 21 ” вересня 2021 року о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.05 у ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України за адресою: 85300, Донецька обл., м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2, ауд. 3.318; тел. (0623) 52-17-90.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України за адресою: 85300, Донецька обл., м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2, ауд. 3.214.

Автореферат розісланий “ 16 ” серпня 2021 року.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 11.052.05,
доктор технічних наук

І.С. Лактіонов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вугілля є головним енергоносієм в Україні, гарантом її економічної й політичної незалежності, оскільки виступає стабільною основою для виробництва теплової та електричної енергії, палива, хімічної продукції, будівельних матеріалів, добрив, виплавки металу тощо. Незважаючи на те, що останнім часом простежується тенденція до зменшення обсягів споживання вугілля та перехід до альтернативних джерел енергії, цей енергоносіє не втратить своєї актуальності й має для країни стратегічне значення, оскільки близько 35 % обсягу виробництва електроенергії припадає на теплові електростанції. Частка ядерної генерації у виробітку електроенергії, що становить понад 51 %, робить Україну імпортозалежною через неможливість здійснення в країні замкненого ядерно-паливного циклу. Також треба враховувати, що вугільні підприємства є бюджетотворюючими для багатьох шахтарських містечок.

Перспективною вугільна галузь може бути тільки за умови зростання обсягів видобування вугілля, що пов'язане з необхідністю ведення гірничих робіт у складних гірничо-геологічних умовах і безперебійною роботою комплексно-механізованих вибоїв. У таких умовах стійка робота лав багато в чому залежить від експлуатаційного та безаварійного стану підготовчих виробок, які зазнають інтенсивні зміщення порід на контурі, коли потрапляють у зони тимчасового опорного тиску перед лавою та позаду неї.

Останнім часом, унаслідок ускладнення гірничо-геологічних умов та зменшення витрат на проведення виробок, частка систем розробки з підтриманням виробок позаду лав поступово збільшується (становить 44 % від загальної кількості діючих лав). Тому вкрай важливою є охорона виробок у зоні тимчасового впливу очисних робіт позаду лави, де, унаслідок виймання пласта та використання недостатньо ефективних засобів охорони, загальні зміщення порід покрівлі й підшви виробок майже в 4 рази перевищують зміщення, які були в масиві поза зоною впливу лави. Ще гіршою буде ситуація в умовах слабких бічних порід, у яких застосування засобів охорони є специфічним. Зокрема, збільшення жорсткості цих споруд нівелюється їх вдавлюванням (просіданням) у породи підшви, що спричиняє видавлювання останніх у виробку, значне осідання покрівлі та втрату перетину виробки. Збільшення піддатливості (усадки) засобів охорони, навіть за меншої величини вдавлювання, знов призводить до суттєвого осідання покрівлі. Тоді необхідною є взаємодія засобу охорони та слабких бічних порід в єдиній геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи», коли управлінням напружено-деформованим станом (НДС) системи можна забезпечити стійкість виробки позаду лави. Установлення закономірностей управління НДС такої системи дозволить створити основу для вдосконалення існуючих або розробки нових ресурсозберігаючих технологій охорони.

На жаль, для вирішення технічних завдань забезпечення стійкості підготовчих виробок позаду лав в умовах слабких бічних порід недостатньо накопичено та викладено як теоретичні, так і узагальнені емпіричні відомості щодо вирішення наукової проблеми, яка полягає у визначенні закономірностей,

характеристик і параметрів охорони підготовчих виробок на основі досліджених механічних явищ у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи».

Таким чином, охорона підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід є науково-технічною проблемою, яка має важливе наукове, техніко-економічне та соціальне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано у відповідності до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року», затвердженої Законом України від 21.04.2011 р. № 3268-VI, пріоритетного тематичного напрямку наукових досліджень «Технології виявлення і оцінки корисних копалин, їх раціонального екологічно безпечного видобування», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 07.09.2011 г. № 942, а також з пріоритетними тематичними напрямками наукових досліджень ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (ДВНЗ ДонНТУ), згідно з наказом МОНМС України від 07.07.2011 р. № 535 «Високоєфективне встаткування й ресурсозберігаючі технології в гірничий, геологорозвідувальній і нафтовій галузях промисловості», у рамках держбюджетних тем ДВНЗ ДонНТУ: «Розробка проекту нормативного документу з використання анкерного кріплення для забезпечення стійкості гірничих виробок глибоких шахт» (держ. реєстрація № 0107U012803, 2008 р.); «Розробка і впровадження нетрадиційних ресурсозберігаючих технологій управління напружено-деформованим станом гірського масиву навколо виробок» (держ. реєстрація № 0110U001053, 2010-2011 рр.); «Розвиток теоретичних основ управління геомеханічним станом дискретного породного масиву для забезпечення стійкості підготовчих виробок глибоких шахт», (держ. реєстрація № 0111U002118, 2011-2012 рр.); «Удосконалення способів підвищення стійкості гірничих виробок в умовах глибоких шахт» (держ. реєстрація № 0117U004316, 2015-2017 рр.), «Дослідження кінетики зміщень порід в підготовчих виробках для розробки заходів щодо забезпечення їх експлуатаційного безпечного стану» (держ. реєстрація № 0117U004317, 2017р.). У цих НДР автор брав участь як науковий керівник та співвиконавець.

Мета роботи полягає у розвитку наукових основ охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід для обґрунтування ефективних ресурсозберігаючих технологій щодо забезпечення стійкості виробок, які ґрунтуються на управлінні напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи».

Для досягнення поставленої мети визначено та розв'язано такі **наукові задачі та практичні завдання**:

1. Визначити технічні основи ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід.

2. Встановити закономірності управління напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» на основі дослідження деформаційних процесів у засобах охорони та навколишніх породах в умовах слабких бічних порід.

3. Виконати геомеханічне обґрунтування способів управління станом порід

навколо засобів охорони та розробити заходи щодо забезпечення стійкості цих споруд в умовах слабких бічних порід.

4. Обґрунтувати конструктивні рішення щодо створення ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок і створити теоретичні основи для визначення параметрів даних технологій.

5. Розробити технологічні схеми та визначити умови ефективного застосування розроблених технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід.

Ідея роботи полягає у використанні виявлених закономірностей управління напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» для обґрунтування ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони виробок позаду лав.

Об'єкт дослідження – стійкість підготовчих виробок, що підтримуються позаду лав в умовах слабких бічних порід.

Предмет дослідження – технології охорони гірничих виробок, що ґрунтуються на управлінні напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи».

Методи досліджень: аналіз і узагальнення сучасних науково-технічних досягнень в області охорони підготовчих виробок; шахтні інструментальні спостереження; аналітико-експериментальний метод прогнозу зміщень порід покрівлі підготовчої виробки позаду лави; методи механіки гірських порід, ґрунтів та сипкого середовища; фізичні моделювання на натурних й еквівалентних матеріалах; чисельне комп'ютерне моделювання (метод скінченних елементів) із застосуванням методів планування експерименту; статистична обробка результатів експериментів; аналіз та інтерпретація отриманих результатів; дослідно-промислові випробування розроблених технологій охорони виробок.

Наукові положення, що виносяться на захист та їх новизна:

1. Уперше визначено основні закономірності й параметричні зв'язки для розташування охоронних конструкцій з рядової породи та обмежуючих поверхонь у формі трапецієподібних призм та прямокутних паралелепіпедів з обов'язковою їх орієнтацією вужчою гранню до виробки та залишенням між ними компенсаційних порожнин для перерозподілу напружень у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» і спрямування зусиль витискування у порожнини та вироблений простір для забезпечення експлуатаційного стану виробки. При цьому лінійні розміри таких опор та порожнин визначаються з врахуванням висоти приви́бійного простору та кута внутрішнього тертя підстилаючих порід.

2. Дістали подальшого розвитку дослідження закономірностей розподілу напружень над засобами охорони в зоні впливу очисних робіт, які досягають величини, що дорівнює $1,5\gamma H$, та є результатом формування навантаження на засоби, через які близько 90 % величини цього навантаження передається на підстилаючі породи, у результаті чого спостерігаються усадки та просідання засобів, величини яких визначаються за встановленими багатофакторними залежностями з урахуванням діючого навантаження на засіб, його ширини, висоти та деформаційних характеристик, а також потужності верхнього шару порід

підосви та характеристик його стиснення, що дозволяє прогнозувати зміщення порід покрівлі виробки, яка охороняється, на ділянці тимчасового опорного тиску позаду лави, залежно від потужності вугільного пласта, його фізико-механічних характеристик та вміщуючих порід, параметрів кріплення кінцевої ділянки лави, параметрів засобу охорони та ширини виробки.

3. Уточнено наукові дані щодо просідання засобів охорони відносно поверхні слабких підстилаючих порід та встановлено, що цей процес є циклічним і відбувається на ділянці залишкового тертя зруйнованих порід, коли загальні поздовжні деформації підстилаючого шару порід досягають 12 %, а напруження від дії засобу охорони перевищують опір зруйнованих порід стисненню на межі залишкової міцності, що визначається з урахуванням уточненого логарифмічного кореляційного зв'язку між відносною залишковою міцністю осадових порід і їх граничною міцністю на стискання в зразку. Це дає змогу оцінювати стійкість геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» та приймати рішення щодо створення локальної укріпленої зони під засобом охорони, ефективність застосування якої визначається з урахуванням: навантаження з боку засобу охорони, його ширини, деформаційних характеристик і геометричних параметрів локальної укріпленої зони та деформаційних характеристик і потужності порід підосви.

4. Дістали подальший розвиток дослідження щодо особливостей розподілу напружень у засобах охорони з рядової породи, які є елементом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», та встановлено, що рівновага в цій системі забезпечується використанням обмежуючих поверхонь, у якості яких можуть бути металеві сітчасті перегородки та стінки з мішків, з якими загальна ширина споруд перебуває в діапазоні від $3h$ до $6h$ (де h – початкова висота споруди), піддатливість – від $0,08 h$ до $0,3 h$, а їхні параметри визначаються з урахуванням гранулометричного складу закладного породного матеріалу та розміру чарунок (у перегородках) і міцності арматури (волокон) на розтягнення та пустотності породи (у мішках), що дозволяє забезпечувати стійкість підготовчих виробок позаду лав застосуванням ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони.

Наукове значення роботи полягає у вирішенні наукової проблеми щодо визначення закономірностей, характеристик і параметрів охорони підготовчих виробок на основі досліджених механічних явищ у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи», що дозволило розвинути наукові основи охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід та обґрунтувати параметри ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони виробок позаду лав.

Практичне значення одержаних результатів полягає в:

1. Розробці методики прогнозування зміщень порід покрівлі підготовчих виробок, що охороняються позаду лави в умовах слабких бічних порід, з урахуванням зміщень порід над крайовою частиною пласта, кінцевою ділянкою та на ділянці просідання й усадки засобу охорони.

2. Обґрунтуванні критерію стійкості порід під засобом охорони та умови стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи».

3. Розробці технології забезпечення стійкості засобів охорони на слабких підстилаючих породах підосви створенням під ними локальних укріплених зон.

4. Розробці ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок, які захищені патентами та ґрунтуються на застосуванні стрічкових та окремо розташованих конструкцій з рядової породи та обмежуючих поверхонь, у якості яких використовуються сітчасті перегородки та (або) стінки з мішків.

5. Розробці ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок, які захищені патентами та передбачають створення відокремлених опор зі спеціальними формами, між якими мають залишатися компенсаційні порожнини для перерозподілу напружень у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» та спрямування зусиль витискування від виробки, що охороняється;

6. Розробці методики вибору й визначення раціональних параметрів технологій охорони підготовчих виробок, у тому числі в умовах слабких бічних порід;

7. Розробці технологічних схем охорони підготовчих виробок позаду лав в умовах слабких бічних порід.

Реалізація результатів роботи.

Результати виконаних досліджень використані при формулюванні рекомендацій щодо забезпечення експлуатаційного й безпечного стану підготовчих виробок та кінцевих ділянок очисних вибоїв, які передбачали впровадження нових технологій охорони в умовах «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» (очікуваний економічний ефект від 1077,10 до 6452,09 грн. на 1 п.м виробки (у цінах 2020 року), шахт ім. Є.Т. Абакумова (економічний ефект 6303,33 грн./м (у цінах 2011 р.)) та «Щегловська-Глибока» (економічний ефект 200, 00 грн./м (у цінах 2011 р.)).

Практичні результати роботи використані в навчальному процесі ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України при викладанні дисциплін «Сучасні способи ефективного підвищення стійкості гірничих виробок», «Розробка родовищ корисних копалин у складних гірничо-геологічних умовах», «Охорона гірничих виробок».

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується: коректністю сформульованих задач; достатнім обсягом натурних спостережень; коректним застосуванням апробованих методів аналізу й обробки експериментальних даних; коректністю постановки й вирішення завдань із застосуванням фундаментальних положень механіки гірських порід, ґрунтів та дискретного середовища; використанням апробованих методів скінчених елементів і статистики; достатнім обсягом лабораторних експериментів; задовільною збіжністю результатів експериментальних і теоретичних досліджень (до 15 %); результатами позитивного використання розроблених технологій та оцінкою їх ефективності.

Особистий внесок здобувача полягає у: формулюванні наукової задачі, мети й основних завдань досліджень, ідеї роботи, її основних положень, висновків і рекомендацій; постановці та проведенні натурних і лабораторних експериментів, обробці й аналізі їх результатів; розробці методики прогнозу зміщень та визначення міцнісних та деформаційних характеристик гірських порід; розробці технологій охорони підготовчих виробок та їх упровадженні; апробації результатів роботи й виконанні НДР. Зміст дисертації викладено автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Наукові та прикладні результати дисертації

обговорювалися й одержали схвалення на: Міжнародній конференції «VIII szkoła geomechaniki» (Польща, м. Глівіце-Устронь, 2007 р.); Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених, аспірантів та студентів «Вдосконалення технології будівництва шахт та підземних споруд» (Україна, м. Донецьк, 2007, 2008, 2010-2013 р.); Регіональній науково-практичній конференції «Проблеми гірничої технології» (Україна, м. Красноармійськ, 2008 р., 2010 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології підземного будівництва та видобування корисних копалин» (Україна, м. Алчевськ, 2008 р.); II-ої міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Перспективи освоєння підземного простору» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2008 р., 2011 р., 2016 р.); VI та VII Krakowska konferencja mlodych uczonych (Польща, м. Краків, 2011 та 2012 р.); VI-ій науково-практичній конференції «Донбас-2020: Наука і техніка – виробництву» (Україна, м. Донецьк, 2012 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні технології розробки родовищ корисних копалин» (Україна, м. Донецьк, 2013 р.); I та II Міжнародних науково-практичних форумах «Технології і процеси у гірництві та будівництві» (Україна, м. Донецьк, 2013 р., 2014 р.); Міжнародному форумі-конкурсі молодих учених «Проблеми надрокористування» (РФ, м. Санкт-Петербург, 2011, 2012, 2014 р.); Днях науки в ДонНТУ «Наука Донбасу – від теорії до практики» (Україна, м. Красноармійськ, 2015 р.); III-IX Міжнародних науково-практичних конференціях «Технології і процеси у гірництві та будівництві» (Україна, м. Покровськ, 2015-2020 р.); Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (Україна, м. Кривий Ріг, 2016 р.); VIII Міжнародному науково-практичному форумі «Донбас 2020: перспективи розвитку очима молодих учених» (Україна, м. Покровськ, 2016 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток промисловості та суспільства» (Україна, м. Кривий Ріг, 2017 р.), XIII міжнародній науково-практичній конференції «Українська школа гірничої інженерії» (Україна, м. Бердянськ, 2019 р.), IV науково-практична конференція “Scientific achievements of modern society” (Велика Британія, Ліверпуль, 2019 р.), II International Conference Essays of Mining Science and Practice (Україна, Дніпро, 2020 р.).

Публікації. Результати дисертації викладено в 54 наукових працях (11 – одноосібні): 22 праці опубліковано у виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, з яких 10 – у періодичних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, у тому числі 1 – у базах Scopus та WoS; 22 праці – у збірниках матеріалів конференцій, у тому числі 7 – за кордоном, з яких 3 включені до наукометричних баз Scopus та WoS; 1 патент України на винахід та 4 патенти на корисну модель; 5 публікацій у періодичних виданнях, які додатково відображують наукові результати дисертації.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (397 позиції) на 44 сторінках, 21 додаток на 135 сторінках; містить 172 рисунки і 5 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 566 сторінок; основний текст – 309 сторінок.

Автор висловлює щире подяку доктору технічних наук, професору

М. М. Касьяну за науково-консультативну допомогу в процесі виконання роботи, доктору технічних наук І. Г. Сахно за допомогу при виконанні інструментальних спостережень і впровадженні результатів досліджень, доктору технічних наук, професору С. В. Подкопаєву за цінні поради, які дозволили завершити дослідження.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, зазначено ідею роботи, мету, об'єкт, предмет й основні завдання дослідження; сформульовано наукові положення й їхню наукову новизну, окреслено наукове та практичне значення отриманих результатів, наведено дані щодо їх упровадження й апробації.

У **першому** розділі виконано аналіз науково-технічних передумов розвитку наукових основ охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід, у межах якого: вивчено питання підтримання підготовчих виробок для забезпечення їх експлуатаційного та безпечного стану, проаналізовано наявні засоби охорони таких виробок, визначено перспективи розробки технологій охорони виробок в умовах слабких бічних порід та здійснено вибір технічних основ щодо створення цих технологій. Усе це дозволило сформулювати мету, завдання та методи для виконання дисертаційного дослідження.

Вагомий внесок у вирішення проблеми охорони гірничих виробок вугільних шахт внесли вчені вищих навчальних закладів МОН України (ДВНЗ ДонНТУ, НТУ «Дніпровська політехніка», НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», ДонДТУ), науково-дослідних та галузевих інститутів, підпорядкованих Міненерговугілля (ДонВУГІ, ДНДІОМШБ), НАН України (ІГТМ, ІФГП, УкрНДМІ) та ін. Їхні досягнення становлять наукові основи для розробки, удосконалення та практичної реалізації технологій проведення й охорони підготовчих виробок.

З великого різноманіття заходів з підтримання підготовчих виробок в широкому спектрі гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов гірнична наука не стоїть на місці, а для отримання технологічної та економічної ефективності створює підґрунтя для нових та вдосконалення наявних технологій охорони. Це особливо важливо в умовах ускладнення гірничо-геологічних умов і реформування вугільної галузі, коли є необхідність у застосуванні ефективних ресурсозберігаючих технологій, сукупність яких визначає прогресивність системи розробки. Зокрема, до прогресивних систем розробки відносять комбіновані з повторним використанням підготовчих виробок.

При повторному використанні є проблема забезпечення експлуатаційного й безпечного стану виробок, оскільки вони підтримуються позаду лави в зонах впливу очисних робіт та усталеного опорного тиску. У таких зонах основним заходом щодо забезпечення експлуатаційного й безпечного стану виробки є залишення охоронних ціликів або застосування засобів охорони. Засоби охорони мають різну ефективність та відрізняються: вартістю, способами реалізації, областями застосування, розмірами, формами й матеріалами конструкцій, а також несучою здатністю й піддатливістю. Найпоширенішими («традиційними») є засоби охорони, які рекомендуються до застосування галузевими технологічними схемами та стандартами (бутові та литі смуги, дерев'яні костри, тумби БЗБТ, бутокостри,

кущі й органні ряди). Також є інноваційні засоби, які були розроблені й довели ефективність у певних гірничо-геологічних умовах. Проте більшість з наявних засобів виявилися недостатньо ефективними в умовах слабких бічних порід, якими є гірські породи з міцністю на одновісний стиск у зразку $\sigma_{ст}$ до 40 МПа.

Слабкі бічні породи характерні для Північного Донбасу, Петриківського, Павлоградсько-Петропавлівського, Новомосковського, Лозовського, Південно-Донбаського, Покровського та Лисичанського вугленосних районів, що є перспективними за запасами та марочним складом вугілля. У їх товщі залягають переважно аргіліти, алевроліти, глинисті та піщанисті сланці міцністю на одновісний стик від 10 до 37 МПа. На досягнутих глибинах розробки ці породи належать до категорій: від дуже нестійких до середньостійких (для покрівель) та схильних до здимання (для підшов). У таких умовах, на слабкій підшві з жорсткими засобами охорони буде спостерігатися їх просідання відносно поверхні підстилаючих порід, а з піддатливими засобами – усадка споруд з подальшим просіданням. Усе це обов'язково призведе до розшарування слабких порід покрівлі над засобом та погіршення стану виробки, що охороняється. У таких умовах наявні засоби охорони мають обмеження в застосуванні, оскільки ігнорується їхня взаємодія з навколишніми породами.

Тому в умовах слабких бічних порід існує потреба щодо вдосконалення та розробки нових маловитратних технологій охорони, що ґрунтуються на управлінні НДС у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи», які є сукупністю засобу охорони й навколишніх порід, що перебувають у тісному взаємозв'язку. Це досягається обмеженням піддатливості засобів зі збереженням стійкості порід підшви або переспрямуванням напружень від виробки застосуванням засобів охорони зі спеціальними формами.

Ще однією важливою умовою, є зменшення витрат на реалізацію засобів охорони використанням дешевих матеріалів та виконанням нетрудомістких операцій при реалізації. Тому доцільним є застосування конструкцій з рядової породи з обмеженням піддатливості, зменшення розмірів та обсягу використовуваної породи. Для цього разом з породою використовуються обмежуючі поверхонь, якими можуть бути дерев'яні стійки, тканина, гумові або паперові покриття, металеві листи, стрижні тощо.

Аналіз недоліків «традиційних» засобів охорони дозволив визначити пріоритети в удосконаленні наявних або розробці нових технологій (рис. 1) та сформулювати їх сутність, яка полягає в управлінні НДС у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» застосуванням маловитратних засобів (використання рядової породи) зі спеціальними конструктивними особливостями. Для наукового обґрунтування даних технологій важливим є проведення досліджень щодо виявлення особливостей поведінки бічних порід навколо виробок та засобів охорони.

Тому **другий** розділ присвячений дослідженню процесів деформування та руйнування слабких гірських порід навколо підготовчих виробок та засобів охорони.

Було проведено шахтні експерименти та спостереження за станом підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1», шахт: «Щегловська-Глибока», імені Є. Т. Абакумова,



Рис. 1. Структурно-логічна схема щодо виключення недоліків засобів охорони з метою розробки нових технологій охорони виробок

М. С. Сургая та В. М. Бажанова. Незважаючи на відмінності в гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах механізми розвитку деформацій навколо розглянутих виробок були однотипні, а саме: зміщення покрівлі за шириною привибиїного простору в напрямку від лави збільшуються за лінійним законом; зміщення порід покрівлі та підшви виробки залежать від стійкості засобів охорони та бічних порід; при слабких породах підшви засоби охорони вдавлюються в них, що є причиною зміщень порід покрівлі над ними та виробками; охоронні споруди зазнають позацентрове навантаження від ваги порід покрівлі, які нависають; збільшення жорсткості засобів охорони в умовах слабких порід підшви нівелюється їх вдавлюванням у ці породи; за недостатньої ширини бутових смуг спостерігаються їх значні поперечні деформації та розповзання.

Оскільки інтегральним показником ступеня прояву гірського тиску у виробках є величина зміщень їх контуру, на основі шахтних спостережень було здійснене обґрунтування методики розрахунку зміщень порід у підготовчих виробках у зоні впливу очисних робіт позаду лави. Згідно з КД 12.01.01.503-2001 і гіпотез Z. Zhang, В.Т. Давідянца, Г.Г. Литвинського та Г.І. Гайка, було прийнято лінійність взаємозв'язків між зміщеннями порід покрівлі над крайовою частиною пласта U_{nl} , привибиїним простором кінцевої ділянки U_{ne} , охоронною спорудою U_o та над виробкою U_k^6 . Тоді зміщення порід покрівлі у виробці в зоні впливу лави позаду неї визначаються виразом

$$U_k^6 = \frac{m(x_* \cos \beta + 0,5B)}{B + (x_* + a + 0,5b) \cos \beta} \ln \left[\frac{\left[\frac{\gamma \operatorname{tg} \rho_6 (H + 2,22 f_{cp} \sqrt{H} + 1,4 f_{cp}^2) + 1}{C_6} \right]^{\frac{m\alpha}{2\lambda \operatorname{tg} \rho_6}}}{2\sqrt{\lambda} \operatorname{tg} \rho_6 + 1} + (a_0 + nr)\alpha + \xi'_o \right], \quad (1)$$

де m – потужність пласта, м; B – ширина виробки у проходці, м; b – ширина засобу охорони, м; x_* – довжина ділянки віджатоного вугілля в боку виробки, м; β – кут між площиною пласта та поверхнею підшви виробки, град.; a – відстань від кріплення виробки до засобу охорони, м; γ – об'ємна вага порід покрівлі, кН/м³; H – глибина

розробки, м; α – розмірний коефіцієнт зближення бічних порід, м^{-1} ; ρ_θ – кут внутрішнього тертя вугілля, град.; λ – коефіцієнт бічного розпору, од.; C_θ – зчеплення вугілля, кПа; f_{cp} – показник питомої міцності порід, $\text{м}^{1/2}$; a_0 – відстань від вугільного вибою до першого ряду стійок кріплення, м; r – відстань між рамками кріплення, м; n – кількість проходів у кріпленні; ξ'_o – відносне осідання порід покрівлі над засобом охорони при його усадці ε_o та просіданні $\mathcal{G}_\theta$, од.

Наявність тріщин та відкритих пор у зруйнованих породах під засобом охорони впливає на формування напруженого стану, що робить їх подібними ґрунтовим масивам. Тому для дослідження деформаційних процесів було використано деякі положення механіки ґрунтів, а за допомогою теорії розмірностей отримано функціональні залежності напружень від дії засобу охорони на породи підосви σ_o , загальних зміщень порід покрівлі над засобом охорони U_o та його просідання U_θ від чинників впливу, які будуть мати загальний безрозмірний вигляд, відповідно:

$$\frac{\sigma_o}{\sigma} = \Phi\left(\frac{\Delta h}{h}; \frac{b}{h}; \mu_o; m_v E_o; \frac{h_n}{b}\right), \quad \frac{U_o}{h} = \Phi\left(\frac{\sigma}{E_o}; \frac{b}{h}; \mu_o; m_v E_o; \frac{h_n}{b}\right) \text{ та } \frac{U_\theta}{h_n} = \Phi(\sigma_o m_v), \quad (2)$$

де σ – напруження на контакті порід покрівлі та засобу охорони, МПа; h та b – початкові, відповідно, висота та ширина засобу охорони, м; Δh та Δb – відповідно, величина його усадки та поперечна деформація, м; E_o та μ_o – відповідно, модуль загальної деформації (МПа) та коефіцієнт поперечних деформацій засобу охорони (од.); h_n – потужність шару безпосередньої підосви, м; m_v – коефіцієнт відносної стисливості цих порід, МПа^{-1} , який визначається виразом (за М. О. Цитовичем)

$$m_v = \left(1 - \frac{2\mu_n^2}{1 - \mu_n}\right) / E_n. \quad (3)$$

де E_n – модуль загальної деформації шару безпосередньої підосви, МПа; μ_n – коефіцієнт відносної поперечної деформації цього шару, од.

Для отримання математичних моделей залежностей (2) здійснено чисельне моделювання методом скінчених елементів процесу деформування засобів охорони та порід підосви з використанням пружно-пластичної моделі Мора-Кулона.

Для визначення величини навантаження на засіб охорони було відпрацьовано модель у режимі заданих деформацій (рис. 2). За вихідні дані було взято результати інструментальних спостережень в умовах «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1». Встановлено, що напруження від дії навантаження на засіб охорони в зоні впливу очисних робіт позаду лави σ знаходяться в межах діапазону $(1,1 \dots 1,5) \gamma \text{Н}$.

Для встановлення емпіричних формул функцій (2) у режимі заданих навантажень відпрацьовано 625 чисельних моделей (рис. 2) з різними геометричними параметрами та фізико-механічними характеристиками засобу охорони і підстиляючих порід ($\sigma=5,3 \dots 42,3$ МПа; $E_o=0,2 \dots 14$ ГПа; $b=1 \dots 12$ м; $h=0,8 \dots 2,5$ м; $\mu_o=0,1 \dots 0,4$; $\mu_n=0,1 \dots 0,4$; $E_n=0,1 \dots 10$ ГПа; $h_n=1 \dots 8$ м). Комбінації цих параметрів і характеристик для збереження репрезентативності результатів прийняті згідно з планом експерименту на основі латинського кубу.

За результатами моделювання та оцінки значущості факторів встановлено

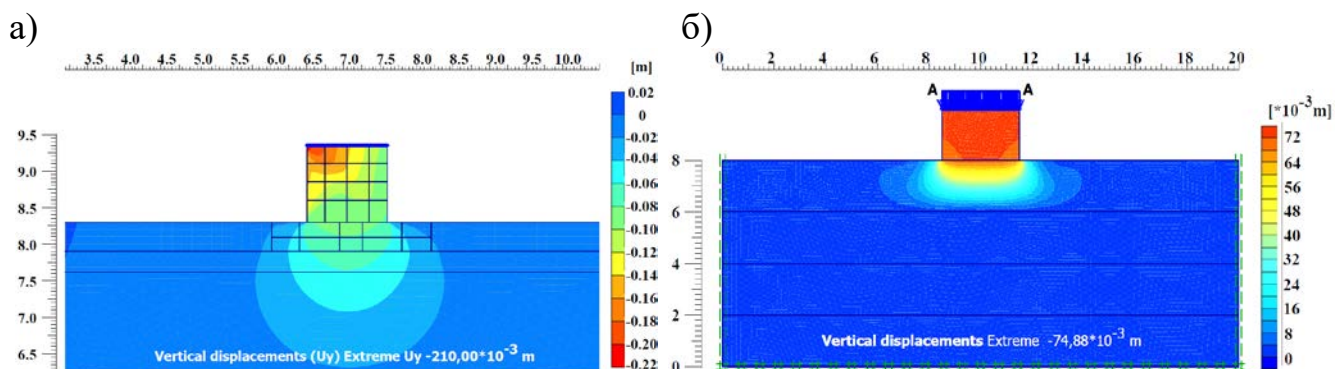


Рис. 2. Розподіл ізоліній вертикальних зміщень в охоронних конструкціях та породах підшви при відпрацюванні окремих моделей у режимах заданих деформацій (а) і заданого рівномірно розподіленого навантаження (б)

такі емпіричні залежності:

$$\sigma_o = 0,906\sigma; \quad (4)$$

$$(R^2=0,944; t>t_{кр}(102,5>1,96); F>F_{кр}(10502>3,86))$$

$$U_g = 0,835m_v\sigma_o h_n; \quad (5)$$

$$(R^2=0,901; t>t_{кр}(75,3>1,96); F>F_{кр}(1883,9>2,62))$$

$$U_o = 0,739\sigma m_v \sqrt{bh_n} e^{0,057m_v^o/m_v}, \quad (6)$$

$$(R^2=0,904; t>t_{кр}(76,6>1,96); F>F_{кр}(969,9>2,11))$$

де m_v^o – показник відносної стисливості масиву, який еквівалентний матеріалу охоронної споруди, МПа⁻¹.

Як впливає з виразу (4), через засіб охорони на підстиляючі породи передається близько 90% навантаження незалежно від параметрів охоронної споруди й напруження на їх контакт складають $(1,0...1,3)\gamma H$.

Враховуючи, що $\sigma = k\gamma H$ (k – коефіцієнт концентрації напружень від дій порід покрівлі на засіб охорони), з (6) відносне усереднене осідання порід покрівлі над засобом охорони може бути визначено за формулою

$$\xi'_o = \frac{0,739k\gamma H m_v}{1000} \frac{\sqrt{bh_n}}{h} e^{0,057m_v^o/m_v}, \quad (7)$$

яка показала розбіжність з експериментальними даними до 7,5 % і разом з виразом (1) була використана для розробки «Методики прогнозування зміщень порід покрівлі підготовчих виробок, що охороняються позаду лави в умовах слабких бічних порід».

В результаті факторного аналізу залежності (1) було встановлено, що основними чинниками впливу на зміщення U_k^g є: m , H , α , x^* та h_n , а також фактори, якими при певних умовах можна управляти (ширина привибійного простору (a_0+nr) , ширина b , відстань a , а також показник m_v , який залежить від деформаційних характеристик порід і визначає величину просідання засобу охорони).

Таким чином, для забезпечення стійкості виробок в умовах слабких бічних порід, особливу увагу необхідно приділити якості та параметрам кріплення кінцевої ділянки із забезпеченням мінімального відставання вибою засобу охорони від лави, а також стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», яка

досягається зменшенням усадки та просідання засобу при зміні деформаційних характеристик засобу та порід і параметрів засобу охорони.

У **третьому** розділі обґрунтовано способи управління геомеханічним станом слабких бічних порід навколо засобів охорони.

Місце спорудження засобів охорони припадає на зону зруйнованих порід, яка повністю або частково на цей момент сформувалась. Тоді опір підстилаючих порід

$R_{зал.}$ (МПа) навантаженням, що діють від засобу, визначається їх залишковою міцністю $\sigma_{зал.}$ (МПа) на ділянці залишкового тертя зруйнованих порід (рис. 3), а стійкість – умовою $R_{зал.} \geq k'\gamma H$ (k' – коефіцієнт концентрації напружень на контакті засобу охорони та порід підосви). Деформації порід на цій ділянці відбуваються в результаті їх циклічного навантаження, яке спричинює закриття тріщин у ньому та утворення структурних зв'язків, після чого спостерігається їх квазіпружне деформування з модулем E_n до моменту поки діючі напруження знов не перевищать залишкову міцність, що спричинить порушення структурних зв'язків та ущільнення порід. Після цього цикли можуть повторюватися.

Деформації порід на кожному циклі є нелінійними, визначаються напруженнями з боку засобу охорони $k'\gamma H$ та показником стисненості підстилаючих порід m_v . Тоді з виразу (5) загальне відносне просідання засобу визначається формулою

$$\varepsilon^* = 0,835 m_v k' \gamma H. \quad (8)$$

Просідання засобу охорони має місце, коли деформації підстилаючих порід пройшли стадію domeжних та спадну ділянку позаomeжних деформацій

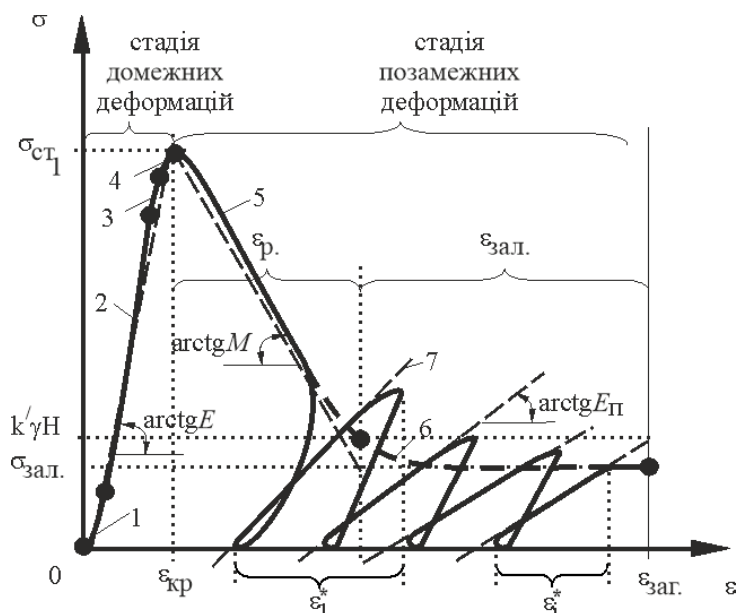


Рис. 3. Діаграма деформування гірської породи в режимі заданих деформацій (1 – ущільнення за рахунок зміни пористості; 2 – стиснення скелета гірської породи; 3 – виникнення мікродефектів; 4 – проростання мікродефектів і зростання ізольованих тріщин; 5 – поширення відкритих тріщин і зниження загальної міцності; 6 – залишкове тертя зруйнованих порід; 7 – лінія, що співпадає з нахилом петлі гістерезису; $\sigma_{сг1}$ та $\sigma_{зал.}$ – напруження на межі, відповідно, граничної та залишкової міцностей;

$\varepsilon_{кр}$ та $\varepsilon_{зал.}$ – поздовжні деформації на межах, відповідно, граничної та залишкової міцностей;

$\varepsilon_{заг}$ та ε_p – поздовжні деформації, відповідно, загальна та на ділянці зниження загальної

міцності; E – умовно-миттєвий модуль деформації породи; E_n – модуль деформації на межі залишкової міцності; M – модуль спаду;

$k'\gamma H$ – напруження в результаті дії навантаження з боку засобу охорони; $\varepsilon_1^*, \dots, \varepsilon_i^*$ – поздовжні деформації зруйнованих порід на відповідному циклі деформування)

(рис. 3) і дорівнюють $(\varepsilon_{кр} + \varepsilon_p)$. Для визначення цих деформацій було лінеаризовано діаграму, використано результати досліджень з визначення співвідношення ε_p до $\varepsilon_{кр}$, яке дорівнює 3,0 (О.Б. Фадєєв) і 2,8...3,4 (Г.В. Бабіюк), та кореляційних зв'язків між граничною міцністю порід у зразку $\sigma_{смз}$ та умовно-миттєвим модулем їх деформації E (D.U. Deere, D.W. Hobbs, Ю.М. Карташов, В.В. Ржевський та ін.).

Для слабких гірських порід перспективних вугленосних районів було отримано кореляційну залежність $\sigma_{смз}$ від E , яка має вигляд

$$\sigma_{смз} = 0,0028E \quad (R^2=0,834), \quad (9)$$

де множник 0,0028 є критичною поздовжньою деформацією $\varepsilon_{кр}$ для шару слабких гірських порід.

Тоді $\varepsilon_p=0,008...0,01$, а $(\varepsilon_{кр}+\varepsilon_p)=0,011...0,012$. Тобто просідання засобу охорони відбувається, коли загальні поздовжні деформації шару порід підосви досягнуть 12 %.

Залишкова міцність $\sigma_{зал.}$ для різних порід спрощено береться в діапазоні (0,03...0,95) $\sigma_{смз}$, що не дає точного рішення. Тому було використано результати досліджень Tutluoğlu, де встановлено кореляційний зв'язок між відносною залишковою міцністю порід $\sigma_{зал.}/\sigma_{смз}$ та граничною міцністю $\sigma_{смз}$, але для магматичних, метаморфічних та осадових порід у широкому діапазоні міцностей.

Для вуглевмісного масиву перспективних районів Донбасу отримано кореляційну залежність, що має вигляд

$$\frac{\sigma_{зал.}}{\sigma_{смз}} = -0,1 \ln \sigma_{смз} + 0,47 \quad (10)$$

$$(R^2=0,94; t>t_{кр} (102,19>3,18); F>F_{кр} (25,14>9,55))$$

і може бути використана для визначення опору підстиляючих порід за виразом

$$R_{зал.} = \left[0,47 - 0,1 \ln \sigma_{смз} \right] \sigma_{смз} k_c k_w k_t, \quad (11)$$

де k_c – коефіцієнт структурного ослаблення порід; k_w – коефіцієнт, що враховує знеміцнення обводнених порід; k_t – коефіцієнт, що враховує зменшення опору породи при тривалому навантаженні.

Умовою стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» буде забезпечення рівноваги між діючими напруженнями з боку порід покрівлі $k\gamma H$ (МПа), несучою здатністю засобу охорони $P_{охор.}$ (МПа) і опором порід $R_{зал.}$, тобто

$$\min(P_{охор.}; R_{зал.}) \geq k\gamma H, \quad (12)$$

звідки випливає, що для виконання умови необхідне збільшення несучої здатності засобу, опору порід підосви $R_{зал.}$ або управління НДС над засобом.

Для збільшення опору слабких порід підосви запропоновано створення локальної укріпленої зони (ЛУЗ), яка здатна утримувати чинні навантаження від нього (рис. 4) за рахунок її заглиблення щодо поверхні підосви та спрямування напружень вглиб масиву.

Для визначення ефективності ЛУЗ виконані фізичне та чисельне моделювання із заміщенням засобу охорони та ЛУЗ цілісною конструкцією (рис. 5), з яких встановлено, що: закладення ЛУЗ дозволяє зменшити зміщення у виробці та зберегти понад 82 % її поперечного перетину; використання жорстких охоронних конструкцій

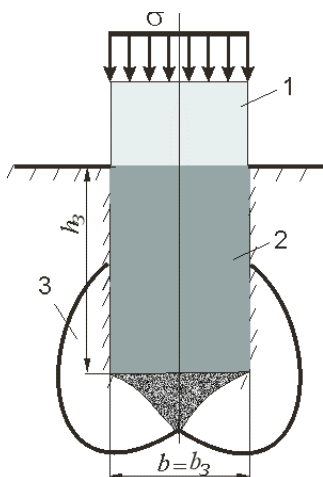


Рис. 4. Схема розміщення засобу охорони 1 над прямокутною ЛУЗ глибокого закладення 2 (3 – область граничної рівноваги; b – ширина засобу охорони, м; h_3, b_3 – відповідно, глибина та ширина зони, м)

на слабких підосавах без ЛУЗ неефективне; для встановлення раціональних параметрів ЛУЗ достатньо обмежитись її глибиною та шириною, а також міцністними та деформаційними характеристиками зони та вміщуючих порід; ефективною є середня глибина закладення ЛУЗ у діапазоні від $0,8b$ до $2b$.

За критерій визначення ефективності створення ЛУЗ узято відносний показник ефективності локального укріплення

$$k_o = \frac{U_\epsilon}{U_\epsilon^*}, \quad (13)$$

де U_ϵ , U_ϵ^* – величина просідання поверхні підосади під засобом охорони, відповідно, без ЛУЗ та з нею, м. Зміщення U_ϵ , визначаються з (5), а U_ϵ^* за емпіричною залежністю (отримана за аналогією з (2) на основі статистичної обробки результатів розрахунку 64 чисельних моделей (рис. 6)), яка має вигляд

$$U_\epsilon^* = 0,835 \sigma_o m_v h_n \left(\frac{b^2}{h_3 b_3} \right)^{0,163} \left(\frac{E_n}{E_3} \right)^{0,372}, \quad (14)$$

$$(R^2=0,896; t>t_{кр}(23,1>2,0); F>F_{кр}(51,7>2,06))$$

де E_3 – модуль загальної деформації масиву в локальній зоні, МПа; μ_3 – коефіцієнт поперечних деформацій ЛУЗ, од.; h_3, b_3 – відповідно, глибина та ширина ЛУЗ, м.

Тоді відносний показник ефективності локального укріплення підосади визначається виразом

$$k_o = \left(\frac{h_3 b_3}{b^2} \right)^{0,163} \left(\frac{E_3}{E_n} \right)^{0,372} \quad (\text{коли } b_3 \geq b \text{ та } E_3 > E_n) \quad (15)$$

і показує, в скільки разів змінюється просідання засобу при локальному укріпленні. Вираз може бути використаний для визначення параметрів цієї зони.

Використанням ЛУЗ розширюється область застосування жорстких споруд на слабких породах підосади, але важливим є зменшення витрат на охорону.

Наступним етапом була розробка засобів охорони на основі використання рядової породи, які мають обмежену піддатливість. Тому **четвертий** розділ було присвячено їх аналітико-експериментальному обґрунтуванню.

Для збільшення несучої здатності та зменшення ширини бутової смуги необхідне зменшення

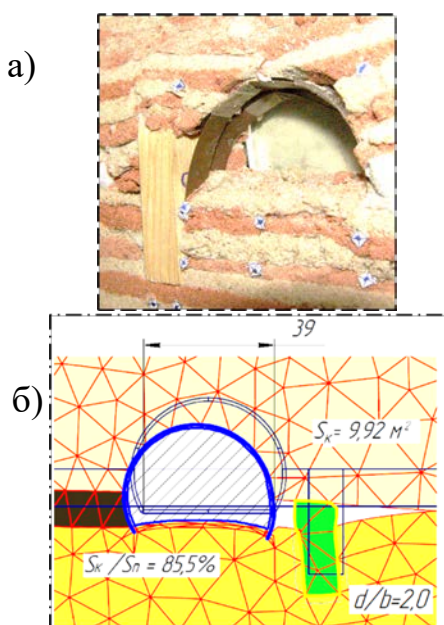


Рис. 5. Загальний вигляд виробки та охоронної споруди глибокого закладення в фізичній (а) та чисельній (б) моделях

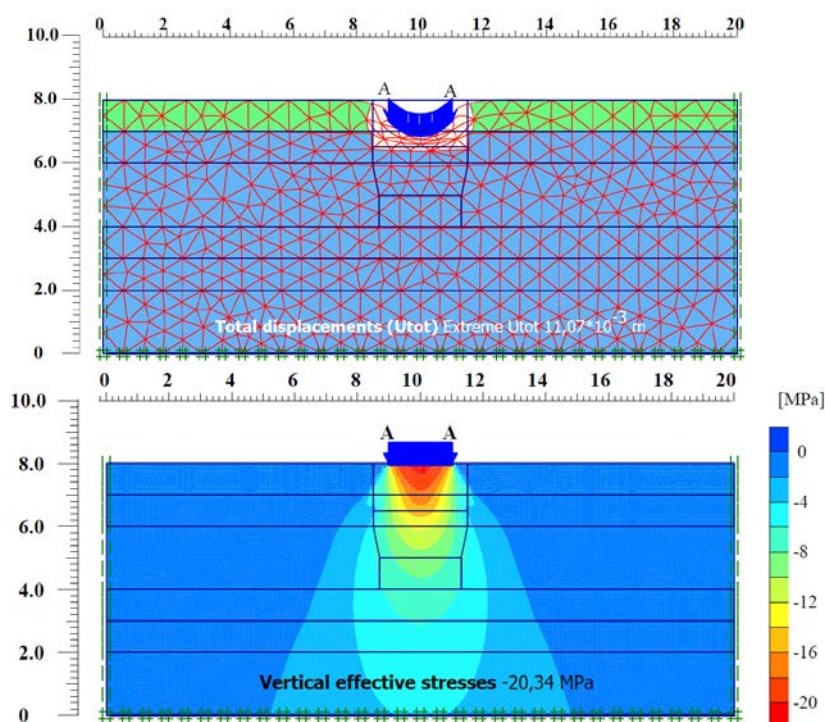


Рис. 6. Загальний вигляд чисельної моделі для дослідження деформаційних процесів в підстилаючих породах з локальною укріпленою зоною

горизонтальної складової зміщень породного матеріалу, що забезпечується прикладанням бічного опору з обох боків смуги (рис. 7 а) або використанням сітчастих перегородок (рис. 7 б).

Складання та вирішення диференціальних рівнянь граничної рівноваги елементарних об'ємів за шириною b_n (рис. 7 а) та висотою смуги h_n , дозволило встановити залежності зміни вертикальних σ_y (МПа) та горизонтальних σ_x (МПа) напружень у смугі з бічним опором P_m , які мають вигляд, відповідно:

$$\sigma_y = k_o \gamma H e^{-2tg^2\left(45^\circ - \frac{\rho_n}{2}\right) f_c \frac{h_n}{b_n}}$$

$$\text{та } \sigma_x = P_m e^{\frac{b_n}{h_n} tg^2\left(45^\circ - \frac{\rho_n}{2}\right) f_c}, \quad (16)$$

де k_o – коефіцієнт концентрації напружень на контакті смуги та порід покрівлі; ρ_n – кут внутрішнього тертя порід у смугі, град. f_c – коефіцієнт тертя порід по стінці; P_m – необхідний бічний опір переміщенню порід у смугі, МПа.

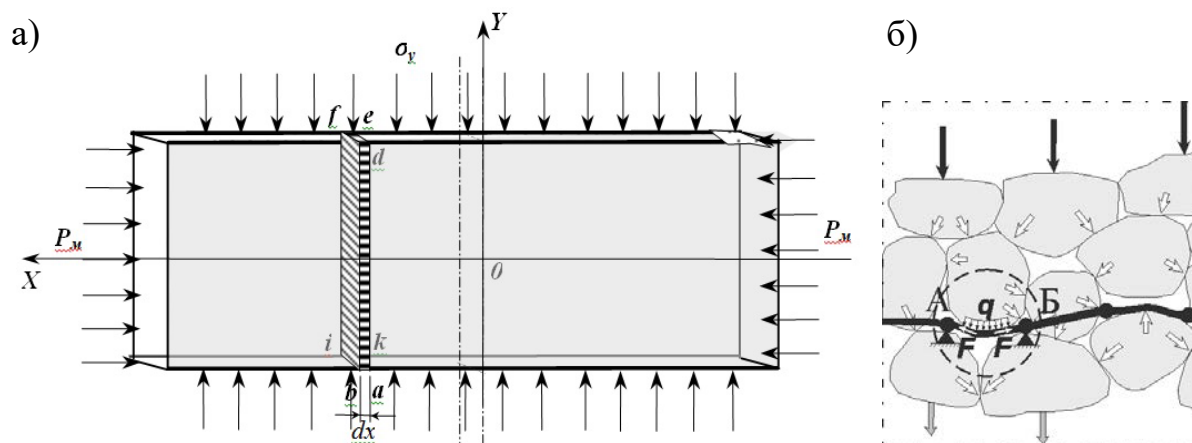


Рис. 7. Схема аналітичної моделі для складання рівняння граничної рівноваги елементарного об'єму $abcdefik$ за шириною бутової смуги з бічним опором P_m (а) та розрахункова схема визначення розподілу навантажень у бутовій смугі, яка армована сітчастою перегородкою (б) (q – навантаження, яке впливає на провис стрижня на відрізку АБ, F – сили натягування стрижня у сітці)

З цих виразів отримано залежність P_m від чинників впливу та вираз щодо визначення необхідної ширини бутової смуги з урахуванням P_m , відповідно:

$$P_m = k_o \gamma H t g^2 \left(45^\circ - \frac{\rho_n}{2} \right) e^{-\frac{b_n}{h_n} \frac{f_c}{t g^2 \left(45^\circ - \frac{\rho_n}{2} \right)}}, \quad b_n = h_n \frac{t g^2 \left(45^\circ - \frac{\rho_n}{2} \right)}{f_c} \ln \frac{k_o \gamma H t g^2 \left(45^\circ - \frac{\rho_n}{2} \right)}{P_m}, \quad (17)$$

з яких установлено, що ширина смуги може бути зменшена у декілька разів, при цьому її стійкість забезпечується додаванням опору з обох боків.

Для смуг, армованих сітчастими перегородками, за результатами фізичного моделювання (рис. 8) доведено, що при використанні перегородок ширина смуг зменшується до $(3 \dots 6)h_n$, а піддатливість становитиме, відповідно, 42...26 % (при ширині $6h_n$, та розмірі породних фракцій $0,2h_n$, – до 8%).

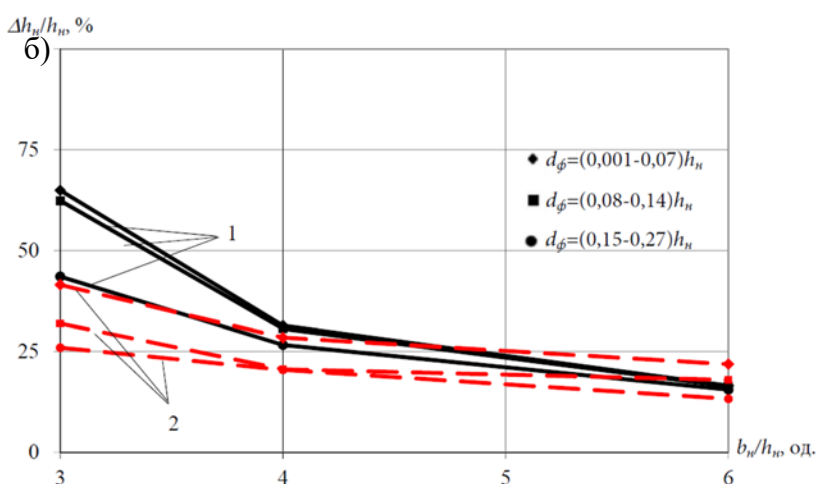


Рис. 8. Загальний вигляд армованої породної насипки (бутової смуги) в моделі (а) та графіки зміни величини відносної усадки смуги $\Delta h_n/h_n$ зі зміною співвідношення її ширини та висоти b_n/h_n при різному гранулометричному складі вміщуючих порід d_ϕ (б) (1, 2 – відповідно, неармовані та армовані смуги)

встановлено: стійкість породних опор визначають несучі ядра, які в них формуються; початкова висота армованих опор внаслідок меншого розповзання істотно більша, ніж неармованих, причому при трьох перегородках конструкція практично не розсипається й усадка до навантаження не перевищує 2 %; для опор без армування усадка перед навантаженням становить 49 % (рис. 12).

З використанням положень теорії гнучких ниток та наведеної розрахункової схеми (рис. 7 б) визначено умову міцності арматури в перегородці, що має вигляд

$$\frac{d_\phi}{\sqrt{\varepsilon_{ub}(2 + \varepsilon_{ub})} \pi d} \sigma \leq [\sigma_p], \quad (18)$$

де σ – напруження на контакті покрівлі та смуги, МПа; $[\sigma_p]$ – допустиме напруження в арматурі при розтягуванні, МПа; d – діаметр арматури, м; ε_{ub} – гранична відносна деформація видовження арматури; d_ϕ – діаметр максимального шматка породи, м.

Отримані результати дозволили перейти до визначення параметрів окремо розташованих породних опор з сітчастими перегородками на основі фізичного моделювання (рис. 9), аналітичних (рис. 10) і чисельних (рис. 11) розрахунків.

При моделюванні (рис. 9)

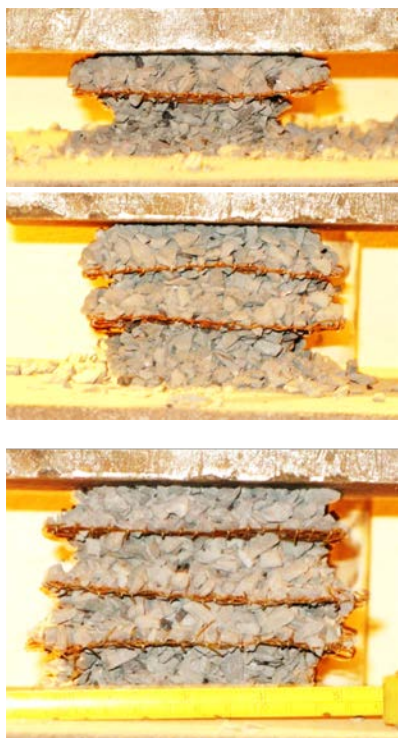


Рис. 9. Загальний вигляд
бутових опор з сітчастими
перегородками

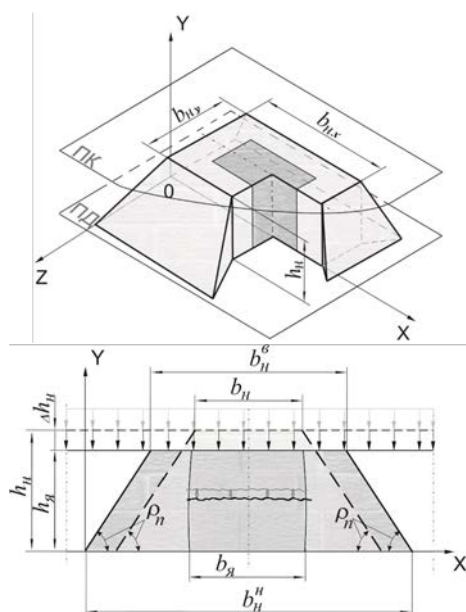


Рис. 10. Розрахункова схема
параметрів армованої
породної опори (h_n , b_n –
відповідно, висота і ширина
несучого ядра)

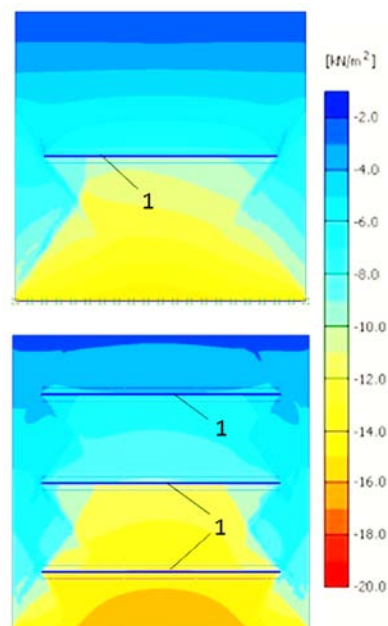


Рис. 11. Поле головних
напружень в породних
опорах з різною кількістю
армувальних
перегородок (1)

$\Delta h_n/h_n$, од.

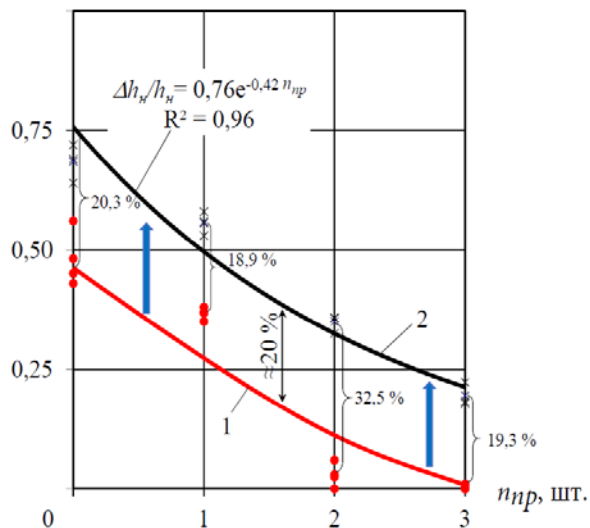


Рис. 12. Графіки залежності величини
відносної усадки породних опор $\Delta h_n/h_n$ від
кількості перегородок по висоті опори n_{np}
на різних етапах їх тестування (1 і 2 –
відповідно, до і після навантаження опор)

ширини опори;

- при збільшенні кількості перегородок зменшується величина усадки опор за рахунок утворення несучих ядер, ширина яких становить в середньому $1,0h_n$, $1,2h_n$ та $1,6h_n$ (h_n – висота ядра, що дорівнює кінцевій висоті опори після навантаження)

При навантаженні армованих та неармованих опор їх усадка становила близько 20 % незалежно від щільності армування. Тобто армування ефективно на початковій стадії, коли в опорах формуються несучі ядра. При цьому усадка опор може визначатися за встановленою експоненційною залежністю з урахуванням кількості перегородок n_{np} , яка наведена на рисунку 12.

Також встановлено, що:

- ширина несучих ядер в армованих опорах становить близько 90% від ширини перегородки та в 1,5 рази менша, ніж в опорах без армування;
- для забезпечення стійкості опор мінімальна ширина перегородок має перевищувати 90 % від початкової

для числа перегородок, відповідно, 3, 2 та 1. Для опор без армування вона складає $2,4h_n$;

- зменшення кількості перегородок призводить до збільшення рухливості породних частинок уздовж площин покрівлі та підосви, що супроводжується розширенням опор в 1,0, 1,1 та 2,0 рази від ширини ядер для опор, відповідно, з 3-ма, 2-ма та 1-єю перегородками, а також у 2,1 рази – для неармованої опори.

За наведеними результатами, відповідно до схеми (рис. 10), було отримано вирази щодо визначення ширини окремо розташованих армованих опор на контакті з покрівлею й підосвою, які мають вигляд, відповідно:

$$b_n^e = 5,15h_n \left(\frac{e^{0,42n_{np}} - 0,76}{e^{0,98n_{np}}} \right) \text{ і } b_n^h = h_n \left(1 - \frac{0,76}{e^{0,42n_{np}}} \right) \left(\frac{5,15}{e^{0,56n_{np}}} + 2\text{ctg}\rho_n \right), \quad (19)$$

де h_n – початкова висота опори, м; n_{np} – кількість перегородок за висотою опори; ρ_n – кут внутрішнього тертя порід в опорі, град.

За результатами чисельного моделювання (рис. 11), з використанням методу скінчених елементів, встановлено, що: застосування армувальних сіток істотно змінює навантажувально-деформаційну характеристику споруди, причому в армованих опорах виникають напруження, які в 1,1-1,5 рази більші, ніж у конструкціях без перегородок; максимальні вертикальні напруження виникають у нижньому шарі та чим більше перегородок, тим менш піддатливою та більш стійкою буде опора; у конструкції без сіток значна частка діючих напружень припадає на горизонтальну складову, причому зі збільшенням кількості сіток вона зменшується; підсумком переходу горизонтальної складової у вертикальну є зменшення в 1,73 рази загальних зміщень породних частинок у конструкції з перегородками, що узгоджується з результатами лабораторних досліджень.

Такі результати справедливі для армованих опор кубічної форми, для інших форм необхідне уточнення параметрів. Тому було випробувано структурні моделі з *породними опорами у формі прямокутних паралелепіпедів* з співвідношеннями ширини та довжини їх основ 1:2 і 2:3. Опори мали таку форму лише умовно, оскільки після вилучення опалубки, у яку засипалася порода, вони набували довільну форму, залежно від кількості перегородок у них і гранулометричного складу порід (рис. 13). Для встановлення форм та параметрів ядер у різних опорах фіксувалися відбитки від них за допомогою копіювального паперу, що укладався під кожну опору.

Встановлено, що: при застосуванні перегородок в опорах забезпечується більш ефективно збереження їх висоти; збільшення кількості перегородок позитивно впливає на стійкість опор, а вплив фракційного складу несуттєвий; несучі ядра армованих опор мають еліпсоподібну форму, а неармованих – колоподібну; результати випробовувань опор з однаковими параметрами, але з різними співвідношеннями розмірів їх основ (1:1, 2:3 і 1:2), не показали суттєвої різниці у величинах піддатливості, які за однакової кількості перегородок відрізнялися на 6,1...9,5 % (рис. 14); стійкість армованих опор визначається довжиною їх найменшої сторони основи; для опор з трьома перегородками, для різних фракцій (від дрібної до великої), співвідношення більшої та меншої осей

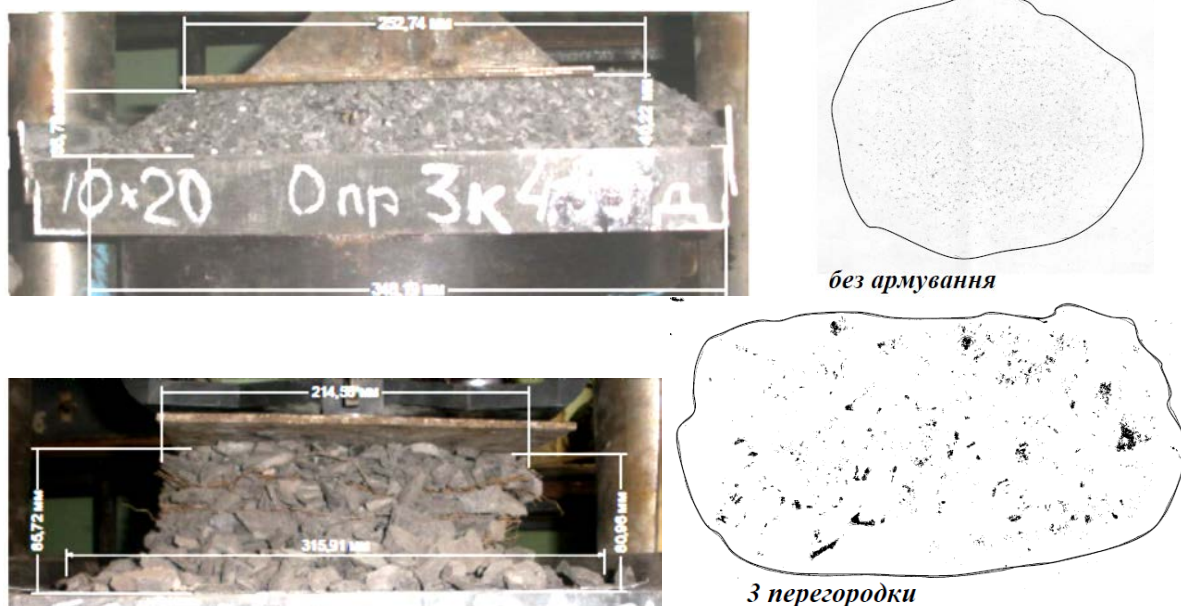


Рис. 13 – Загальний вигляд випробовуваних породних опор з початковим співвідношенням ширини та довжини основ 2:3 з різним гранулометричним складом порід без армування та з 3-ма перегородками, а також відповідні їм сліди від несучих ядер

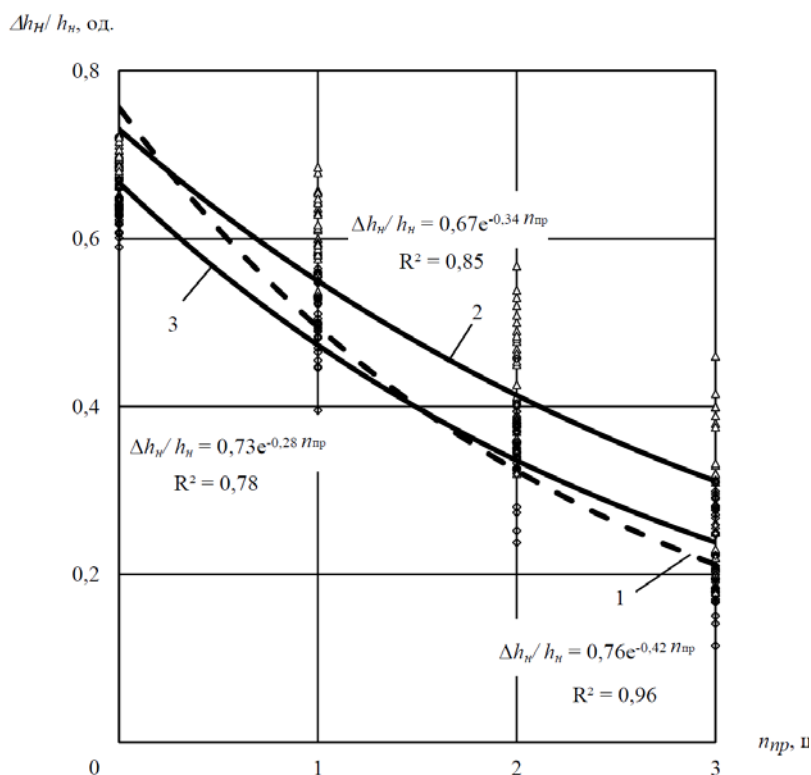


Рис. 14. Графіки залежності величини відносної усадки породних опор $\Delta h_n/h_n$ від кількості перегородок по висоті опори n_{np} і при різному співвідношенні сторін основи при засипці: 1:1 (1), 2:3 (2) і 1:2 (3)

основ (еліпсів) склало 1,92...1,54, а для неармованих – 1,11...1,13, при цьому довжина меншої осі становила у середньому 80...88% від початкової ширини опори, тобто зі збільшенням щільності армування та крупності закладного матеріалу можна досягти збереження початкових розмірів опор і збільшити їх несучу здатність.

Для створення бічного опору переміщенню порід в бутовій смузі P_m необхідне спорудження стінок, здатних протистояти діючим силам та від характеристик яких залежить несуча здатність та параметри всієї охоронної конструкції. Такі стінки можуть бути споруджені з мішків, заповнених породою. Ця технологія лягла в основу

запатентованого у співавторстві способу охорони підготовчих виробок, що включає розташування опорних елементів з тканинної оболонки, заповнених дробленою породою, між покрівлею та підшвою (пат. к.м. №54012). Параметри способу було обґрунтовано в дисертації І.В. Хазіпова. Цей спосіб має певні недоліки, зокрема, неконтрольовану та іноді завелику піддатливість опорних елементів (від 17 до 27 %, іноді до 34 %) і недостатню несучу здатність, що було зафіксовано при випробуваннях способу. Недоліки способу пояснюється замалою щільністю породи в мішках та їх хаотичною укладкою, коли мішки розлого розташовувались під дією навантаження й допускали значну усадку всієї конструкції. Тому наступний етап досліджень був присвячений удосконаленню технології охорони стінками з мішків, заповнених породою.

Для вдосконалення даної технології було проведено лабораторні випробування конструкцій з мішків, заповнених рядовою породою. Визначалися оптимальна схема викладення мішків у стінці, вплив фракційного складу заповнювача та його щільності на усадку всієї стінки. Розглядалися одиничні мішки та декілька в один, два або три ряди з паралельним і перпендикулярним розміщенням у шарах (рис. 15, 16). Окремо випробовувались конструкції з різним ступенем попереднього ущільнення породи в мішках (рис. 16).

За результатами випробувань конструкцій з мішків було встановлено:

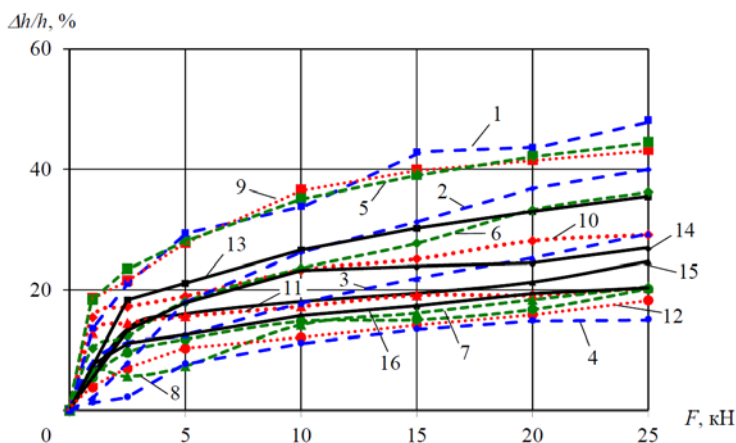


Рис. 15. Зведені графіки зміни величини відносної усадки мішків $\Delta h/h$ з різною кількістю у ряду n_m , які заповнені породою різних фракцій d_ϕ , від величини навантаження на них F (1 – $n_m=1$; $d_\phi=0,051\div0,1$ м; 2 – $n_m=2$; $d_\phi=0,051\div0,1$ м; 3 – $n_m=3$; $d_\phi=0,051\div0,1$ м; 4 – $n_m=4$; $d_\phi=0,051\div0,1$ м; 5 – $n_m=1$; $d_\phi=0,031\div0,05$ м; 6 – $n_m=2$; $d_\phi=0,031\div0,05$ м; 7 – $n_m=3$; $d_\phi=0,031\div0,05$ м; 8 – $n_m=4$; $d_\phi=0,031\div0,05$ м; 9 – $n_m=1$; $d_\phi=0,015\div0,03$ м; 10 – $n_m=2$; $d_\phi=0,015\div0,03$ м; 11 – $n_m=3$; $d_\phi=0,015\div0,03$ м; 12 – $n_m=4$; $d_\phi=0,015\div0,03$ м; 13 – $n_m=1$; $d_\phi=0,0001\div0,015$ м; 14 – $n_m=2$; $d_\phi=0,0001\div0,015$ м; 15 – $n_m=3$; $d_\phi=0,0001\div0,015$ м; 16 – $n_m=4$; $d_\phi=0,0001\div0,015$ м)

- укладання декількох мішків у шарах впритул один до одного зі створенням між ними бічного підпору призводить до зменшення усадки конструкції (рис. 15) в 1,7-3 рази залежно від кількості мішків. Таке зменшення пояснюється обмеженням горизонтальних деформацій в мішках, що знаходяться всередині конструкції. Збільшення розміру фракцій заповнювача майже не мало значення;
- кількість мішків за висотою конструкції істотно не впливає на відносну величину її усадки;
- найменша усадка (22 %) буде в конструкціях з укладанням декількох мішків в шарах перпендикулярно один до одного (рис. 16), незалежно від крупності заповнювача. При паралельному укладанні усадка складає 27 %;

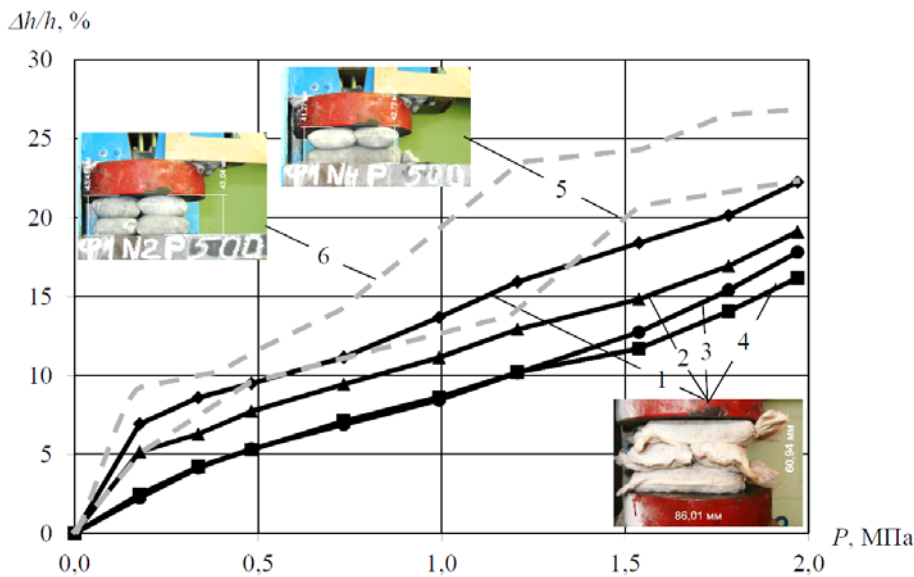


Рис. 16. Узагальнені графіки зміни відносної величини усадки опор з мішків із породою $\Delta h/h$ від величини зовнішнього тиску P для попередньо ущільнених мішків з перпендикулярним укладанням їх у ряди (1,2,3 і 4 – при початковому коефіцієнті пустотності, відповідно, 0,41; 0,4; 0,29 і 0,28) і мішків без ущільнення з перпендикулярним (5) і паралельним (6) укладаннями

виразом

$$\iota = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho}, \quad (20)$$

де ρ_0 і ρ – щільність, відповідно, матеріалу породних частинок і сипкого породного об'єму з пустотами, т/м³.

Ущільнити породу можна за допомогою статичних (стисненням на пресі), або

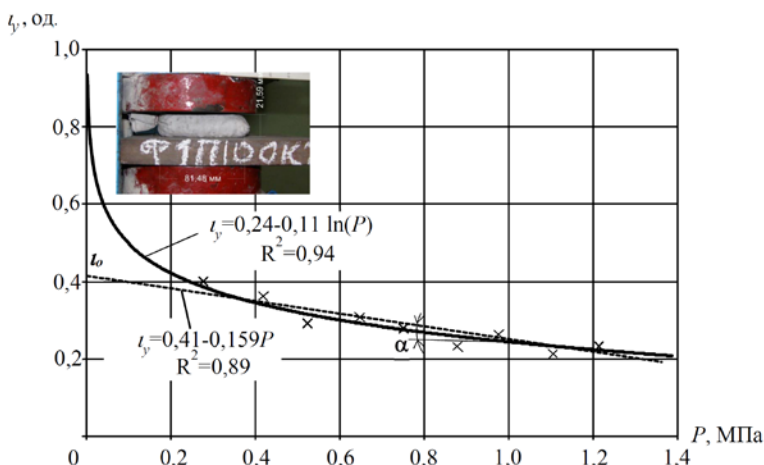


Рис. 17. Крива ущільнення (логарифмічна залежність) для рядової породи в оболонці та лінія тренду для пологого відрізка кривої (лінійна залежність)

- інтенсивне ущільнення матеріалу в мішку відбувається на початковому етапі (рис. 15), тому доцільно споруджувати опори із мішків з попереднім ущільненням породи, для обмеження піддатливості опор та найшвидшого включення їх у роботу.

Таким чином, за певних умов, усадка конструкцій з мішків без попереднього ущільнення може становити від 22 до 48%, залежно від схем їх укладання.

Щільність сипких тіл оцінюється за величиною коефіцієнта пустотності, який визначається

динамічних навантажень (вібрацією). Через простоту реалізації обрано перший варіант. Попередньо навантажувались окремі мішки з породою та встановлювався ступінь їх ущільнення й об'ємна маса. Було отримано криву ущільнення породи в мішку, яку досить добре описано логарифмічною залежністю (рис. 17) та в якій пологий відрізок може бути описаний лінійною залежністю. Тобто попередньо ущільнені породні об'єми діють подібно

лінійно-деформованим тілам, а залежність між загальними деформаціями та напруженнями має вигляд

$$\iota_y = \iota_o - p_y \operatorname{tg} \alpha, \quad (21)$$

де ι_o – початковий коефіцієнт пустотності породного об'єму без попереднього ущільнення ($\iota_o=0,41$); p_y – зовнішній тиск ущільнення породного об'єму, МПа; $\operatorname{tg} \alpha$ – коефіцієнт ущільнення, МПа⁻¹ ($\operatorname{tg} \alpha=0,159$ МПа⁻¹).

Прикладання навантаження дозволило у 2 рази зменшити коефіцієнт пустотності (від 0,4 до 0,2), що вказало на перехід породних частинок від пухкої укладки до більш щільної.

Випробовування трирядних породних конструкцій з мішків з перпендикулярним укладанням мішків та різним ступенем попереднього ущільнення (рис. 16) показали, що їх піддатливість можна обмежити до 16-17 % при $\iota_y = 0,28-0,29$.

На основі комплексних досліджень щодо вдосконалення технології охорони породними стійками та визначення параметрів конструкцій з мішків із породою отримано дані для кількісної оцінки спільного впливу факторів на їх усадку, зокрема, величини зовнішнього тиску та початкового коефіцієнта пустотності. У результаті статистичної обробки результатів даних моделювання й використання методу множинної кореляції виведено емпіричну формулу щодо визначення коефіцієнта необхідної пустотності матеріалу в мішку перед його укладанням у конструкцію, яка має вигляд

$$\iota_y = 0,035 \frac{\Delta h}{h} - 0,293P + 0,271, \quad (22)$$

де $\Delta h/h$ – відносна усадка конструкції з попередньо ущільнених мішків, % ($\Delta h/h < 22\%$); P – зовнішній тиск на мішок при його ущільненні, МПа, ι_y – коефіцієнт пустотності породи в мішку перед його укладанням в конструкцію.

Для визначення геометричних розмірів мішків запропоновано допустиму норму з перенесення вантажів гірниками, що дорівнює 40 кг. Тоді розміри мішків мають визначатися умовою

$$l_m d_m^2 \gamma_n \leq 50,9 \text{ кг}, \quad (23)$$

де d_m – діаметр мішка, м; l_m – довжина мішка, м; γ_n – об'ємна маса породи в мішку, кг/м³.

На основі отриманих результатів щодо параметрів бутових смуг з бічним опором і сітчастими перегородками, а також технології охорони стінками з мішків із породою було здійснено обґрунтування параметрів *комбінованої породної конструкції* (рис. 18) зі спорудженням породної смуги між стінками з мішків.

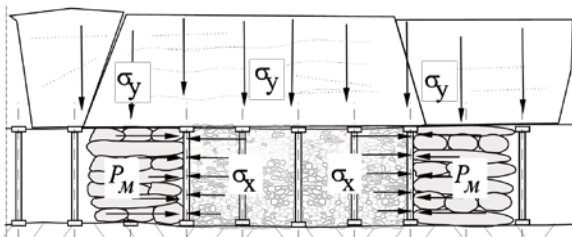


Рис. 18. Схема розподілу сил по ширині комбінованої охоронної конструкції

Виконано аналітичні та лабораторні дослідження щодо обґрунтування параметрів зазначеної конструкції.

Схема розподілу сил у такій конструкції (рис. 18) тотожна зі схемою, наведеною на рисунку 7, у якій бічні стінки замінені силами бічного опору. Тоді з

виразу (17) ширина породної смуги, яка обмежена з боків стінками з мішків, буде визначатися за формулою

$$b_n = - \frac{h_n \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\rho_n}{2} \right)}{\operatorname{tg} \rho_n} \ln \psi, \quad (24)$$

де ψ – відносний показник відношення реакції стінки P_m до величини навантаження з боку порід покрівлі σ_y , тобто $\psi = P_m / \sigma_y$.

З виразу (24) при $\sigma_y = P_m$ ($\psi = 1$ і $b_n = 0$) немає необхідності в закладанні породної смуги й конструкція буде подібна до технології охорони породними стінками. При $\sigma_y > P_m$ стінок буде недостатньо, тому між ними має закладатися смуга. Для типових умов мінімально необхідна ширина породної смуги може змінюватись від 0,4 до $6,0h_n$ залежно від опору породних стійок.

Показник ψ встановлено експериментальним шляхом. З'ясовано, що він за висотою стінки змінюється від 0,065 до 0,145. Тому з виразу (24) визначено умову стійкості комбінованої конструкції (при $\psi_{\min} = 0,065$) з необхідними розмірами породної смуги між стінками з мішків (25), яка має вигляд

$$\frac{b_n}{h_n} \geq 2,73 \frac{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\rho_n}{2} \right)}{\operatorname{tg} \rho_n}. \quad (25)$$

При фізичному моделюванні було підготовлено 19 структурних моделей, які відрізнялись одна від одної шириною смуги між стінками з мішків. Згідно з умовою (25) ширина смуги мала дорівнювати $1,22h_n$ (де h_n – початкова висота моделі), тому в моделях із сумарною шириною стінок $2,2h_n$ було взято смуги завширшки $1,3h_n$, $2,8h_n$ та $4,3h_n$ (рис.19). Додатково підготовлено моделі з бутовою смугою завширшки $7h_n$ та зі стінками з мішків завширшки $1,1h_n$ та $2,2h_n$.

За час випробувань моделей спостерігалися зміни в лінійних параметрах споруд, зокрема:

- піддатливість охоронних споруд різних конструкцій з різними параметрами була в діапазоні від 26 до 52 %;
- навантаження бутової смуги (2, рис. 19) спричинило часткове розповзання смуги та збільшення її ширини. Усадка склала близько 40 %;
- у моделях зі стінками з мішків (1 і 3, рис. 19) відбувалося ущільнення мішків, локальні розриви їхньої оболонки та значна усадка всієї конструкції. Максимальна усадка (52 %) мала місце для стінок завширшки $1,1h_n$ (3, рис. 19). Збільшення ширини стінок у 2 рази дозволило зменшити піддатливість у 1,5 рази до 35 % (1, рис. 19);
- найменша піддатливість (26 %) відповідала комбінованим конструкціям, незалежно від ширини породної смуги (4-6, рис. 19), тобто збільшення ширини смуги більше ніж $1,3h_n$ було недоцільним, що цілком відповідає умові (25).

Виконанням умови (25) передбачено утримання рівноважного стану породної смуги в комбінованій конструкції та відсутність її усадки. Але в моделях з шириною смуги $1,3h_n$ усадка складала $0,26h_n$. Це пояснюється тим, що на початковому етапі

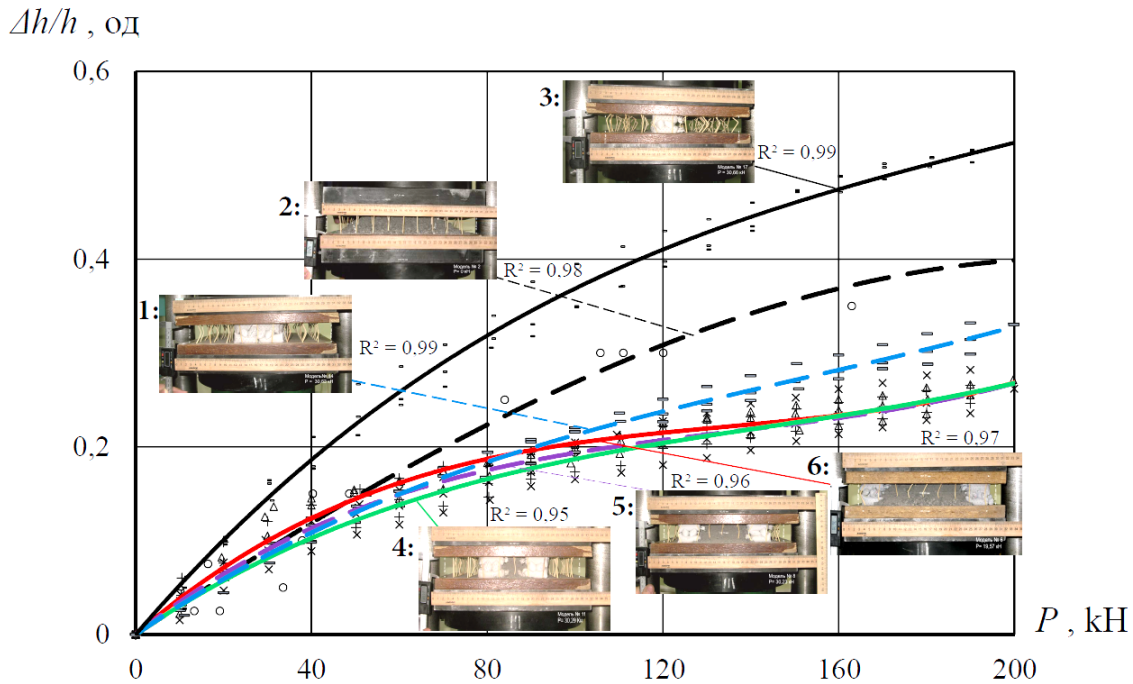


Рис. 19. Графіки залежності величини усадки охоронних споруд від величини навантаження при різних параметрах конструкцій (1 і 3- стінки з мішків завширшки, відповідно, $2,2h_n$ і $1,1h_n$, 2- бутова смуга завширшки $7h_n$; 4, 5 і 6 – комбіновані конструкції завширшки з сумарною шириною стінок $2,2h_n$ та породних смуг, відповідно, $1,3h_n$, $2,8h_n$ та $4,3h_n$)

навантаження формується несуче ядро конструкції та ущільнення породи й мішків. Вичерпання піддатливості свідчить про формування ядра та встановлення рівноваги в геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи», за умови відсутності просідання конструкції відносно порід підшви.

Зменшити усадку такої конструкції (до 8-10 %) та пришвидшити процес формування ядра можна армуванням смуги (рис. 8). Це доведено результатами фізичного моделювання (рис. 20, 21), з якого випливає, що:

- збільшення фракційного складу породних частинок в армованій конструкції від $0,02h_n$ до $0,1h_n$ призводить до зменшення її усадки в 1,55 рази, відповідно, від 10 до 6,5 % (рис. 20);
- за однакових умов збільшення ширини комбінованої конструкції з армуванням смуги від $2,0h_n$ до $2,7h_n$ несуттєво впливає на її усадку (змінюється в межах 8,0-8,5%) (рис. 21);
- армування породної смуги в конструкції дозволяє зменшити кількість мішків у стінці до одного ряду (усадка конструкції збільшиться на 1,5 %) (рис. 21).

У випадках, коли в умовах слабких порід підшви складно забезпечити стійкість геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» дієвим заходом збереження експлуатаційного стану виробки є застосування технологій охорони виробок, що базуються на переспрямуванні від них зусиль витискування. Про це свідчать результати випробувань запатентованого (пат. вин. № 94327) способу охорони виробок жорсткими спорудами у формі прямокутних паралелепіпедів з залишенням між ними компенсаційних порожнин. Параметри способу обґрунтовані в дисертації

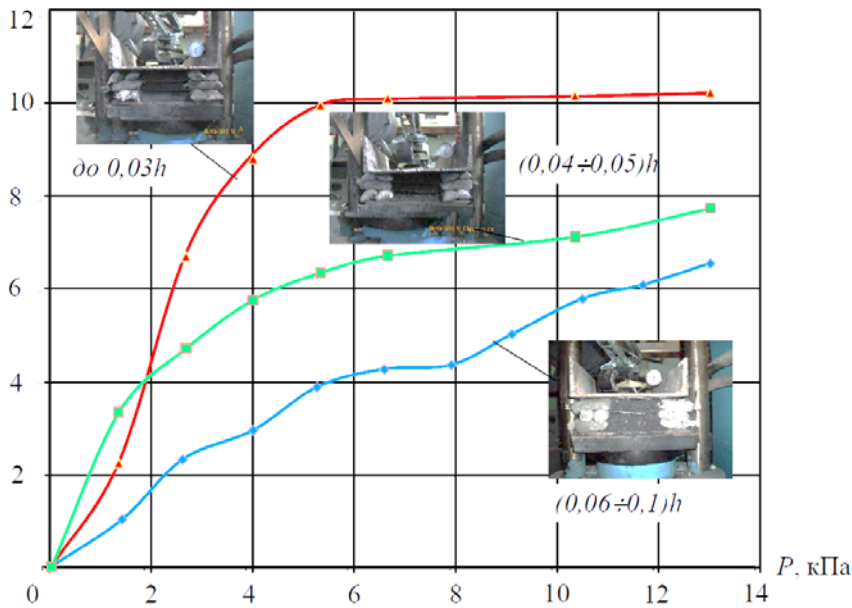
$\Delta h/h, \%$ 

Рис. 20. Залежності величини усадки армованих комбінованих конструкцій $\Delta h/h$ від величини навантаження P при різних породних фракціях в смузі (від $0,01 h_n$ до $0,1 h_n$)

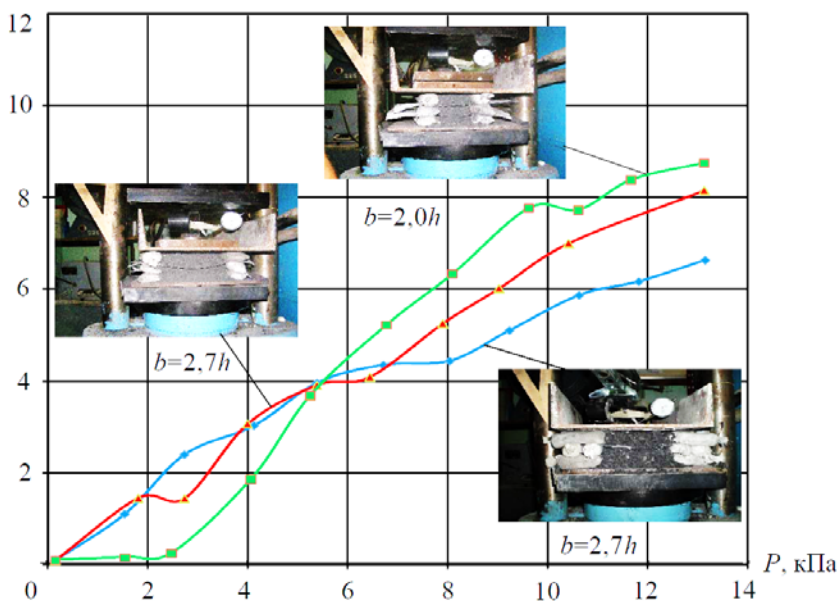
 $\Delta h/h, \%$ 

Рис. 21. Залежності величини усадки комбінованих армованих конструкцій $\Delta h/h$ від величини навантаження P при різних ширині та кількості мішків у стінках

В.М. Мокрієнка. Але такий спосіб не позбавлений недоліків, оскільки є відносно трудомістким при спорудженні напівблоків, які під дією навантажень з боку покрівлі руйнувалися разом з елементами індивідуального кріплення в компенсаційних порожнинах та поряд з ними. А застосування литих та збірних жорстких опор призведе до удорожчання технології. Отже, цей спосіб не є ресурсозберігаючим і він потребує вдосконалення.

Також відомий негативний досвід охорони виробок технологічними ціликами трапецієподібної форми, орієнтованими меншою бічною гранню до виробленого простору. При цьому відзначалося суттєве видавлювання порід підосви у виробку, що охоронялася. Таку технологію не можна вважати ефективною, але вона також може бути вдосконалена.

Згідно з патентом на винахід № 94327, жорсткі охоронні споруди виготовляють у формі прямокутних паралелепіпедів зі співвідношенням довжини до ширини їх основи не менше ніж 2:1, причому

довжина основи паралелепіпеда перпендикулярна повздовжній осі виробки, а між спорудами створюють компенсаційні порожнини, ширина яких дорівнює $0,5 \div 2,0$ ширини основи паралелепіпеда, а глибина тотожна довжині основи паралелепіпеда. При таких параметрах відбувається переспрямування основної частини зусиль

витискування від виробки в порожнини, а стійкість споруд пояснюється арковим ефектом між ними, при якому створюються розвантажувальні склепіння, що спираються на бічні грані ядер під опорами.

Для здешевлення технології доцільне використання в окремо розташованих опорах рядової породи та обмежуючих поверхонь, але таку форму з визначеними параметрами складно забезпечити, оскільки ці опори схильні до обмеженого розширення у плані і будуть в плані мати округлені форми. Інтенсивність просідання таких опор та характер зсувів підстилаючих порід визначаються формами несучих ядер під опорами.

У запатентованій технології опори мають кути та виступи, які є концентраторами напружень, що провокують завчасне порушення стійкості підстилаючих порід. При округлих формах пікові навантаження на породи істотно менші, а несучі ядра під певними кутастими та округлими опорами подібні. Наприклад, ущільнені ядра під спорудами, в основі яких був правильний багатокутник, мали форми пірамід, прямокутник – усічену трикутну призму, а коло – конус. Ізобари напружень під опорами з квадратною та круглою основами мали форму напівсфер, а з прямокутником та еліпсом в основі – напівеліпсоїдів. Тобто розподіл напружень в підстилаючих породах під витягнутими породними опорами подібний прямокутній жорсткій опорі, але з меншими піковими величинами. Це було доведено на основі фізичного та чисельного моделювань.

При арковому ефекті напівсклепіння несучого склепіння між сусідніми опорами розглядалися як криволінійні підпірні стінки (М.І. Фідаров), тому співвідношення ширини порожнини $b_{пор.}$ (м) до ширини породних опор b_n (м) визначається виразом

$$\frac{b_{пор.}}{b_n} = \frac{8tg\rho tg\left(\frac{\pi-\rho}{4}\right)}{\left[2-tg\rho tg\left(\frac{\pi-\rho}{4}\right)\right]^2} \quad (26)$$

де ρ – кут внутрішнього тертя підстилаючих порід, град.

Залежність $b_{пор.}/b_n$ від ρ показана на рисунку 22, з якого встановлено, що для перспективних вугленосних районів Донбасу (при $\rho = 27...47^\circ$) $b_{пор.}/b_n$ знаходиться у діапазоні 0,88...1,36.

Співвідношення розмірів основ опор l_n/b_n (l_n та b_n – відповідно, довжина та ширина основи у плані) визначалися за результатами лабораторних та польових випробувань штампів та жорстких опор. Найменше граничне навантаження опор на підстилаючі породи буде при квадратній формі, коли l_n/b_n буде 1:1 (К.В. Корольов). Але для забезпечення аркового ефекту та спрямування зусиль витискування в порожнини, опори мають бути витягнуті. Це підтверджується визначеним співвідношенням для жорстких споруд у формі прямокутних паралелепіпедів, коли l_n/b_n буде 2:1. Але для породних опор дотримання суворого співвідношення неможливе. Тому за результатами випробувань штампів встановлено залежність показника зменшення граничного навантаження на підстилаючі породи від

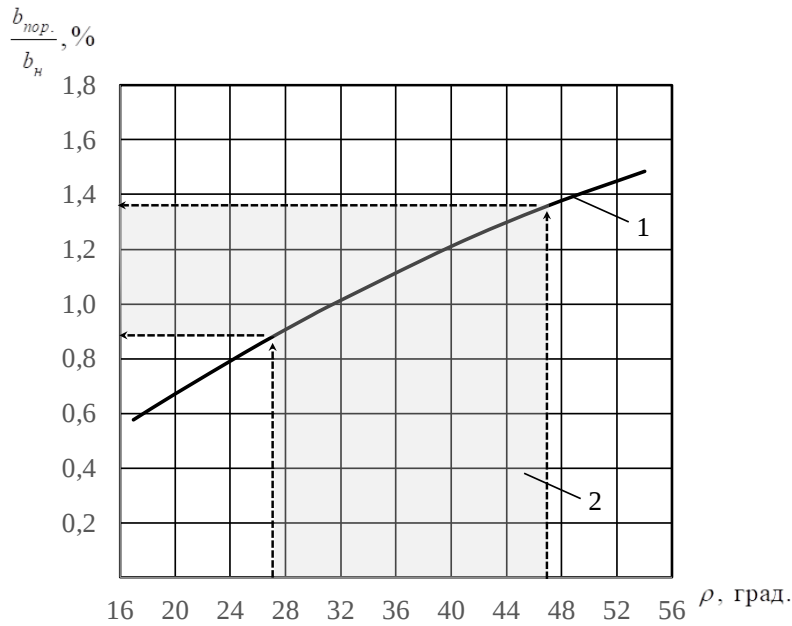


Рис. 22. Графік залежності співвідношення ширини порожнин $b_{пор.}$ до ширини породних опор b_n від кута внутрішнього тертя підстиляючих порід ρ (1) та область визначення параметра $b_{пор.}/b_n$ для умов перспективних районів Донбасу (2)

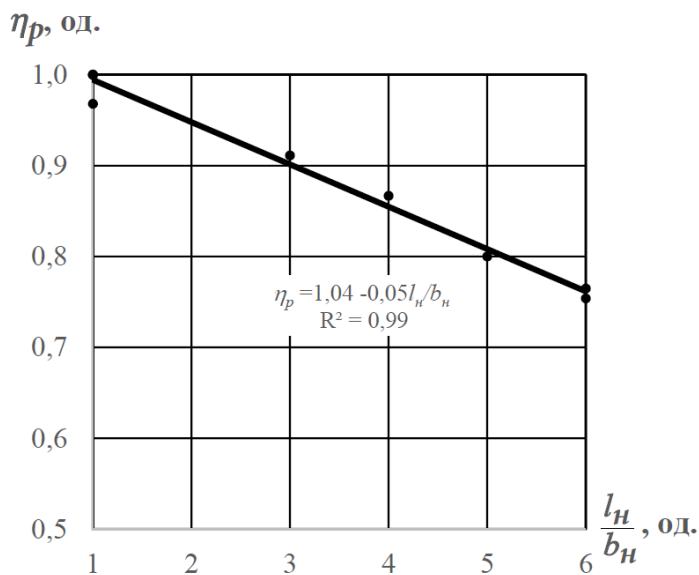


Рис. 23. Графік залежності показника зменшення граничного навантаження на підстиляючі породи η_p від співвідношення розмірів основи опори l_n/b_n

співвідношення розмірів основи (рис. 23). Співвідношення l_n/b_n , яке необхідне для ініціювання видавлювання порід у порожнини з 5-ти відсотковим зменшенням несучої здатності підосви може бути від 2:1 до 3:1.

Оскільки стійкість окремо розташованих опор визначається відношенням довжини найменшої сторони основи b_n до висоти опори h_n , то для окремо розташованих опор з мішків з породою стійкість забезпечуватиметься при співвідношенні $b_n/h_n \geq 1$, а для опор з сітчастими перегородками – ширина армованої породної опори на контакті з покрівлею з урахуванням h_n визначається виразом (19).

У підсумку було сформульовано такі рекомендації щодо параметрів породних охоронних споруд у формі прямокутних паралелепіпедів з компенсаційними порожнинами: для забезпечення стійкості підготовчих виробок в умовах слабких порід підосви доцільними є співвідношення ширини основ охоронних споруд до їх довжини в діапазоні від 1:2 до 1:3, при цьому їх ширина має бути не менше за висоту (для армованих породних смуг – з (19)), а ширина

порожнини – має визначатися виразом (26) залежно від кута внутрішнього тертя підстиляючих порід та ширини опор.

Для визначення доцільної орієнтації трапецієподібних окремо розташованих охоронних конструкцій відносно виробки було здійснене чисельне моделювання за допомогою методу скінченних елементів. Вихідними даними прийнято типові умови

для глибоких шахт Донбасу, що відпрацьовують пласти пологого падіння: модуль пружності $E=1,3 \times 10^8$ кг/м², об'ємна маса $\gamma=2,3$ т/м³, межі міцності на одновісний стиск і розтягнення склали, відповідно, $\sigma_{cm}=24,5$ МПа і $\sigma_p=2,5$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,25$. Була промодельована ситуація, коли опори орієнтовані вужчою гранню до

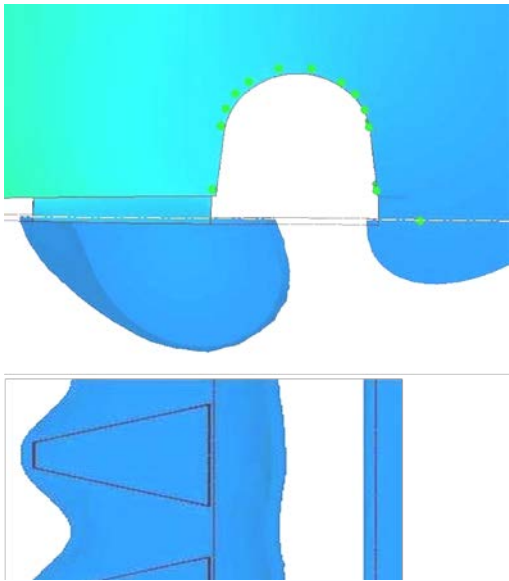


Рис. 24. Картина розподілу напружень навколо охоронних споруд у формі трапецієподібних призм, орієнтованих вужчою гранню до виробленого простору

виробленого простору (подібно до розташування технологічних ціликів) (рис. 24).

Установлено, що таке розташування трапецієподібних споруд негативно впливає на стійкість виробки, оскільки сили, що виникають під опорами, діють у напрямку виробки та частково компенсаційних порожнин (рис. 24). Навантаження від порід покрівлі передаються через опори на підшву, яка першочергово продавлюється основою опори з боку вужчої бічної грані, що спричиняє спрямовування зсувів у напрямку виробки. Тобто для забезпечення стійкості виробки опори мають розташовуватися вужчою гранню до неї, що дозволить переспрямувати зміщення у зворотному напрямку. Крім того, з метою ресурсозбереження доцільним буде використання в цих опорах рядової породи та обмежуючих поверхонь.

Можливість створення породних трапецієподібних опор зі збереженням форми при навантаженні було доведено результатами структурного моделювання. Для цього випробовувалися такі породні конструкції: породна опора без обмежуючих поверхонь (рис. 25 а); насипка з породних шарів, між якими укладалися металеві сітки (рис. 25 б); породна опора, оконтурена мішками з породою (рис. 25 в); породна опора, оконтурена гнучкою стрічкою з дерев'яними стійками (рис. 25 г).



Рис. 25. Загальний вигляд моделей породних конструкцій перед відпрацюванням

При навантаженні цих опор встановлено, що:

- породна насипка без обмежуючих поверхонь рівномірно розподілилася в різні

вид зверху після
навантаження

а)



б)



в)



г)



Рис. 26. Загальний вигляд конструкцій після випробувань

боки та не зберігала своєї первісної форми в основі (рис. 26 а). Ця конструкція допустила найбільшу усадку (60 %), після чого працювала, як жорстка споруда;

- породна опора з металевими сітками зберегла трапецієподібну форму (рис. 26 б) та допустила найменшу серед конструкцій усадку, яка становила 14 %. В опорі спостерігалася пошарова усадка та висипання породних часток з периферійних зон по периметру кожного шару;

- спорудження конструкції зі стінками з мішків дозволило зберегти трапецієподібну форму (рис. 26 в) та допустило усадку 22 %. На початковому етапі випробування відзначалася інтенсивна усадка опори, після чого процес уповільнився;

- основа конструкції, оконтурена стрічкою та стійками, після випробування набула форми овалу (рис. 26 г). Її усадка не припинялася та досягла величини 36%;

- конструкції з пошарово укладеними перегородками з сітчастого матеріалу або стінками з мішків по периметру можна розглядати

як штучні засоби охорони виробок позаду очисних вибоїв, що здатні зберігати задану стійку форму й обмежити піддатливість до 14-22%.

Отримані результати четвертого розділу роботи дозволили сформулювати умови щодо визначення параметрів *трапецієподібних породних опор з обмежувачими поверхнями із залишенням між ними компенсаційних порожнин*: для таких опор

зберігається орієнтація вужчою бічною гранню до виробки; стійкість та розміри опор визначаються шириною їх вужчої бічної грані, розташованою поряд з виробкою; ширина найвужчої бічної грані має дорівнювати, або бути більшою за висоту опори; ширина порожнин у найвужчому місці має дорівнювати або дещо перевищувати ширину вузької грані, а її глибина – перевищувати ширину цієї грані у 2...3 рази.

У п'ятому розділі на основі досліджених механічних явищ у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» розроблено ефективні ресурсозберігаючі технології охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід, оцінено їх ефективність та наведено результати впровадження. Ці напрацювання лягли в основу «Методики вибору технологій охорони підготовчих виробок та визначення їх параметрів», яка ґрунтується на поетапному, консеквентному пошуку наявних або нових технічних рішень, їх систематизації, інтеграції й узагальненні, а також визначенні витрат на їх реалізацію й отриманні оптимальної технології охорони виробки. Для цього було розроблено блок-схему вибору технології охорони виробки; класифікацію способів охорони підготовчих виробок, що передбачають вплив на навколишній масив; схему визначення конструктивних особливостей засобів охорони та алгоритм вибору технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід, які спираються на науково обґрунтовані та практично підтверджені результати роботи. Вони були використані для розробки ресурсозберігаючих технологій щодо забезпечення стійкості підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід позаду лави, для яких запропоновано такі технологічні схеми:

1. *Технологічна схема охорони підготовчих виробок стрічковими породними смугами з металевими сітчастими перегородками* (пат. к.м. № 137375).
2. *Технологічна схема охорони підготовчих виробок стрічковою породною смугою, що закладається між стінками з мішків.*
3. *Технологічні схеми охорони підготовчих виробок окремо розташованими опорами з компенсаційними порожнинами* (пат. винахід № 94327).
4. *Технологічна схема охорони підготовчих виробок окремо розташованими опорами у формі трапецієподібних призм, між якими залишаються компенсаційні порожнини* (пат. к.м. № 142589).
5. *Технологічні схеми охорони підготовчих виробок з локальним укріпленням порід підлоги під засобами охорони з обмеженою піддатливістю* (пат. к.м. № 144773).
6. *Технологічна схема охорони підготовчих виробок з механізованим заповненням оболонки рядовою породою* (заявка на пат. винахід а202102591)

Зазначені технології рекомендовані для підтримання виробок позаду лав в умовах від горизонтального до похилого падіння вугільних пластів. Деякі з них пройшли дослідно-промислову перевірку та мали економічний ефект, зокрема:

- комбінована породна конструкція була рекомендована в умовах пласта с₁₈ «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1». Її застосування дозволить у 3-4 рази зменшити необхідний об'єм породи порівняно з традиційною бутовою смугою, забезпечити піддатливість до 8-18% залежно від крупності порід та схеми викладки мішків. Економія коштів від застосування конструкції становила 1077,10 і

6452,09 грн./м (у цінах 2020 року) для різних ділянок виробки;

- породна смуга з сітчастими перегородками рекомендована та випробувана в умовах конвеєрного штреку 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова. Використання сітчастих перегородок дозволило створити стійку опору завширшки 4 м з піддатливістю, яка не перевищувала 25 %. Це позначилося на загальному стані виробки, що охоронялася, та зменшенні обвалень порід на кінцевій ділянці лави. Економічна ефективність становила 6303,33 грн./м (у цінах 2011 року);

- технологія охорони виробки опорами з напівблоків з компенсаційними порожнинами випробувана при підтриманні підготовчих виробок в умовах пласта m_3 шахти «Щегловська-Глибока». Спорудження відокремлених опор з компенсаційними порожнинами дозволило у виробці, що охоронялася, зменшити видавлювання порід її підшви в 1,6 рази. Очікуваний економічний ефект становив 200,00 грн./м (у цінах 2011 року).

Установлено, що впровадження запропонованих технологій дозволяє зменшити ймовірність обвалень порід на кінцевій ділянці та у виробці, що охороняється.

На основі з'ясування середніх енерговитрат гірників при виконанні операцій зі спорудження запропонованих охоронних конструкцій визначено мінімальну кількість виконавців та відносну тривалість перерв на компенсаційний відпочинок для складання графіків організації робіт.

Таким чином, наведені результати розрахунків підтверджують те, що розроблені технології охорони підготовчих виробок є ресурсозберігаючими, які, окрім зменшення фінансових витрат на реалізацію, передбачають збільшення рівня безпеки праці, зменшення трудомісткості робіт та витрат на підтримання виробок.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій дано наукове рішення проблеми, яка полягає у визначенні закономірностей, характеристик і параметрів охорони підготовчих виробок вугільних шахт в умовах слабких бічних порід на основі досліджених механічних явищ у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» для обґрунтування ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони виробок позаду лав, що особливо важливе для перспективних вугленосних районів Донбасу та має наукове, техніко-економічне та соціальне значення.

Основні наукові й практичні результати роботи:

1. Установлено, що зміщення порід покрівель виробок над крайовими частинами пласта, кінцевими ділянками лав та засобами охорони збільшуються при посуванні очисних вибоїв. Вони мають лінійний зв'язок та повинні враховуватись при прогнозуванні осідань порід покрівлі у виробці, яка охороняється позаду лави. При цьому зміщення порід покрівлі над засобом охорони є результатом порушення стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», що супроводжується усадкою засобу охорони та (або) його просіданням відносно поверхні підстилаючих порід. Такий підхід дозволив розробити методику розрахунку зміщень порід покрівлі в підготовчій виробці позаду лави на основі встановленої залежності цих

зміщень від таких факторів: глибини робіт, потужності вугільного пласта, фізико-механічних характеристик пласта та вміщуючих порід, параметрів кріплення кінцевої ділянки лави, засобу охорони та виробки (розбіжність розрахункових та експериментальних даних становить 8,6...15%).

2. Аналітико-експериментальним методом визначено діапазон зміни навантаження на засіб охорони в зоні впливу лави (від $1,1\gamma H$ до $1,5\gamma H$), від якого близько 90 % передається на підстилаючі породи, незалежно від параметрів охоронної споруди. Таким чином, на породи підосви, у зоні тимчасового опорного тиску позаду лави, діє навантаження $(1,0...1,3)\gamma H$.

3. Установлені залежності величини просідання та усадки засобу охорони підготовчих виробок від основних факторів впливу: величини навантаження на засіб охорони, його ширини, початкової висоти, модуля деформацій і коефіцієнта поперечних деформацій засобу, а також показника відносної стисливості підстилаючих порід, який залежить від модуля деформацій порід і коефіцієнта їх поперечних деформацій (розбіжність аналітичних та експериментальних результатів не перевищує 7,5 %).

4. Набули подальшого розвитку дослідження щодо визначення опору зруйнованих осадових порід стисканню на межі залишкової міцності, який визначається за встановленою кореляційною логарифмічною залежністю, з урахуванням граничної міцності цих порід у зразку, їх обводненості, тріщинуватості та реологічних властивостей.

5. Установлено, що просідання засобів охорони відносно поверхні слабких підстилаючих порід є циклічним і відбувається на ділянці залишкового тертя зруйнованих порід, коли загальні поздовжні деформації шару гірських порід досягнуть 12 %, а напруження від дії засобу охорони перевищать опір порід стисненню на межі залишкової міцності, що супроводжується порушенням структурних зв'язків у зруйнованому породному об'ємі з його подальшим ущільненням, внаслідок зсувів та повертань породних окремоностей між собою.

6. На основі сформульованого критерію стійкості порід під засобом охорони та умови стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» обґрунтовано необхідність застосовування в умовах слабких порід технологій охорони підготовчих виробок позаду лав, що передбачають зменшення напружень у приконтурному масиві або їх перерозподіл для забезпечення стійкості виробки, що охороняється.

7. Науково обґрунтовано можливість та доведено ефективність створення локальних укріплених зон під засобами охорони в умовах слабких порід підосви, які є породо-анкерними, породо-полімерними або породо-цементними конструкціями. При цьому вперше встановлено:

- емпіричну ступеневу залежність величини просідання поверхні підосви під засобом охорони, під яким розміщується локальна укріплена зона, від основних факторів впливу: навантаження з боку засобу охорони, деформаційних характеристик цієї зони та вміщувальних порід, ширини засобу охорони, потужності слабких підстилаючих порід та геометричних розмірів локальної укріпленої зони;

- відносний показник ефективності локального укріплення порід підпошки, який доцільно використовувати для визначення раціональних параметрів такої зони та який враховує її геометричні розміри, ширину засобу охорони й деформаційні характеристики зони та вміщуючих порід;

- ефективну глибину таких зон, яка дорівнює величині, що знаходиться у діапазоні від 0,8 до 2,0 від ширини засобу охорони.

8. Подальшого розвитку набули дослідження особливостей розподілу напружень у засобах охорони з рядової породи, які є елементом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», та встановлено, що рівновага в цій системі забезпечується використанням обмежуючих поверхонь, у якості яких можуть бути металеві сітчасті перегородки та (або) стінки з мішків, і доведено, що:

- у конструкціях із сітчастими перегородками виникають напруження, які в 1,1-1,5 рази більші за напруження в конструкціях без них, а загальні зсуви зменшуються у 1,73 рази;

- основними параметрами, що визначають ефективність використання сітчастих перегородок у спорудах з рядової породи, при яких забезпечується обмеження піддатливості до 16 %, є: ширина та висота конструкції, розмір чарунок у перегородках, міцність арматури (волокон) на розтягнення, кількість перегородок за висотою споруди та кут внутрішнього тертя порід;

- міцність арматури (волокон) на розтягнення має порівнюватися з максимальними напруженнями в перегородці, що визначаються величиною навантаження на засіб охорони, діаметрами арматури (волокон) та максимальних шматків породи, а також відносною деформацією видовження арматури (волокон);

- загальна ефективна ширина споруд з рядової породи та обмежуючих поверхонь перебуває в діапазоні від $3h$ до $6h$ (де h – початкова висота споруди), піддатливість – від $0,08 h$ до $0,3 h$,

- кількість перегородок за висотою окремо розташованої породної опори визначається за встановленими експоненціальними залежностями для заданих величин усадки або розширення споруд;

- піддатливість охоронних конструкцій зі стінок з мішків можна обмежити до 16-17 % за допомогою попереднього ущільнення мішків та зменшення пустотності сипкого матеріалу в мішках до 28-29 %, що може контролюватися за величиною відносної усадки кожного мішка з використанням встановленої емпіричної лінійної залежності;

- стійкість окремо розташованої опори визначається шириною її вужчої сторони.

9. Для слабких порід підпошки розроблено й обґрунтовано параметри нових технологій охорони підготовчих виробок, що передбачають використання рядової породи й обмежуючих поверхонь в окремо розташованих охоронних конструкціях (опор) у формі прямокутних паралелепіпедів або трапецієподібних призм, між якими залишаються компенсаційні порожнини для перерозподілу напружень у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» та спрямування зусиль витискування від виробки. Зменшення величини витискування слабких порід підпошки у виробку забезпечується розміщенням таких опор з орієнтацією їх вужчими гранями до виробки, при цьому ширина цих граней має дорівнювати або

бути більшою за висоту опор, ширина порожнин визначається залежно від ширини вужчої грані та кута внутрішнього тертя порід підосви, а глибина порожнин, яка дорівнює довжині опор, має перевищувати ширину вужчої грані у 2...3 рази.

10. Розроблено методику вибору технологій охорони гірничих виробок та визначення їх раціональних параметрів, яка ґрунтується на поетапному, консеквентному пошуку нових технічних рішень.

11. Для умов слабких бічних порід запропоновано нові технологічні схеми охорони підготовчих виробок позаду лав на основі розроблених та вдосконалених технологій, що ґрунтуються на управлінні напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи».

12. Доведено, що розроблені технології охорони підготовчих виробок забезпечують ефективність та безпеку підтримання виробок і кінцевих ділянок лав в умовах слабких бічних порід, що доведено результатами їх випробувань у шахтних умовах, техніко-економічними розрахунками, оцінкою умов праці гірників за важкістю виконання робіт при їх реалізації та визначенням ступеня деформації виробки.

13. Економічний ефект від упровадження нових технологій охорони підготовчих виробок в умовах «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» (очікуваний економічний ефект від 1077,10 до 6452,09 грн. на 1 п.м виробки (у цінах 2020 року), шахт імені Є.Т. Абакумова (економічний ефект 6303,33 грн./м (у цінах 2011 року)) та «Щегловська-Глибока» (економічний ефект 200, 00 грн./м (у цінах 2011 року)) пояснюється зменшенням матеріальних та трудових ресурсів при їх реалізації використанням у якості основного матеріалу рядової породи у відносно невеликих об'ємах.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

Публікації, у яких викладено основні наукові результати дисертації (публікації у фахових виданнях):

1. Касьян Н.Н., **Негрей С.Г.**, Хазипов И.В. Лабораторные испытания опорных породных конструкций, сооружаемых с использованием гибких разделительных прокладок. Физико-технические проблемы горного производства. 2007. Вип. 10. С. 106-111.

2. **Негрій С.Г.**, Сахно І.Г., Мокрієнко В.М. Дослідження механізму передачі навантаження на кріплення виробки від фронту руйнування порід. Вісті Донецького гірничого інституту. 2008. №2. С. 13-18.

3. Касьян Н.Н., **Негрей С.Г.**, Александров С.Н., Мокриенко В.Н., Курдюмов Д.Н. Обоснование возможности применения метода конечных элементов при расчете напряженно-деформированного состояния дискретизированных пород. Вісті Донецького гірничого інституту. 2010. № 2. С. 138-143.

4. **Негрей С.Г.** О возможности увеличения несущей способности бутовых полос. Вісті Донецького гірничого інституту. 2011. №1. С. 179-184.

5. Касьян Н.Н., **Негрей С.Г.**, Мокриенко В.Н., Касьяненко А.Л. Новый подход к методике выбора способов охраны выемочных выработок глубоких шахт. Вісті Донецького гірничого інституту. 2012. №1(30)-2(31). С. 165-172.

6. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А., Курдюмов Д.Н. Поддержание выемочных выработок для обеспечения их эксплуатационного и безаварийного состояния. Вісті Донецького гірничого інституту. 2013. №1(32). С. 218-225.

7. **Негрей С.Г.** Усовершенствование технологии охраны подготовительных выработок породными стойками. Вісті Донецького гірничого інституту. 2014. №1(34)-2(35). С. 181-186.

8. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А., Конопелько Е.И. Установление норм выработки при возведении охранных конструкций на концевых участках лав. Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. 2016. Вип. 2(18). С. 73-81 (*Наукометрична база **Index Copernicus***).

9. **Негрей С.Г.** О возможности создания устойчивых породных опор для обеспечения эксплуатационного состояния подготовительных выработок. Вісник НТУУ «КПІ» Сер. «Гірництво». 2017. №33. С. 21-30 (<https://doi.org/10.20535/2079-5688.2017.33.98824>).

10. Негрій Т.О., **Негрій С.Г.**, Ріхерт С.В. Про вплив енергетичних витрат гірників на рівень виробничого травматизму. Вісник Криворізького національного університету. 2017. Вип. 44. С. 78-83 (*Наукометрична база **Index Copernicus***).

11. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А. Определение параметров породной полосы с ограниченной податливостью. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2017. Вип. 1/2017 (102). С. 50-57 (*Наукометрична база **Index Copernicus***).

12. **Негрей С.Г.**, Сахно І.Г., Негрей Т.А., Коломиец В.А. Установление зон активных обрушений пород непосредственной кровли на концевых участках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2017. №1(40). С. 5-18.

13. Негрій Т.О., Сахно І.Г., **Негрій С.Г.** Вплив енерговитрат шахтарів на рівень безпеки праці. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях». 2017. Вип. 7 (1229). С. 81-90. (<https://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.07.11>) (*Наукометрична база **Index Copernicus***).

14. **Негрій С.Г.**, Негрій Т.О. Умови застосування трапецієподібних охоронних споруд. Вісті Донецького гірничого інституту. 2017. №2 (41). С. 7-18. (<https://doi.org/10.31474/1999-981x-2017-2-7-18>).

15. **Nehrii S.**, Sakhno S., Sakhno I., Nehrii T. Analyzing kinetics of deformation of boundary rocks of mine workings. Mining of Mineral Deposits, 2018. Vol. 12 (2018), Issue 4. P. 115-123. (<https://doi.org/10.15407/mining12.04.115>). (*Наукометрична база **Scopus, WoS***).

16. **Негрій С.Г.**, Негрій Т.О., Волков С.В. Безпека ведення робіт на кінцевих ділянках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2018. №1 (42). С. 31-38. (<https://doi.org/10.31474/1999-981x-2018-1-31-38>).

17. Негрій Т.О., **Негрій С.Г.** Прогнозування зон обвалення порід на кінцевих ділянках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2018. №2 (43). С. 57-68. (<https://doi.org/10.31474/1999-981x-2018-2-57-68>).

18. **Негрій С.Г.** Визначення зміщень порід покрівлі в зоні впливу очисних робіт позаду лави. Вісті Донецького гірничого інституту. 2019. №1 (44). С. 41-52. (<https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-41-52>) (*Наукометрична база **Index***

Copernicus).

19. **Негрій С.Г.**, Живогляд С.К., Негрій Т.О. Спостереження за станом виробок при суцільній системі розробки. Вісті Донецького гірничого інституту. 2019. №2 (45). С. 16-27. (<https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-2-16-27>) (*Наукометрична база Index Copernicus*).

20. **Негрій С.Г.**, Єфремов І.О., Негрій Т.О. Визначення навантажень на засоби охорони в зоні впливу очисних вибоїв. Вісті Донецького гірничого інституту. 2020. №1 (46). С. 16-27. (<https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-2-16-27>) (*Наукометрична база Index Copernicus*).

21. **Негрій С.Г.** Дослідження особливостей процесу передачі навантажень в конструкції з рядової породи. Технічна інженерія. 2020. № 2 (86). С. 171-178. ([https://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-171-178](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-171-178)) (*Наукометрична база Index Copernicus*).

22. **Негрій С.Г.**, Негрій Т.О., Єфремов І.О. Визначення параметрів окремо розташованих породних опор з компенсаційними порожнинами. Вісті Донецького гірничого інституту. 2020. №2 (47). С. 58-71. (<https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-58-71>) (*Наукометрична база Index Copernicus*).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

23. **Негрей С.Г.**, Мокриенко В.Н. Об особенностях пучения пород почвы выемочных выработок в условиях т₃ шахты им. В.М. Бажанова. Проблемы гірничої технології: матеріали регіон. наук.-практ. конф. Красноармійськ: КП ДонНТУ, 2008. С. 97-102.

24. Сахно И.Г., **Негрей С.Г.**, Лызенко А.А. Новый подход к анализу напряженно-деформированного состояния разрушенных горных пород. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: материалы междунар. научно-техн. конф. студ., асп. и молодых ученых. Донецк: ДонНТУ, 2008. Вып.14. С.117-119.

25. Касьян Н.Н., **Негрій С.Г.**, Мокриенко В.Н. Исследование проявлений горного давления в условиях выемочных выработок пласта т₃ шахты «Щегловская-Глубокая». Проблемы гірничої технології: матеріали регіон. наук.-практ. конф. Красноармійськ: КП ДонНТУ, 2010. С. 34-38.

26. **Негрей С.Г.**, Мокриенко В.Н., Курдюмов Д.Н. Выбор метода моделирования проявления горного давления в выработке, охраняемой жесткими опорами. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: сб. научн. трудов. Донецк: ДВНЗ ДонНТУ, 2010. Вып.16. С. 93-95.

27. Курдюмов Д.Н., **Негрей С.Г.** Разработка новой ресурсосберегающей технологии охраны горных выработок. Проблемы недропользования: междунар. форум-конкурс молод. ученых. Сб. науч. трудов. СПб: СПбГУ, 2011. Ч.1. С. 145-147.

28. **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Мокриенко В.Н., Климов Д.Н. К вопросу выбора метода исследования распределений напряжений вокруг подготовительной выработки. Перспективы освоения підземного простору: матеріали 5-ої міжнар. наук.-практ. конф. молодых ученых, асп. і студ. Дніпропетровськ: НГУ, 2011. С. 17-20.

29. **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Мокриенко В.Н. Использование визуализации траекторий смещений при изучении деформаций горных пород с применением методики PLAXIS. Materiali VI Krakowskiej konferencji mlodych

uchonych. Krakow, 2011. С. 353-357.

30. **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Кремень И.В. Лабораторные исследования несущей способности армированных породных опор. Донбас-2020: Наука і техніка – виробництву: матеріали VI-ої наук.- практ. конф. Донецьк: ДВНЗ ДонНТУ, 2012. С. 86-90.

31. **Негрей С.Г.**, Кремень И.В. Повышение несущей способности породных стоек за счет изменения компрессионных показателей сыпучего материала. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: сб. научн. трудов. Донецк: ДВНЗ ДонНТУ, 2013. Вып.19. С. 44-47.

32. Тупицын А.В., **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Негрей Т.А. Проблемы поддержания подготовительных выработок в условиях шахты «Комсомолец Донбасса». Проблемы недропользования: междунар. форум-конкурс молод. ученых. Сб. науч. трудов. СПб: СПГУ, 2014. Ч.1. С. 177-179.

33. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А. Обоснование возможности применения жестких охранных сооружений в условиях слабых подстилающих пород. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали III-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Красноармійськ: ДВНЗ ДонНТУ, 2015. С. 106-115.

34. **Негрей С.Г.**, Петренко А.В. Изучение механизма деформирования обособленных породных опор. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали IV-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Покровськ: ДонНТУ, 2016. С. 86-91.

35. **Негрей С.Г.**, Рихерт С.В. Определение параметров жестких охранных сооружений в условиях слабых вмещающих пород. Перспективы развития строительных технологий: материалы конф. Днепропетровськ: НГУ, 2016. С. 96-100.

36. **Негрей С.Г.** Разработка эффективных ресурсозберегающих средств охраны подготовительных выработок. Інноваційний розвиток гірничовидобувної галузі. Тези доп. на Міжнародній наук.-техн. інтернет-конференції. Кривий Ріг, 2016. С. 114.

37. **Негрей С.Г.** Лабораторные исследования по установлению эффективности жестких охранных сооружений в условиях слабых пород почвы. Технології і процеси у гірництві та будівництві: зб. наук. праць. Покровськ: ДонНТУ, 2017. С. 40-44.

38. **Nehrii S.**, Nehrii T., Piskurska H. Physical simulation of integrated protective structures. E3S Web Conf. Ukrainian School of Mining Engineering, 2018. Vol. 60. 00038 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000038>) (Наукометрична база **Scopus**).

39. **Негрій С.Г.**, Киященко Р.С., Мокрий В.Г., Гіжа М.П. Пошук заходів щодо забезпечення стійкості слабких порід при використанні жорстких охоронних споруд. Технології і процеси у гірництві та будівництві: зб. наук. праць. Покровськ: ДонНТУ, 2018. С. 22-28.

40. **Nehrii S.**, Nehrii T., Bachurin L., Piskurska H. Problems of mining the prospective coal-bearing areas in Donbas. E3S Web Conf. Ukrainian School of Mining Engineering, 2019. Vol. 123. 01011 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301011>) (Наукометрична база **Scopus**).

41. **Негрій С.Г.**, Негрій О.С. Проблеми підтримання підготовчих виробок при суцільній системі розробки. Scientific achievements of modern society: the 4th International scientific and practical conference, Cognum Publishing House, Liverpool, United Kingdom, 2019. P. 710-715.

42. **Негрій С.** Визначення пріоритетів розробки засобів охорони підготовчих виробок. Українська школа гірничої інженерії: Тези доп. на XIII міжнародній наук.-практичній конференції (Бердянськ, 03-07.09.19р.), Дніпро, 2019. С. 69-70.

43. **Nehrii S.**, Nehrii T., Kultaev S., Zolotarova O. Providing resistance of protection means on the soft adjoining rocks. E3S Web Conf. II International Conference Essays of Mining Science and Practice, 2020. Vol. 168. 00033 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800033>) (Наукометрична база **Scopus**).

44. **Негрій С.Г.**, Негрій О.С. Встановлення ефективних конструкцій засобів охорони виробок у складних гірничо-геологічних умовах. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали VIII-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Покровськ: ДонНТУ, 2020. С. 30-36.

Патенти:

45. Пат. вин. № 94327, МПК(2011.01) E21D 11/00 (2006.01), E21C 41/18 (2006.01). Спосіб охорони гірничих виробок / М.М. Касьян, **С.Г. Негрій**, В.М. Мокрієнко, І.В. Хазіпов (Україна). – а200911242; заявл. 05.11.2009, опубл. 26.04.2011, бюл. № 8. – 3 с.: іл.

46. Пат. к.м. № 54012, МПК(2011.01) E21D 15/00. Спосіб охорони підготовчих виробок / М.М. Касьян, Е.П. Фельдман, І.В. Хазіпов, **С.Г. Негрій**, В.М. Мокрієнко (Україна). – u201004634; заявл. 19.04.2010, опубл. 25.10.2010, бюл. № 20 – 2 с.: іл.

47. Пат. к.м. № 137375, МПК(2019.01) E21D 11/00, E21F 15/00. Спосіб охорони гірничих виробок / **С.Г. Негрій**, Т.О. Негрій, В.О. Коломієць, І.В. Іорданов (Україна). – а201700437; заявл. 17.01.2017, опубл. 25.10.2019, бюл. № 20 – 4 с.: іл.

48. Пат. к.м. № 142589, МПК(2020.01) E21D 11/00, E21F 15/00. Спосіб охорони гірничих виробок / **С.Г. Негрій**, Т.О. Негрій, В.О. Коломієць, І.В. Іорданов (Україна). – а201700436; заявл. 17.01.2017, опубл. 25.06.2020, бюл. № 12 – 5 с.: іл.

49. Пат. к.м. № 144773, МПК E21D 11/14 (2006.01). Спосіб підвищення стійкості порід підпошви під засобом охорони / **С.Г. Негрій**, Т.О. Негрій, О.С. Негрій (Україна). –u202002868; заявл. 12.05.2020, опубл. 26.10.2020. бюл. №20 – 4 с.: іл.

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації:

50. Мокрієнко В.Н., **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н. Изучение влияния формы охранного сооружения, возводимого вслед за лавой, на механизм смещений подстилающих его пород. Записки Горного института. 2012. Т.199. С. 176-179.

51. **Негрей С.Г.** Определение параметров комбинированного охранного сооружения из рядовой породы. Вісті Донецького гірничого інституту. 2015. №1(36)-2(37). С. 23-32.

52. **Негрей С.Г.** Исследование напряженно-деформированного состояния бутовых опор. Вісті Донецького гірничого інституту. 2016. №1(38). С. 9-16.

53. **Негрей С.Г.** Испытания породных полос с ограниченной податливостью. Вісті Донецького гірничого інституту. 2016. №2(39). С. 54-60.

54. **Негрій С.Г., Негрій Т.О.** Дослідження особливостей поведінки слабких бічних порід навколо засобів охорони. Науковий вісник ДонНТУ. 2019. №1-2. С. 16-27. ([https://doi.org/10.31474/2415-7902-2019-1\(2\)-2\(3\)-54-79](https://doi.org/10.31474/2415-7902-2019-1(2)-2(3)-54-79)).

Особистий внесок дисертанта в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1] – участь у проведенні лабораторних випробувань породних споруд з металевими сітками, обробка їх результатів; [2] – формулювання мети та висновків роботи, визначення основних чинників впливу в зруйнованому породному масиві, організація, проведення та обробка результатів лабораторних досліджень; [3] – обґрунтування актуальності, формулювання мети та визначення напрямку подальших досліджень; [5] – аналіз засобів охорони, співучасть у складанні та описі алгоритму, формулювання висновків; [6] – формулювання мети та висновків, аналіз заходів щодо підтримання виїмкових виробок; [8] – визначення напрямку дослідження, формулювання мети та висновків, організація хронометражних спостережень та визначення норм часу та виробітку; [10, 13] – визначення енерговитрат організмів шахтарів при виконанні окремих операцій зі спорудження засобів охорони для встановлення необхідної кількості виконавців та тривалості компенсаційних перерв; [11] – обґрунтування актуальності, формулювання мети, організація та проведення лабораторних випробувань породних конструкцій, складання та розв'язання рівняння граничної рівноваги з отриманням залежності ширини породної смуги від чинників впливу; [12] – аналіз факторів, які впливають на параметри засобів охорони, обґрунтування гіпотези лінійності опускання порід покрівлі на ділянці зони активних зміщень; [14] – обґрунтування актуальності, формулювання мети та висновків, організація та проведення чисельного та фізичного моделювань для визначення параметрів трапецієподібних породних опор та їх розташування відносно виробки; [15] – співучасть у виконанні шахтних натурних спостережень, обробка та аналіз результатів; [16, 17] – визначення зсувів порід покрівлі на ділянці активних зміщень та обґрунтування заходів щодо їх запобігання, зокрема, обмеженням піддатливості засобів охорони; [19, 41] – організація та проведення шахтних натурних спостережень, формулювання мети та висновків, отримання та обробка результатів інструментальних вимірювань, впровадження засобу охорони з армуванням бутової смуги металевими сітками; [20] – формулювання мети та висновків, обґрунтування актуальності, побудова та розрахунок чисельної моделі й визначення навантажень на засіб охорони; [22] – аналіз останніх досліджень і публікації, формулювання мети та викладення результатів фізичного та чисельного моделювань, встановлення параметрів породних споруд з компенсаційними порожнинами; [23] – формулювання мети та висновків, складання методики шахтних спостережень, обробка результатів; [24] – отримання вихідних даних для постановки задач та проведення чисельного моделювання; [25] – організація та проведення шахтних натурних спостережень, формулювання мети та висновків, отримання та обробка результатів інструментальних вимірювань; [26, 33, 39, 50] – загальне редагування, визначення ефективності технологій охорони жорсткими спорудами, складання методик моделювання та підбір еквівалентних матеріалів, обробка та опис результатів; [27, 30, 31] – формулювання мети та висновків, постановка задачі та безпосередня

участь у випробуваннях породних конструкцій, обробка результатів моделювання; [28, 29, 44] – загальна редакція, визначення методів, формулювання мети та висновків; [32, 34, 35, 38, 43] – загальна редакція, формулювання мети та висновків, проведення моделювань та обробка їх результатів; [40] – обґрунтування актуальності розробки технологій охорони в умовах слабких бічних порід, побудова та розрахунок чисельної моделі, обробка та опис результатів моделювання; [45-46] – встановлення ефективних параметрів охоронних конструкцій для визначення їх відмінних ознак і способів реалізації; [47-49] – формулювання сутності способів та визначення їх відмінних ознак за результатами моделювань та розрахунків; [54] – загальна редакція, обґрунтування актуальності, формулювання мети та висновків, виклад основного матеріалу та обговорення результатів.

АНОТАЦІЯ

Незрій С.Г. Розвиток наукових основ охорони підготовчих виробок вугільних шахт в умовах слабких бічних порід. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 «Підземна розробка родовищ корисних копалин» (18 – виробництво та технології). – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України, Покровськ, 2021.

У дисертації вирішена актуальна наукова проблема розвитку наукових основ охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід.

Виконано аналіз передумов розробки ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони виробок позаду лав.

Здійснено шахтні спостереження в підготовчих виробках. Розроблено методику прогнозу зміщень порід покрівлі виробок позаду лави.

Дістали подальшого розвитку дослідження закономірностей розподілу напружень навколо засобів охорони та їх усадок і просідань. Досліджено процес деформування порід навколо засобів й обґрунтовано умову стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» для розробки технологій охорони, зокрема, локального укріплення порід під засобами.

Розроблено та обґрунтовано параметри породних конструкцій з перегородками й стінками, які споруджуються стрічково або з залишенням компенсаційних порожнин. Удосконалено технологію охорони виробок стінками з мішків з породою. Обґрунтовано параметри комбінованих конструкцій з породних смуг між стінками з мішків.

Розроблено методику вибору технологій охорони та визначення їх параметрів.

Ключові слова: охорона виробки, управління станом, геотехнічна система, слабкі бічні породи, засіб охорони, локальна укріплена зона, рядова порода з обмежувачими поверхнями, технологія.

АННОТАЦИЯ

Негрей С.Г. Развитие научных основ охраны подготовительных выработок угольных шахт в условиях слабых боковых пород. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» (18 – производство и технологии) – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» МОН Украины, Покровск, 2021.

В диссертационной работе решена актуальная научная проблема развития научных основ охраны подготовительных выработок в условиях слабых боковых пород, которая заключается в определении закономерностей, характеристик и параметров охраны подготовительных выработок угольных шахт в условиях слабых боковых пород на основе исследованных механических явлений в геотехнической системе «средство охраны-боковые породы» для обоснования эффективных ресурсосберегающих технологий охраны выработок позади лав. Она имеет важное научное, технико-экономическое и социальное значение.

Выполнен анализ научно-технических предпосылок разработки эффективных ресурсосберегающих технологий охраны подготовительных выработок позади лав. Определены технические основы по их разработке, которые основаны на управлении напряженно-деформированным состоянием геотехнической системы «средство охраны-боковые породы» за счет применения средств охраны со специальными конструктивными особенностями, которые целесообразно сооружать из рядовой породы и ограничивающих поверхностей. Определены перспективные угленосные районы Донбасса, где данные технологии будут актуальны.

Выполнены шахтные натурные наблюдения в условиях подготовительных выработок шахт Донбасса, результаты которых составили основу для теоретического обоснования закономерностей смещений пород кровли подготовительных выработок, охраняемых позади лавы в условиях слабых боковых пород, от основных влияющих факторов. Разработана методика по прогнозу смещений пород кровли подготовительных выработок, охраняемых позади лавы в условиях слабых боковых пород.

Получили дальнейшее развитие исследования закономерностей распределения напряжений над средствами охраны в зоне влияния очистных работ, которые достигают величины $1,5\gamma H$ и являются результатом формирования нагрузки на средства, от которой около 90% передается на подстилающие породы. Они являются причиной усадок и просадок средств охраны, которые определяются по установленным эмпирическим зависимостям с учетом действующей нагрузки на средство, его ширины, высоты и деформационных характеристик, а также мощности верхнего слоя пород почвы и показателя их сжимаемости.

Исследован процесс деформирования пород вокруг средств охраны, уточнена логарифмическая корреляционная связь между относительной остаточной прочностью осадочных пород и их предельной прочностью в образце. Установлено, что проседание средств охраны является циклическим и происходит на участке

остаточного трения разрушенных пород, когда общие продольные деформации подстилающего слоя пород превысят 12 %, а напряжения от действия средства охраны – превысят сопротивление разрушенных пород сжатию на границе остаточной прочности. Это позволило обосновать критерий устойчивости пород под средством охраны и условие устойчивости геотехнической системы «средство охраны-боковые породы», которые стали основой для разработки технологий охраны выработок позади лав в условиях слабых боковых пород, в том числе локальных укрепленных зон под средствами охраны. Установлены параметры данных зон.

Обоснованы конструктивные решения по разработке эффективных ресурсосберегающих технологий охраны выработок, основанные на использовании рядовой породы и ограничивающих поверхностей. Созданы теоретические основы для определения их параметров. Исследованы особенности распределения напряжений в сооружениях из рядовой породы и обоснованы параметры ленточных и отдельно стоящих конструкций из породы и ограничивающих поверхностей, в качестве которых используются сетчатые перегородки и стенки из мешков. Усовершенствована технология охраны выработок стенками из мешков, которые заполняются предварительно уплотненной породой. Обоснованы параметры комбинированных конструкций из армированных и неармированных породных полос, которые размещаются между стенок из мешков с породой. Установлено, что использованием ограничивающих поверхностей в предложенных сооружениях позволяет уменьшить ширину конструкций до $(3...6)h$ (h – начальная высота сооружений) и податливость – до 8...30%, с учетом гранулометрического состава пород, размера ячеек в перегородках, прочности арматуры на растяжение и пустотности породы в мешках.

Для слабых пород почвы обоснованы параметры опор из рядовой породы и ограничивающих поверхностей, между которыми оставляются компенсационные полости. Опоры имеют форму прямоугольных параллелепипедов и трапециевидных призм. Установлено, что эффективным решением для перенаправления выдавливающих усилий от выработки, является размещение этих опор самой узкой гранью к выработке. Ширина этой грани не должна быть меньше высоты опоры, ширина полостей между опорами определяется шириной этой грани и углом внутреннего трения пород почвы, а глубина полостей, которая равна длине опор, должна превышать ширину данной грани в 2 ... 3 раза.

Разработана методика выбора технологий охраны выработок и определения их рациональных параметров. На основе полученных результатов разработаны эффективные ресурсосберегающие технологии охраны подготовительных выработок, для которых предложены технологические схемы, определены области применения и экономическая эффективность.

Ключевые слова: охрана выработки, управление состоянием, геотехническая система, слабые боковые породы, средство охраны, локальная укрепленная зона, рядовая порода с ограничивающими поверхностями, технология.

ANNOTATION

Nehrii S. Development of scientific bases of protection of development roadways of coal mines in the conditions of soft adjoining rocks. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining a scientific degree of the Doctor of the Technical Sciences on specialty 05.15.02 “Underground mining of mineral deposits” (18 – Production and Technology) - State Higher Education Institution "Donetsk National Technical University" Ministry of Education and Science of Ukraine, Pokrovsk, 2021.

In the thesis the actual scientific problem of advancement of scientific bases of protection of development roadways in the conditions of soft adjoining rocks has been solved.

The analysis of scientific and technical prerequisites for engineering of effective resource-saving technology of protection of development roadways behind the faces has been done.

Mine field observations have been made in the development roadways. The method for predicting the displacement of the roof rocks in the roadways behind a face has been developed.

The study of the patterns of stress distribution around the protection means and their shrinkage and subsidence has further been developed. The process of deformation of rocks around the protection means has been investigated, and the condition of stability of the system "protection means - adjoining rocks" for development of protection technology, in particular, local reinforcing of rocks under the protection means, has been substantiated.

The parameters of rock structures with partitions and walls, which are constructed by tape or leaving compensatory voids, have been determined and substantiated. The technology of protection of roadways by walls made of bags with rock has been improved. The parameters of combined constructions made of rock strips between the walls of the bags have been substantiated.

The method of choosing protection technology and determining their parameters has been developed.

Keywords: protection of roadway, condition monitoring, geotechnical system, soft adjoining rocks, means of protection, local reinforced zone, ordinary rock with bounding surfaces.

Негрій Сергій Григорович

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ОХОРОНИ
ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ
В УМОВАХ СЛАБКИХ БІЧНИХ ПОРІД**

(автореферат)

Підписано до друку 16.07.21 р. Формат 60×90/16.
Папір типограф. Гарнітура. Times New Roman. Друк
лазерний. Умов. друк. арк. 1,8.
Тираж 100 прим. Замов. №09/21

Видавець та виготовлювач Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет». пл. Шибанкова, 2,
м. Покровськ, Донецької обл., 85300, Україна; тел.: (0623) 52-17-90

Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта видавничої справи:
серія ДК № 4911 від 09.06.2015 р.

