

Національна академія наук України
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова

ГУСЕВ ОЛЕКСАНДР СТАНІСЛАВОВИЧ

УДК 622.833.5:622.281.74(043.3)

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ КРІПЛЕННЯ ВИРОБОК
СТАЛЕПОЛІМЕРНИМИ ТА КАНАТНИМИ АНКЕРАМИ

05.15.02 – підземна розробка родовищ
корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2017

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник:

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

БОНДАРЕНКО
Володимир
Ілліч

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України

КРАВЕЦЬ
Віктор
Георгійович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу вібропневмотранспортних систем і комплексів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпро)

РЯБЦЕВ
Олег
Вікторович

Захист відбудеться «31» березня 2017 р. о. 13:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.188.01 при Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а.

Автореферат розісланий «28» лютого 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.188.01
доктор технічних наук

В.Г. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. При високопродуктивній роботі добувних ділянок ефективним напрямом підтримання виїмкових виробок є повторне їх використання за допомогою зміцнення породного масиву системами сталеполімерних і канатних анкерів. Це суттєво знижує матеріальні і трудові витрати за рахунок залучення гірських порід у протидію проявам гірського тиску. Для умов Західного Донбасу відсутнє обґрунтування параметрів цієї системи кріплення виробок у ракурсі закономірностей розподілу навантаження на її елементи залежно від глибини розробки, структури та властивостей масиву гірських порід. Найбільш перспективним методом досліджень даних складних геомеханічних систем є обчислювальний експеримент в поєднанні з шахтними інструментальними спостереженнями. Це дозволить підвищити адекватність досліджень і достовірність рекомендацій, які розробляються, щодо розрахунку параметрів комбінованих анкерних систем.

Таким чином, *встановлення закономірностей зміни напружено-деформованого стану (НДС) порід навколо виїмкових виробок від геомеханічних факторів, розташування сталеполімерних і канатних анкерів у системі комбінованого кріплення та обґрунтування технологічних параметрів повторного використання виїмкових виробок є актуальним науковим завданням, що має важливе значення для гірничодобувної промисловості України.*

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до «Стратегії розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2030 року» (Вугільна промисловість), Програми «Українське вугілля», затвердженої постановою Кабінету міністрів України (№ 1205 від 19 вересня 2001 р.), і планів держбюджетних робіт Державного ВНЗ «Національний гірничий університет»: тема ГП-469 «Розробка засад синтезу інформаційних і геомеханічних систем керування процесами підземних гірничих робіт» (№ держреєстрації 0114U006105), тема ГП-474 «Розвиток наукових основ управління навантаженням кріпильних, охоронних систем повторно використовуваних виробок. Підвищення ефективності протипилового захисту» (№ держреєстрації 0115U002295), де автор був виконавцем.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є обґрунтування параметрів системи кріплення виїмкових виробок сталеполімерними та канатними анкерами з урахуванням закономірностей зміни НДС оточуючих порід та їх зміцнення для реалізації можливості повторного використання.

Поставлена мета досягається шляхом вирішення таких завдань дослідження:

- виконати аналіз структурних перетворень надвугільної товщі й механізму навантаження кріпильної системи виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт;
- побудувати та обґрунтувати геомеханічні моделі обчислювальних експериментів, що містять системи комбінованого анкерного кріплення виїмкових виробок;
- установити закономірності впливу геомеханічних факторів на НДС комбінованої анкерної системи в склепінні виїмкової виробки;
- розробити раціональні параметри комбінованої анкерної системи для зміцнення порід склепіння виїмкової виробки;
- провести шахтні випробування удосконаленої кріпильної системи та оцінити ефективність її застосування.

Ідея роботи полягає у використанні закономірностей зміни НДС порід і елементів кріплення для обґрунтування параметрів системи кріплення виїмкових виробок сталеполімерними та канатними анкерами.

Об'єкт дослідження – процес зміцнення шаруватого масиву слабких порід сталеполімерними та канатними анкерами покрівлі виїмкової виробки у зоні впливу очисних робіт.

Предмет дослідження – закономірності та параметри силової взаємодії оточуючого масиву з системою кріплення виїмкових виробок сталеполімерними та канатними анкерами при зміцненні порід покрівлі.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у роботі використано комплексний підхід, що включає аналіз процесів структурних перетворень вуглевміщуючої товщі навколо виїмкових виробок при їх окремому кріпленні; чисельне моделювання і аналіз НДС вантажонесучих елементів геомеханічної системи, а також шахтні дослідження удосконаленої кріпильної системи та оцінка ефективності її застосування.

Наукові положення, що виносяться автором на захист:

1. Область застосування сталеполімерних анкерів у кріпильній системі з канатними анкерами визначається показником інтенсивності прояву гірського тиску, що знаходиться в експоненційній залежності від відношення розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі вугільного пласта до його потужності.

2. Ресурсозберігаючі умови рівномірності елементів системи кріплення виїмкових виробок забезпечуються стабільністю параметрів розташування канатних анкерів (0,8 – 1,1 м від вертикальної осі виробки), їх кутів нахилу до горизонталі (65 – 80°), а також параметрами розміщення сталеполімерних анкерів: кути нахилу змінюються за степеневою залежністю від координат їх установаження, що лінійно пов'язані з параметром та знаходяться у логарифмічній залежності від величини показника.

Наукова новизна отриманих результатів:

– уперше встановлено залежність координат установаження і кута нахилу сталеполімерних анкерів у склепінні виїмкової виробки від показника інтенсивності прояву гірського тиску з урахуванням відношення розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі вугільного пласта до його потужності;

– уточнено діапазон зміни параметрів установаження канатних анкерів у складі комбінованої системи залежно від типорозміру виїмкової виробки та встановлено залежності відносних довжин пластичного стану сталеполімерних та канатних анкерів у системі від зміни відношення розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі вугільного пласта до його потужності;

– уточнено критерій оцінки рівня опору сталеполімерних та канатних анкерів у комбінованій системі від глибини розміщення виробки й показника інтенсивності прояву гірського тиску і відношення розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі вугільного пласта до його потужності.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей зміни напружено-деформованого стану зміцненого масиву навколо виїмкових виробок від геомеханічних факторів, параметрів установаження сталеполімерних і канатних анкерів (місце розташування; кути нахилу до горизонталі) для ефективного застосування комбінованих анкерних систем кріплення.

Практичне значення отриманих результатів:

– обґрунтовано маловитратну технологію підтримання виїмкових виробок, що повторно використовуються, шляхом зміцнення їх покрівлі в шаруватому масиві слабких порід комбінованими анкерними системами в складі сталеполімерних і канатних анкерів;

– розроблено науково-обґрунтовану методику розрахунку раціональних параметрів кріпильної системи.

Реалізація результатів роботи. Методика розрахунку раціональних параметрів кріпильної системи виїмкових виробок, що повторно використовуються, у шаруватому масиві слабких порід (затверджено НГУ і ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» 08.06.2015 р.) та робоча документація з проведення і підтримання виробок впроваджені на шахтах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (довідка про впровадження результатів на шахтах ШУ «Першотравенське» від 11.02.2016 р., розрахунок фактичного економічного ефекту на шахті «Західно-Донбаська» від 09.02.2016 р.;).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується використанням апробованих методів досліджень, положень механіки твердого тіла, що деформується, механіки підземних споруд і механіки гірських порід, проведенням різноманітних обчислювальних експериментів з оцінки стану елементів кріпильних систем і достатньою збіжністю натурних шахтних спостережень (85%) з результатами чисельного моделювання.

Особистий внесок здобувача. Автором дисертації визначено: мета, ідея роботи, об'єкт і предмет досліджень, наукові положення; розроблена модель розрахунку системи «масив – кріплення»; отримано закономірності розподілу НДС в масиві та кріпленні; аналіз структурних перетворень надвугільної товщі й механізм формування навантаження на кріпильну систему виїмкових виробок; обробка результатів обчислювальних експериментів; висновки і рекомендації; розробка методики розрахунку параметрів комбінованої анкерної системи кріплення виїмкової виробки. Автор брав безпосередню участь в експериментальних дослідженнях. Текст дисертації написано особисто автором.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та отримали схвалення на міжнародних науково-практичних конференціях «Школа підземної розробки» (Дніпропетровськ – Ялта, 2013; Бердянськ, 2014, 2015), XXIV і XXV міжнародних конференціях «Школа експлуатації підземної» (Краків, Польща, 2015, 2016); технічних радах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (2012 – 2016) і наукових семінарах ДВНЗ «Національний гірничий університет» (2012 – 2016).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 12 наукових праць (1 без співавторів), у т.ч. 2 колективні монографії, 4 фахові наукові видання України, 1 з яких у виданнях іноземних держав, 5 статей у збірнику міжнародних конференцій і затверджений нормативний документ.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків і переліку використаних джерел із 97 найменувань на 10 сторінках; містить 148 сторінок машинописного тексту, 36 рисунків на 5 сторінках, 2 таблиці й 4 додатки на 12 сторінках; загальний обсяг роботи – 165 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **першому розділі** досліджено прояви гірського тиску у виїмкових виробках при структурному перетворенні вміщуючих порід анкерним зміцненням. Значний внесок у розвиток найбільш ефективного і технологічного способу підвищення стійкості виїмкових виробок на шахтах Західного Донбасу з використанням несучої здатності приконтурного породного масиву шляхом його анкерного зміцнення внесли багато фахівців гірничої справи України: Булат А.Ф., Бондаренко В.І., Вівчаренко О.В., Виноградов В.В., Ковалевська І.А., Круковський О.П., Кузьменко О.М., Кириченко В.Я., Рябцев О.В., Симанович Г.А., Усаченко Б.М., Шмиголь А.В. та ін., але досі не встановлено закономірності зміни напруженого стану порід навколо виробок від геомеханічних факторів і розташування анкерів у системі комбінованого кріплення.

Аналіз тенденцій використання анкерів у складі кріпильних систем гірничих виробок показав розширення області й об'ємів їх застосування у комбінації сталеполімерних і канатних анкерів для зміцнення порід покрівлі як самостійного кріплення так і в сполученні з іншими типами підтримуючих кріплень. Такі технічні рішення названі «комбіновані анкерні системи», оскільки за своєю суттю використовується комбінація двох типів анкерів, які досить розрізняються за своїми параметрами і завданням, що виконується, зі зміцнення порід покрівлі виїмкової виробки. Ці технології анкерного зміцнення найбільш активно застосовуються у шаруватих слабких породах, наприклад, у Західному Донбасі. Тому доцільно оцінити ступінь впливу анкерного зміцнення на механізм перетворення структури порід покрівлі виїмкової виробки.

Класична теорія вигину балок і плит стверджує, що максимальні горизонтальні напруження розтягання (стиснення) σ_z виникають у поверхневих ділянках балки (плити), а їх величина обернено пропорційна квадрату товщини балки (шару). Якщо з'єднати анкерами два породних шари, то опір вигину об'єднаних шарів збільшується у чотири рази, тоді як їх сумарний опір при роздільному вигині кожного шару зростає тільки вдвічі. При роздільному деформуванні породних шарів розтягальні напруження мають підвищену величину та при суттєвому вигині шару перевищують опір породи на розтягання – починається розвиток тріщин розриву за потужністю шару. При спільному деформуванні об'єднаних анкерами породних шарів підвищується момент опору їх перерізу, що обумовлює зниження максимумів напружень σ_z , у тому числі й розтягальних. Процес появи й розвитку тріщин розриву сповільнюється і не кожний знакозмінний вигин зміцненої анкерами безпосередньої покрівлі призводить до розподілу здвоєних породних шарів на блоки. Крім того, при збільшеній потужності вантажонесучої балки (плити) підвищується її жорсткість, що обмежує величину прогинів шарів і знижує ймовірність руйнування цього об'єму породи та розпаду розпірної системи на окремі блоки, що опускаються. Безумовно, процес розподілу на блоки відбувається й у зміцненій анкерами безпосередній покрівлі, але з підвищеною довжиною і потужністю блоків. Отже, у розпірній системі порід покрівлі знижується кількість взаємодіючих елементів, а це, відповідно до відомих положень розрахунку багат шар-нірних вантажонесучих систем, збільшує стійкість порід покрівлі – підвищується

реакція їх опору гірському тиску та знижується величина опускання у порожнину виробки.

На підставі проведеного аналізу сформульовано мету та завдання дослідження.

У **другому розділі** наведено обґрунтування обчислювального експерименту та аналіз НДС приконтурних порід і базової кріпильної системи виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт.

Обчислювальні експерименти з моделювання геомеханічних процесів зрушення вуглевміщуючого масиву навколо виїмкових виробок на базі методу скінченних елементів проведені з використанням рекомендацій ДВНЗ «Національний гірничий університет». Створена геомеханічна модель містить вуглевміщуючий масив та схему кріплення виробки (рис. 1). Остання виконана у двох варіантах: існуюча кріпильна система від-

повідно до технічної документації на проведення виїмкової виробки (шахта «Ювілейна»), що названа «базова» та вдосконалена схема кріплення, обґрунтована дослідженнями стану породного масиву, базової кріпильної системи й досвіду підтримання виїмкових виробок. У методичному плані складові дослідження представлені в такий спосіб: узагальнення уявлень про механізм зрушення надвугільної товщі та навантаження кріпильної системи виїмкових виробок; аналіз НДС породного масиву навколо виробки; оцінка НДС вантажонесучих елементів базової кріпильної системи; розробка й обґрунтування удосконаленої схеми кріплення; розрахунок та аналіз НДС геомеханічної системи «масив – рама – комбіноване анкерне кріплення»; встановлення закономірностей впливу основних геомеханічних факторів на НДС вантажонесучих елементів комбінованої анкерної системи при зміцненні склепіння виїмкової виробки й у сполученні з кріпленням КШПУ; розробка методики розрахунку параметрів комбінованої анкерної системи склепіння виїмкової виробки; проведення і аналіз шахтних випробувань.

За результатами досліджень базової кріпильної системи встановлено: найбільшу небезпеку її стійкості несуть стояки рами, особливо, з боку виробленого простору; верхняк рами виположується з вигином у порожнину виробки в центральній частині та появою граничного стану ($\sigma = 260 - 290$ МПа) у верхній частині СВП, а в області контакту з центральним стояком кріплення посилення пластичні деформації розвиваються ще більш інтенсивно ($\sigma \geq 290$ МПа); серед анкерів найбільш навантаженим є додатковий анкер, розміщений у покрівлі виробки над охоронною смугою; периферійні анкери найбільш навантажені з появою σ_T сталі, а центральні анкери у склепінні виробки не довантажені; центральні

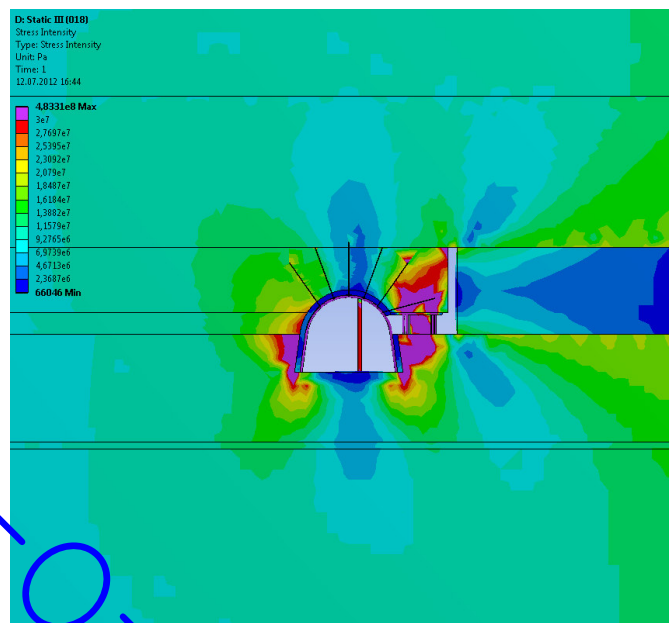


Рисунок 1 – Епюра інтенсивності напружень σ при базовій схемі кріплення

стояки кріплення посилення (дерев'яні) по всьому об'єму знаходяться у граничному стані, а на контакт з верхняком рами – у позамежному.

Особливість розподілу σ по довжині анкерів вказує на процес їх зсуву в порожнину виробки разом зі зміцнюючими породами покрівлі, які розшаровуються більш інтенсивно в приконтурній частині виробки й менш інтенсивно – у заглибленій частині довжини анкерів. Також впливає, що активні зсуви порід покрівлі виходять за межі довжини анкерів у 2,4 м: стан покрівлі з боку лави (особливо, над охоронною конструкцією) більш густої сітки армування і його глибокого поширення. Одним із варіантів технологічного рішення даної проблеми є встановлення канатних анкерів, які одночасно можуть виконувати функцію більш глибокого зміцнення порід покрівлі, обмежуючи її розшарування. Розмі-

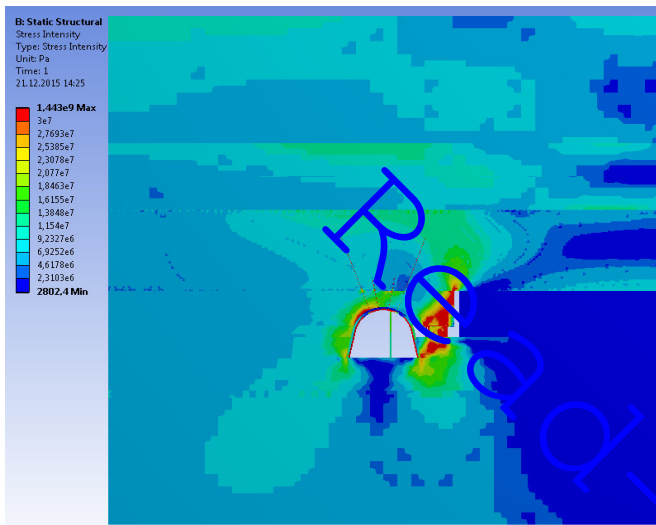


Рисунок 2 – Епюра розподілу інтенсивності напружень σ при використанні комбінованої анкерної системи

ної анкерної системи замість базової показав низку змін у стані прилеглих порід. У покрівлі виїмкового штреку утворюється зона розвантаження. Встановлено, що розвантаження практично не зачіпає породи безпосередньої покрівлі: з боку виробленого простору утвориться локальна область з величиною σ , що відповідає стану недоторканого масиву; у породах над центральною частиною склепіння виникає область з концентрацією σ рівня 1,6 – 2,0 від початкового стану недоторканого масиву. Характер розподілу σ у першому шарі основної покрівлі (потужний алевроліт) вказує на можливість частково незалежного прогину основної і безпосередньої покрівлі з деякими горизонтальними переміщеннями відносно одна одної завдяки обмеженій піддатливості каната за рахунок його подовження при розтяганні. Саме така можливість (хоча й обмежена) горизонтальних переміщень шарів безпосередньої й основної покрівлі відносно одна одної сприяє появі в останній локальній області розвантаження розмірами в площині перерізу $0,7 \times 1,0$ м. Виявлено, що рівень розвантаження становить 0,4 – 0,8 від величини початкового стану недоторканого масиву та вказує на збереження частини горизонтального розпору в межах цієї локальної області, вище якої стан алевроліту переходить у вихідний початковий, а далі на половині потужності породного ша-

щення двох канатних анкерів (з кроком $L = 1,6 - 2,0$ м, тобто, через дві рами по довжині виробки) у поперечному перерізі симетрично по 0,8 – 1,0 м від вертикальної осі виробки під кутом $70 - 80^\circ$ до горизонталі зміцнює об'єм покрівлі на ширину до 7,5 – 8,0 м, що досить для підвищення стійкості породних консолей та обмеження розмірів зони граничного стану порід.

У третьому розділі досліджено закономірності навантаження комбінованої анкерної системи у покрівлі виробки.

Аналіз епюри інтенсивності напружень (рис. 2) у масиві, що оточує виробку, при використанні комбінова-

ру основної покрівлі діє концентрація σ рівня 1,2 – 2,0. Наведена концентрація характеризує дію розпирних зусиль при опорі прогину нижнього шару основної покрівлі, а абсолютні значення σ в 1,75 – 2,91 рази нижче опору стисненню алевроліту. В прилеглих бічних породах з боку недоторканого масиву встановлена ще одна особливість у розподілі σ – знижені σ у порівнянні з базовим варіантом кріплення. Так, концентрація σ становить 1,6 – 2,0 на ширину в масив до 2,1 м, що набагато менше опору стисненню як порід безпосередньої покрівлі, так і вугільного пласта; у слабких породах безпосередньої підшоши така концентрація викликає їх знеміцнення і сприяє інтенсифікації процесу здимання. Бічний опорний тиск комбінованої анкерної системи в 2 – 3 рази нижчий за базовий варіант.

Аналіз стану вуглевміщуючого масиву навколо виїмкової виробки переко-
нливо доводить, що застосування комбінованих анкерних систем дозволяє більш ефективно використати несучу здатність порід покрівлі за рахунок збереження зусиль розпору між породними блоками й формування армопородної плити, а це, у свою чергу, за аналогією з «ланцюговою реакцією» знижує інтенсивність аномалій НДС у боках і підшосві виїмкової виробки. За результатами моделювання виявлено, що елементи кріпильної системи завантажені на 70 – 90% від їх несучої здатності без утворення зон пластичного стану (рис. 3). Тоді необхідно визначитися з кількістю анкерів, достатнім для формування армопородної плити в покрівлі, що надійно захищає виїмкову виробку від надмірних проявів гірського тиску. Тому представляється важливим окреслити умови ефективного застосування комбінованих анкерних систем на базі встановлених закономірностей зв'язку ступеня навантаженості анкерів і геомеханічних факторів, що характеризує умови підтримання виробки.

Далі на основі розробленого загального алгоритму пошуку раціональних параметрів установа комбінованих анкерних систем у складі схеми підтримання виробки в цілому виявлена й обґрунтована низка геомеханічних факторів, що найбільш впливають на ступінь навантаженості анкерів:

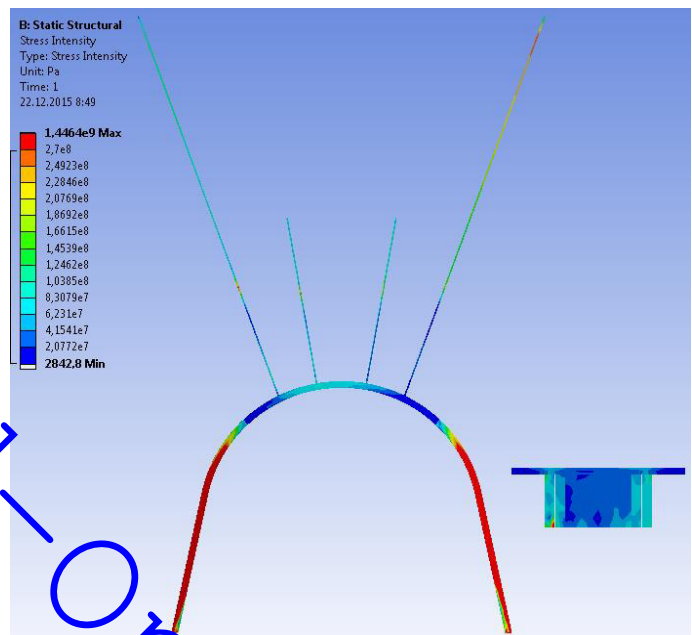


Рисунок 3 – Впору інтенсивності напружень σ у кріпленні при використанні комбінованої анкерної системи

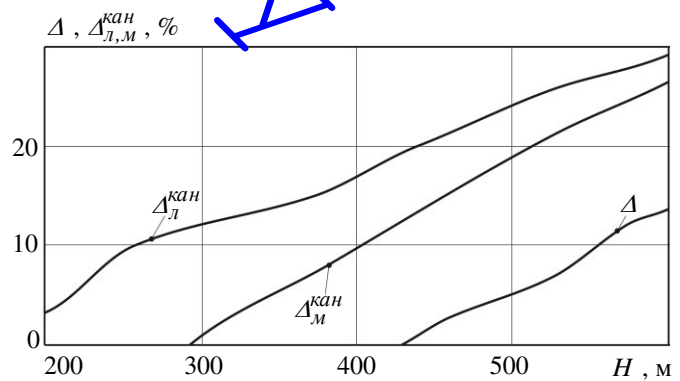


Рисунок 4 – Закономірності впливу глибини H розміщення виробки на відносну довжину Δ і $\Delta_{L,M}^{kan}$

глибина розміщення виробки H , середній розрахунковий опір стисненню R прилеглих вуглевміщуючих порід, відношення розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі вугільного пласта до її потужності b_m^r . Для оцінки ступеня навантаженості анкерів обґрунтовані відповідні критерії: відносна довжина пластичного стану несучого елемента сталеполімерних анкерів Δ у центральній частині склепіння виробки й канатних анкерів $\Delta_{л,м}^{кан}$ у покрівлі з боку виробленого простору й недоторканого масиву, відповідно. Загальна закономірність (рис. 4) для всіх анкерів у складі комбінованої анкерної системи полягає у збільшенні відносної довжини ділянок пластичного стану з ростом параметра H ; усі закономірності близькі до лінійних функцій $\Delta(H)$ і $\Delta_{л,м}^{кан}(H)$.

На наступному етапі визначається різний ступінь навантаженості сталеполімерних і канатних анкерів: ділянки пластичного стану в сталеполімерних анкерах з'являються починаючи із глибини $H=428$ м і розвиваються до $\Delta=13,7\%$ при граничній глибині $H=600$ м виконання обчислювальних експериментів, а для канатного анкера, розміщеного з боку виробленого простору, ділянки пластичного стану величиною $\Delta_{л,м}^{кан}=3,3\%$ присутні вже на глибині $H=200$ м і збільшуються до

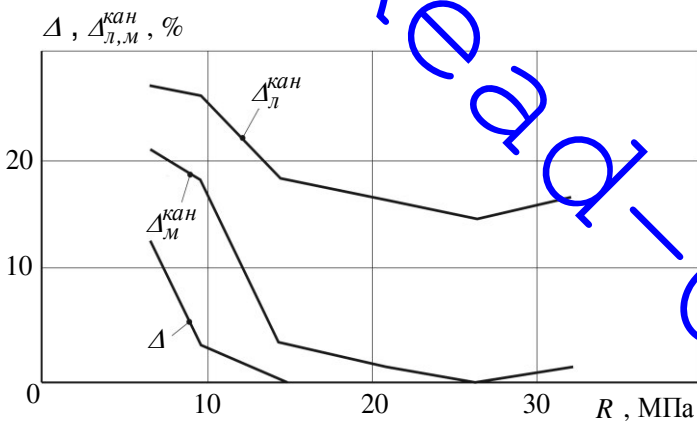


Рисунок 5 – Закономірності впливу параметра R прилеглого масиву на відносну довжину Δ і $\Delta_{л,м}^{кан}$

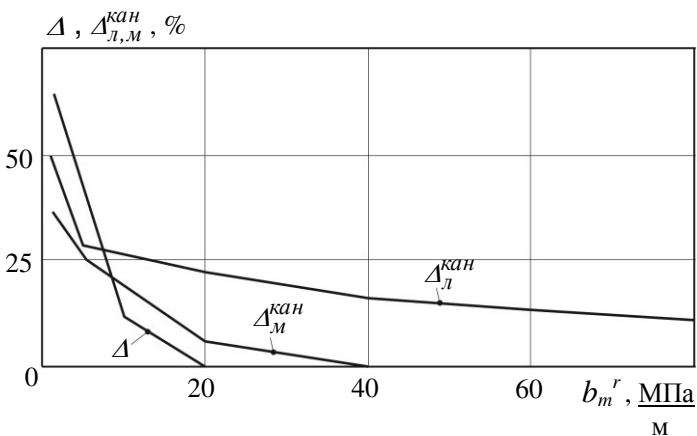


Рисунок 6 – Закономірності впливу параметра b_m^r на відносну довжину Δ і $\Delta_{л,м}^{кан}$

$\Delta_{л,м}^{кан}=29,5\%$ при $H=600$ м. Канатний анкер з боку недоторканого масиву займає проміжне положення: пластичний стан каната з'являється при $H=293$ м і довжина ділянки збільшується до $\Delta_{л,м}^{кан}=26,7\%$ при граничному значенні розрахунків $H=600$ м.

Дослідженнями встановлено, що на ступінь навантаженості анкерів у складі комбінованої анкерної системи, суттєво впливає параметр R (рис. 5). Загальна тенденція для усіх анкерів полягає у збільшенні Δ , $\Delta_{л,м}^{кан}$ при зниженні параметра R , але залежності $\Delta(R)$ і $\Delta_{л,м}^{кан}(R)$ суттєво відрізняються один від одного. Для сталеполімерних анкерів ділянка пластичного стану з'являється тільки при $R \leq 14,5$ МПа і при подальшому зниженні R досить інтенсивно зростає Δ за нелінійною залежністю: при $R=6,6$ МПа величина Δ становить $12,7\%$. Виявлена закономірність зміни функції $\Delta_{л,м}^{кан}(R)$ для канатного анкера, встановленого

з боку виробленого простору. В діапазоні $14,3 \leq R \leq 32,1$ МПа величина $\Delta_{\text{л}}^{\text{кан}}$ досить стабільна й коливається в інтервалі 14,9 – 18,1%. При $R < 14,3$ МПа відбувається деяке зростання $\Delta_{\text{л}}^{\text{кан}}$ з максимумом 26,7% при $R = 6,6$ МПа. Так, до величини $b_m^r \geq 7,5 - 8,3$ МПа/м Δ помітно менша, ніж для канатних анкерів (рис. 6). Аналіз залежностей дозволив встановити, що ділянки пластичного стану в сталеполімерних анкерах з'являються тільки при $b_m^r \leq 20$ МПа/м. При зниженні параметра b_m^r нижче відзначеної границі в 7,5 – 8,3 МПа/м Δ різко зростає, перевищуючи відповідні значення $\Delta_{\text{л,м}}^{\text{кан}}$ і досягаючи величини 64,4% при $b_m^r = 1,4$ МПа/м; при цьому сама залежність Δb_m^r є нелінійною. Пояснюється це тим, що низькі значення параметрів b_m^r характеризують умови залягання досить слабкої безпосередньої покрівлі при досить великій її потужності, що провокує інтенсивне розшарування порід, що примикають до виробки, на значну відстань у покрівлю. Тому протидія сталеполімерних анкерів активному опусканню порід покрівлі зачіпає більшу частину довжини анкера з появою протяжних ділянок пластичного стану їх арматури. Для канатних анкерів з боку виробленого простору залежність $\Delta_{\text{л}}^{\text{кан}} b_m^r$ трохи інша. Тут ділянка пластичного стану каната присутня при будь-якому значенні b_m^r у досліджуваному діапазоні: від 10,6% при $b_m^r = 80$ МПа/м і до 22,0% при $b_m^r = 20$ МПа/м. У даному діапазоні значень b_m^r спостерігається відносно повільне зростання $\Delta_{\text{л}}^{\text{кан}}$ при зниженні параметра b_m^r ; при подальшому зменшенні відношення b_m^r градієнт зростання $\Delta_{\text{л}}^{\text{кан}}$ збільшується суттєво нелінійно, досягаючи $\Delta_{\text{л}}^{\text{кан}} = 50\%$ при $b_m^r = 1,4$ МПа/м. У канатних анкерах, установлених з боку недоторканого масиву, залежність $\Delta_{\text{л}}^{\text{кан}} b_m^r$ займає, як завжди, проміжне положення як по величині $\Delta_{\text{м}}^{\text{кан}}$, так і по ступеню нелінійності зв'язку цих параметрів. Ділянки $\Delta_{\text{м}}^{\text{кан}}$ з'являються при $b_m^r \leq 40$ МПа/м і при подальшому зниженні відношення b_m^r інтенсивно росте їх довжина аж до 36,1% при $b_m^r = 1,4$ МПа/м. Відзначений інтенсивний ріст ділянок $\Delta_{\text{л,м}}^{\text{кан}}$ по обидва боки виробки пояснюється все тією ж нестійкістю порід безпосередньої покрівлі при низьких значеннях b_m^r .

Активне розшарування слабкої і досить потужної безпосередньої покрівлі збільшує навантаження на канатні анкери, закріплені в основній покрівлі; остання випробовує набагато менші переміщення у напрямку виробки й за рахунок натягу канатів утримує породи безпосередньої покрівлі від обвалення. Тому частина зниження стійкості (при малих значеннях b_m^r) безпосередньої покрівлі перекладається на збільшення навантаження на канатні анкери й довжина ділянок $\Delta_{\text{л,м}}^{\text{кан}}$ канатів зростає.

У четвертому розділі обґрунтовано технологічні параметри зміцнення порід покрівлі виїмкових виробок системою сталеполімерних та канатних анкерів.

Виявлені нові закономірності є основою розробки методики розрахунку раціональних параметрів анкерної системи, що реалізується двома умовами: з одного

боку, анкери разом зі зміцненими породами покрівлі повинні максимально розвантажувати рамне кріплення для ефективного обмеження втрати перерізу виробки; з іншого боку, анкери в покрівлі повинні працювати з максимальною реакцією опору гірському тиску, тобто, встановлюватися в мінімально достатній кількості.

Для виявлення зв'язку координат установлення x_i сталеполімерних анкерів з геомеханічними факторами використані закономірності зміни ступеня навантаженості анкерів (рис. 4 – 6), розміщених по контуру склепіння виробки. Встановлено, що силовий потенціал сталеполімерних анкерів у покрівлі реалізується тільки при інтенсивному прояві вертикального гірського тиску: $H \geq 400 - 450$ м, $R \leq 10 - 15$ МПа і $b_m^r \leq 15 - 20$ МПа/м. В цих умовах сталеполімерні анкери активно чинять опір процесам розшарування й опускання порід покрівлі виробки, що припускає підвищену щільність їх установлення (7 – 9 анкерів). У більш сприятливих гірничо-геологічних умовах зміцнення покрівлі потребує меншої їх кількості (3 – 5 анкерів). При суттєвому недовантаженні анкерів вони виключаються з розгляду при збереженні результатів для більш навантажених анкерів. При цьому навантаження, що сприймається недовантаженими анкерами, враховується при збільшенні інтенсивності напружень у навантажених анкерах за рахунок резерву опору, обумовленого площиною і стадією зміцнення сталі «арматури» анкера. Використовуючи викладений підхід отримано графіки (рис. 7) залежностей координат x_i установлення сталеполімерних анкерів від параметрів b^r і b_m^r .

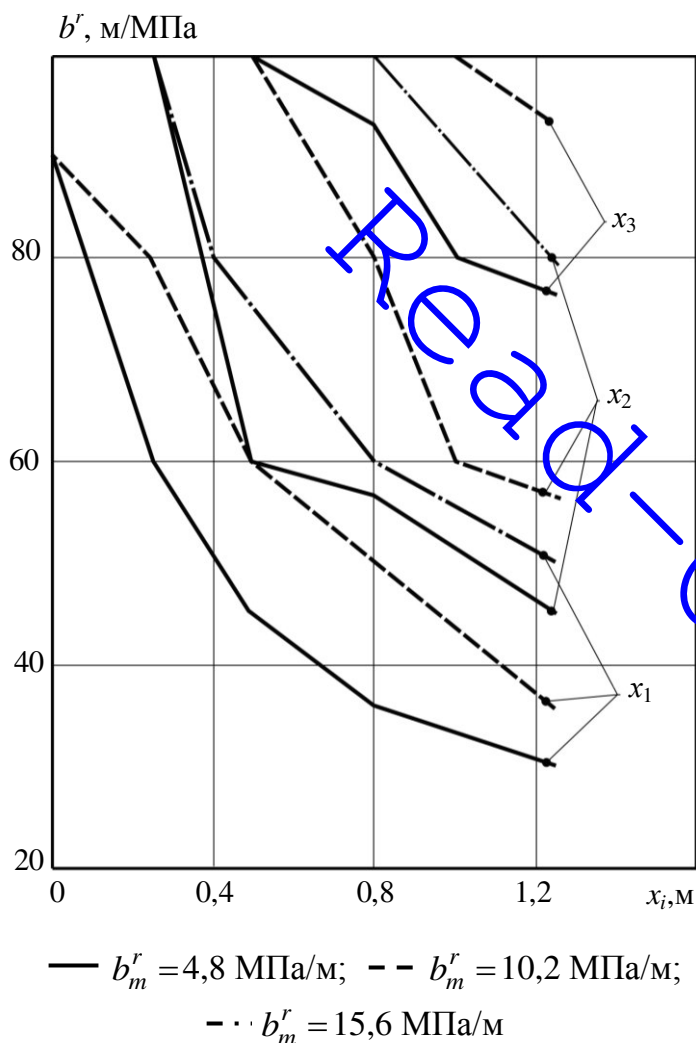


Рисунок 7 – Зв'язок координат x_i ($i = 1, 2, 3$) і параметра b^r

встановлення анкерів проаналізована зміна трьох координат x_i ($i = 1, 2, 3$) залежно від гірничо-геологічних умов. Установлено обернено пропорційний зв'язок координат x_i з величиною відношення b^r , що стабільно повторюється для усіх варіантів розрахунку незалежно від кількості анкерів у склепінні виробки. Анкери, для яких координата x_i досягає або перевищує координату розташування замка піддатливості рами, виключаються.

но чинять опір процесам розшарування й опускання порід покрівлі виробки, що припускає підвищену щільність їх установлення (7 – 9 анкерів). У більш сприятливих гірничо-геологічних умовах зміцнення покрівлі потребує меншої їх кількості (3 – 5 анкерів). При суттєвому недовантаженні анкерів вони виключаються з розгляду при збереженні результатів для більш навантажених анкерів. При цьому навантаження, що сприймається недовантаженими анкерами, враховується при збільшенні інтенсивності напружень у навантажених анкерах за рахунок резерву опору, обумовленого площиною і стадією зміцнення сталі «арматури» анкера. Використовуючи викладений підхід отримано графіки (рис. 7) залежностей координат x_i установлення сталеполімерних анкерів від параметрів b^r і b_m^r . Розрахунками і досвідом установлено, що розміщувати більше шести анкерів у центральній частині покрівлі не раціонально через їх низьку завантаженість. При симетричній схемі

Дослідженнями доведено, що на координати x_i впливає відношення b_m^r : зі збільшенням міцності породи покрівлі навантаження на анкери зменшується, їх кількість доцільно скоротити, що сприяє збільшенню відстані між анкерами (зсуву координат їх установаження від замка до п'яти склепіння). Виявлені закономірності дозволили одержати набір рівнянь регресії за розрахунками значень x_1 , x_2 , x_3 : $x_1 = -5,8 \cdot 10^{-2} b_m^r \ln(0,015b^r - 0,52)$, м; $x_2 = 10^{-2} b_m^r [4,8 - 10,9 \ln(0,015b^r - 0,52)]$, м; $x_3 = 10^{-2} b_m^r [12,6 - 17,2 \ln(0,015b^r - 0,52)]$, м. У наведених виразах індекс «1» при x позначає координату x_1 установаження анкера з мінімальною відстанню від вертикальної осі виробки, а індекс «3» – з максимальним. Якщо величина x_3 перевищує горизонтальну координату розташування замка піддатливості рамного кріплення відповідного типорозміру перерізу виробки, то крайній анкер виключається зі схеми встановлення анкерів у склепінні. Аналогічним чином розглядається доцільність установаження у склепінні анкерів з координатами x_2 і x_1 . Тоді в певній області співвідношення геомеханічних параметрів зникає необхідність у установаженні сталеполімерних анкерів по контуру склепіння на ділянці між замками піддатливості рами. Зміст такого твердження полягає в тому, що покрівля підвищеної стійкості не здатна навантажити сталеполімерні анкери до рівня їх активної роботи з опору вертикальному гірському тиску. Також впливає і відносно обмежена довжина сталеполімерних анкерів: на цій довжині різниця у зсуві покрівлі в районі хвостовика анкера й на ділянці його замка не створює зусилля розтягання в «арматурах» анкера, порівняних із границею текучості сталей. При збільшенні довжини анкерів (наприклад, канатних) різниця у зазначених зсувах зростає, що сприяє їх повноцінному навантаженню й ефективному опору опускання покрівлі навіть в умовах її відносної стійкості. Доведено, що існує область гірничо-геологічних умов, коли спостерігається низька ефективність зміцнення сталеполімерними анкерами порід покрівлі в межах центральної частини склепіння виробки. Для визначення границь цієї області отримані наступні співвідношення геомеханічних параметрів для найбільш використовуваних типів перерізів S виїмкових виробок із кріпленням КШЛУ:

$$S = 11,0(11,7) \text{ м}^2 \quad b^r \leq 34,7 + 66,7 \exp(-17,2b_m^r), \text{ м/МПа};$$

$$S = 15,0 \text{ м}^2 \quad b^r \leq 34,7 + 66,7 \exp(-19,8b_m^r), \text{ м/МПа};$$

$$S = 17,7 \text{ м}^2 \quad b^r \leq 34,7 + 66,7 \exp(-22,4b_m^r), \text{ м/МПа}.$$

При величині b^r , менше розрахованої за наведеними формулами, не рекомендується встановлення сталеполімерних анкерів у центральній частині склепіння; у противному випадку їх кількість визначається за формулами розрахунку x_i . Для оперативної оцінки доцільності розміщення сталеполімерних анкерів у центральній частині склепіння виробки побудовані графіки (рис. 8).

У ході досліджень встановлено недовантаження розглянутої групи анкерів, у зв'язку з чим рекомендуються конструкції зі зменшеним діаметром «арматур» в інтервалі $d_i = 15 - 18$ мм, опір розриву якої до 2 – 2,5 раз нижче, ніж у звичайних конструкцій, але цілком достатньо для формування армопородної вантажонесучої

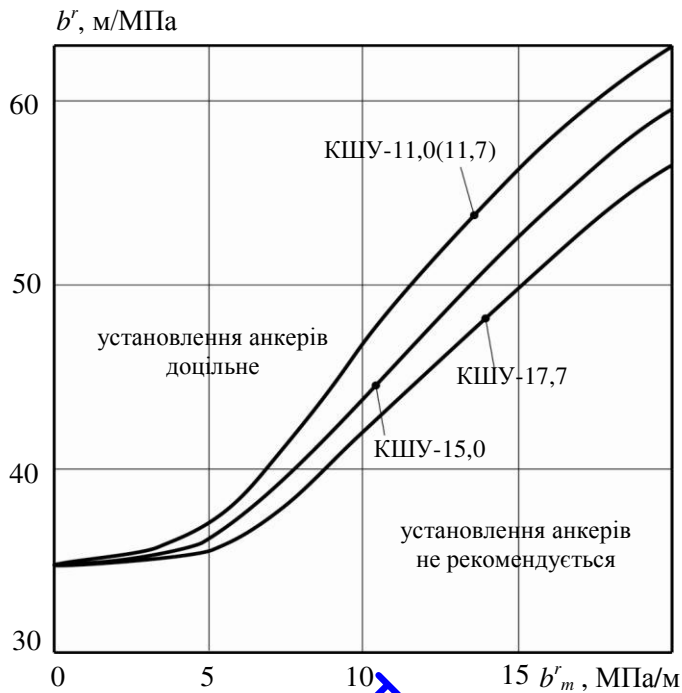


Рисунок 8 – Область доцільного встановлення сталеполімерних анкерів

плити в покрівлі виробки. Довжина анкера прийнята стандартною 2,4 м.

Вибір раціональних кутів β_i нахилу сталеполімерних анкерів до горизонтальної осі виробки пов'язаний з координатою x_i і є змінним для сталеполімерних анкерів. Установлено, що максимальний ефект зміцнення масиву досягається коли поздовжня вісь анкера збігається з вектором переміщень порід покрівлі при даній координаті x_i . Відповідно до загальної тенденції зміни вектора переміщень прилеглих порід від вертикального в замку склепіння до косонаправленого в його п'яті отримано закономірності зв'язку кута β_i нахилу анкера з координатою x_i його встановлення. Застосу-

вання кореляційно-дисперсійного аналізу результатів обчислювального експерименту дозволило одержати наступне рівняння регресії $\beta_i = 90(1 - 0,41x_i^{0,8})$, град.

На основі встановлених закономірностей для канатних анкерів розроблена методика розрахунку їх раціональних параметрів, що містять: довжину $l^{кан}$ анкера, діаметр $d^{кан}$ каната, координату $x^{кан}$ і кут $\beta^{кан}$ нахилу його встановлення.

Розрахунок мінімальної довжини $l^{кан}$ канатних анкерів виконується за формулою:

$$l^{кан} = l_{зам} + l_{хв} + \frac{h_g - h^{кан}}{\sin \beta^{кан}} + \frac{Z_2 - Z_1}{\cos \beta^{кан}},$$

де h_g – висота виробки в проходці; $h^{кан}$ – висота встановлення канатного анкера від підосви виробки; $\beta^{кан}$ – кут нахилу канатного анкера до вертикальної осі виробки; Z_1 і Z_2 – допоміжні геометричні параметри, обумовлені за формулами:

$$Z_1 = x^{кан} + (h_g - h^{кан}) \operatorname{ctg} \beta^{кан};$$

$$Z_2 = \frac{(B + 2b_{л}^{II})^2}{8h} \left[\sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta^{кан} + \frac{16h}{(B + 2b_{л}^K)^2} (h + Z_1 \operatorname{tg} \beta^{кан})} - \operatorname{tg} \beta^{кан} \right],$$

де B – ширина виробки в проходці, м; $b_{л}^K$ – ширина області знеміцнення порід у боках виробки, м; $x^{кан}$ – відстань від вертикальної осі виробки до місця встановлення канатного анкера, м.

Завдання вибору раціональних значень параметра $x^{кан}$ вирішено перебором варіантів розрахунку НДС розглянутої геомеханічної системи з урахуванням

закономірностей впливу геомеханічних факторів, який змінюється в діапазоні 0,8 – 1,1 м. Тут менше зі значень $x^{кан}$ відповідає меншому типорозміру перерізу виробки (наприклад, під кріплення КШПУ-9,5), а більше зі значень $x^{кан}$ – підвищеному розміру виробки (наприклад, під кріплення КШПУ-15,0). Для найбільш використовуваного перерізу виїмкових виробок під кріплення КШПУ-11,7 (11,0) рекомендується розміщати хвостовик канатного анкера на відстані 1,0 м від вертикальної осі виробки. Для діапазону зміни координати $x^{кан}$ отриманий інтервал варіації раціонального кута нахилу канатного анкера $\beta^{кан} = 65 - 80^\circ$ у різних гірничо-геологічних умовах підтримання виїмкової виробки. Менше значення $\beta^{кан}$ відповідає $x^{кан} = 1,1$ м і більш сприятливим гірничо-геологічним умовам; більше значення $\beta^{кан}$ відповідає $x^{кан} = 0,8$ м і більш складним гірничо-геологічним умовам. Раціональна величина опору зрушенню порід покрівлі виражається через мінімально достатній діаметр «арматур» канатного анкера $d^{кан}$. Критерієм вибору раціональних значень $d^{кан}$ є його максимально можливе навантаження у межах допустимих напружень на розрив.

Аналіз результатів різноманітних обчислювальних експериментів довів, що найбільш суттєво впливають на ступінь навантаження анкерів два геомеханічні параметри – H і R , а відношення b^r має певний вплив тільки в діапазоні $b_m^r \leq 0 - 15$ МПа/м, в якому суттєво змінюється величина R , тому, що безпосередня покрівля підвищеної потужності згідно СОУ 10.1. 0018590.011. 2007 має максимальний вплив на величину R . Внаслідок чого параметр R автоматично містить у собі вплив низьких значень відношення b_m^r і зникає необхідність в окремому вивченні й фіксації впливу цього параметра на ступінь навантаженості канатних анкерів. Відзначені закономірності підтверджені результатами виконаних серій обчислювальних експериментів, також як і те, що вплив кожного з параметрів H і R необхідно встановлювати окремими залежностями, оскільки відношення b^r не дає досить тісного кореляційного зв'язку.

За підсумками досліджень отримані залежності зв'язку мінімально достатнього діаметра каната анкера з геомеханічними параметрами H і R . Спостерігається близьке до лінійного збільшення $d^{кан}$ з ростом глибини H і суттєво виражений обернено пропорційний зв'язок $d^{кан}$ і параметра R . Основний діапазон зміни мінімально достатнього діаметра канатного анкера обмежений величиною $d^{кан} = 15 - 16$ мм, що з високою достовірністю корелює з шахтними спостереженнями з оцінки стійкості виробок, у покрівлі яких установлені канатні анкери діаметром $d^{кан} = 15,2$ мм. Однак при досить низькому значенні $R \leq 5 - 7$ МПа інтенсивно зростає навантаження на канатні анкери, що вимагає збільшення діаметра їх каната. Обробка результатів різноманітних розрахунків дозволила отримати рівняння регресії для прогнозування мінімально достатнього діаметра каната

$$d^{кан} = \frac{139}{\sqrt{\sigma^6}} \left[\left(1,7 + 9,1 \cdot 10^{-3} H \right) \left(\frac{14,3}{R^{1,8}} + 0,66 \right) \right]^{0,5}, \text{ мм.}$$

Рівняння отримано при встановленні двох канатних анкерів із кроком $L^{кан} = 3,2$ м уздовж виробки, встановленні рам із кроком $L = 0,8$ м. Якщо розрахункове значення $d^{кан} < d_{ст}^{кан}$, то необхідно приймати найближчий більший типорозмір $d_{ст}^{кан}$. Якщо розрахункове значення $d^{кан}$ перевищує стандартну величину $d_{ст}^{кан}$ канатів, що є в наявності, то необхідно збільшити кількість $n^{кан}$ канатних анкерів

на 1 п.м виробки за формулою $n^{кан} = 0,625d^{кан} / d_{ст}^{кан}$, шт./м.

Розроблено й затверджено ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» і ДВНЗ «Національний гірничий університет» «Методику розрахунку кріпильної системи дільничних виробок шахт Західного Донбасу», що дозволяє реалізувати ресурсозберігаючі умови підтримання виїмкових виробок, що повторно використовуються (рис. 9).

Сумарний фактичний економічний ефект від реалізації результатів досліджень по двох шахтах склав 41,8 млн грн.



Рисунок 9 – Фрагмент стану 594 збірного штреку на експериментальній дільниці

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлених закономірностей зміни напружено-деформованого стану порід навколо виїмкових виробок від показника інтенсивності прояву гірського тиску з урахуванням відношення розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі вугільного пласта до його потужності, параметрів розташування сталеполімерних і канатних анкерів у системі комбінованого кріплення обґрунтовано технологічні параметри (місце розташування, кути нахилу до горизонталі) повторного використання виїмкових виробок із застосуванням систем кріплення сталеполімерними та канатними анкерами, впровадження яких на шахтах Західного Донбасу дозволило отримати економічний ефект у розмірі 41,8 млн грн, що має суттєве значення для гірничодобувної промисловості України.

Основні наукові й практичні результати полягають у наступному:

1. Аналіз стану питання в області підтримання виробок у зоні впливу очисних робіт комбінованими анкерними системами показав, що має місце перспектива їхнього широкомасштабного застосування. Важливим є урахування особливостей гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов підтримки виїмкових виробок, як визначального фактора у виборі параметрів засобів анкерного кріплення; при виконанні обчислювальних експериментів обов'язкове урахування будови прилеглого масиву, його природних і техногенних порушень, що дозволяє підвищити адекватність досліджень і достовірність розроблювальних рекомендацій з розрахунку параметрів комбінованих анкерних систем.

2. Установлено, що в прилеглих породах покрівлі за допомогою комбінації канатних і сталеполімерних анкерів формується армопородна плита, висока вантажонесуча здатність якої досягається за рахунок збереження горизонтальних зусиль розпору навіть в умовах розбивки шарів покрівлі на породні блоки. За рахунок утворення розпірної системи в покрівлі знижуються концентрації усіх компонент напружень до рівня, багаторазово нижчого міцності літотипів, а поява розтягальних вертикальних і горизонтальних напружень носить винятково локальний характер. Тому потужна армопородна плита в покрівлі охороняє кріпильну систему виїмкових виробок від надмірного вертикального гірського тиску.

2. Обґрунтовано геомеханічну модель обчислювального експерименту систем кріплення виїмкових виробок сталеполімерними і канатними анкерами, яка дозволила встановити формування армопородної плити, що протидіє гірському тиску з коефіцієнтом концентрації інтенсивності напружень не більше 2,0. Це забезпечує цілісний стан більшої частини бічних порід покрівлі й вугільного пласта, знижуючи концентрацію напружень і розширюючи площу опори армопородної плити в покрівлі виробки, що дозволить встановити закономірності розподілу НДС комбінованої анкерної системи в склепінні виїмкової виробки

3. Встановлено закономірності впливу глибини розміщення виробки, середнього розрахункового опору стисненню прилеглого масиву порід, відношення розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі до її потужності на ступінь навантаження системи сталеполімерних і канатних анкерів. Обґрунтовано критерій оцінки рівня опору анкерів у складі комбінованої системи, який використаний для встановлення найбільш впливових геомеханічних факторів.

4. Уперше встановлено залежність координат установлення і кута нахилу сталеполімерних анкерів у склепінні виїмкової виробки від інтенсивності прояву гірського тиску при його врахуванні в породах безпосередньої покрівлі залежно від потужності пласта, що виймається. Зниження концентрацій напружень і розмірів областей знеміцнення порід у боках виробки сприятливо позначається на рівні напруженості порід підосви – області її ймовірного знеміцнення скорочуються. Уточнено діапазон зміни параметрів установлення канатних анкерів у складі комбінованої системи залежно від типорозміру перерізу виїмкових виробок.

5. Обґрунтовано критерій оцінки рівня опору анкерів у складі комбінованої анкерної системи, що використаний для встановлення найбільш впливових геомеханічних факторів у частині ступеня навантаженості системи: глибина розміщення виробки, середній розрахунковий опір стисненню прилеглого масиву порід, відношення розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі до її потужності. Таким чином, підвищена навантаженість елементів комбінованої анкерної системи захищає рамне кріплення від гірського тиску, що сприяє зниженню втрат перерізу виїмкової виробки.

6. Установлено закономірності навантаженості (диференційовано) анкерів у складі комбінованої кріпильної системи від основних впливних геомеханічних факторів. Визначено величину градації рівня опору анкерів гірському тиску: максимум протидії створюють канатні анкери, встановлені з боку виробленого простору; мінімум – сталеполімерні анкери. Виявлено закономірність збільшення реакції опору сталеполімерних анкерів у міру зміни координат їх встановлення у

напрямку периферійних ділянок верхняка рамного кріплення. Отримані результати стали основою для обґрунтування раціональних параметрів комбінованої анкерної системи.

7. Уперше встановлено залежності зміни відносної довжини ділянок пластичного стану несучого елемента анкера від середнього розрахункового опору стисненню прилеглого масиву. Уточнено критерій оцінки рівня опору сталеполімерних і канатних анкерів у комбінованій системі від глибини розміщення виробки, показника інтенсивності прояву гірського тиску та відношення розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі вугільного пласта до його потужності. Отримано розрахункові вирази, що визначають необхідні параметри зміцнення покрівлі виїмкових виробок комбінованої анкерної системою: координати встановлення анкерів, кути їх нахилу, діаметр несучого стрижня і довжина анкера. Також обґрунтовано межу областей доцільного застосування сталеполімерних анкерів.

8. Встановлено, що область застосування сталеполімерних анкерів у кріпильній системі з канатними анкерами визначається показником інтенсивності прояву гірського тиску, що знаходиться в експоненційній залежності від відношення розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі вугільного пласта до його потужності.

9. Уперше визначено, що ресурсозберігаючі умови рівномірності елементів системи кріплення виїмкових виробок забезпечуються стабільністю параметрів розташування канатних анкерів (0,8 – 1,1 м від вертикальної осі виробки), їх кутів нахилу до горизонталі (65 – 80°), а також параметрами розміщення сталеполімерних анкерів: кути нахилу змінюються за ступеневу залежністю від координат їх установаження, що лінійно пов'язані з параметром та знаходяться у логарифмічній залежності від величини показника. Результати обчислювального експерименту показують адекватну збіжність з результатами шахтних досліджень (85 – 90%).

10. Шахтні дослідження проявів гірського тиску в виїмкових виробках, що закріплені рекомендованою комбінованою анкерною системою, довели її переваги в порівнянні з традиційним опорно-анкерним кріпленням, які полягають у наступному:

- зближення порід покрівлі і підшви знижено на 33 – 37%, зближення стоек рам зменшилось на 41 – 45%, зміщення за діагональним розміром з боку робочого борта виробки скоротилися на 33 – 35%, з боку неробочого борта – на 26 – 28%;

- асиметрія діагональних розмірів знижена в 2 рази, а вертикальна – у 3,62 рази;

- величина підняття порід підшви скорочена в 1,5 – 2 рази.

12. Розроблено й затверджено ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» і ДВНЗ «Національний гірничий університет» «Методику розрахунку кріпильної системи дільничних виробок шахт Західного Донбасу», що дозволяє реалізувати ресурсозберігаючі умови підтримання виїмкових виробок, що повторно використовуються.

Фактичний економічний ефект від реалізації результатів досліджень по ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» склав 3,1 млн грн і по ВСП «Шахтоуправління Тернівське» – 38,719 млн грн (за 1-е півріччя 2015 р.).

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гусев А.С. К вопросу нагружения крепи очистных комплексов в сложных горно-геологических условиях / Г.А. Симанович, Д.О. Астафьев, А.С. Гусев // Розробка родовищ: щорічн. наук.-техн. зб. – Д.: ЛізуновПрес, 2013. – С. 81 – 85.
2. Гусев А.С. Геомеханика нагружения и расчет параметров крепежной и охранной систем подготовительных выработок шахт Западного Донбасса: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Вивчаренко А.В., Гусев А.С., Малыхин А.В.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2014. – 228 с.
3. Гусев А.С. К вопросу снижения металлоемкости анкерного упрочнения кровли выемочных выработок // А.С. Гусев // Уголь Украины. – 2014. – № 11. – С. 8 – 10.
4. Гусев А.С. Обоснование и расчет канатных анкеров в крепежной системе выемочных выработок / И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, А.С. Гусев, В.Г. Снигур // Уголь Украины. – 2014. – № 12. – С. 30 – 33.
5. Gusiev O. Features of using numerical experiment to analyze the stability of development workings / V. Sotskov, O. Gusiev // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Oras Mining: annual scientific-technical collection. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2014. – P. 401 – 404.
6. Гусев А.С. Определение изменения несущих характеристик элементов крепи штрека при его наработке в условиях мелкослоистого породного массива / В.В. Фомичёв, В.А. Соцков, А.С. Гусев // Розробка родовищ: щорічн. наук.-техн. зб. – Д.: ЛізуновПрес, 2014. – С. 399 – 407.
7. Гусев А.С. Методика прогноза пущения пород почвы пластовых выработок в тонкослоистом массиве слабых пород / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Гусев А.С.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2014. – 43 с.
8. Гусев А.С. Взаимодействие грузонесущих элементов крепежной системы выемочных выработок: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Барабаш М.В., Гусев А.С.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2015. – 214 с.
9. Гусев А.С. Конструкции и оптимизация параметров опорных плит крепи горных выработок из спецпрофиля СВП / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, А.С. Гусев, В.Г. Снигур // Уголь Украины. – 2015. – № 3 – 4. – С. 55 – 59.
10. Gusiev O. Anchor's strengthening of rock walls of extraction mine workings / I. Kovalevska, O. Malykhin, M. Barabash, O. Gusiev // New Developments in Mining Engineering: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2015. – P. 5 – 8.
11. Гусев А.С. Исследование и расчет боковых анкеров, устанавливаемых на высоте подрывки кровли выемочных выработок / И.А. Ковалевская, А.В. Малыхин, А.С. Гусев // Розробка родовищ: щорічн. наук.-техн. зб. – Д.: ЛізуновПрес, 2015. – С. 313 – 317.
12. Gusiev O. Formation of limit equilibrium zone in marginal rocks of excavation mine working / I. Kovalevska I., G. Symanovych, O. Gusiev, V. Snigur // Materialy Szkoły Eksploatacyj Podziemnej-2015. – [Electronic resource] 1 electronic optical drive (2,25 MB; CD-ROM). – Krakow: Katedra Gornictwa Podziemnego.

Особистий внесок автора в роботи, опубліковані у співавторстві, полягає в наступному: [1, 5, 6, 10] – обґрунтування розрахункових схем дослідження НДС стану масиву та кріплення, визначення зміни несучих характеристик елементів кріплення штреку при його надробці в умовах дрібношарового породного масиву; [2] – участь у написанні розділів 3, 4; §§8.2.3, 8.3.3, 9.2.3, 9.3.3, 10.2; [3, 4, 9] – аналіз НДС вантажонесучих елементів системи «масив – кріплення», обґрунтування і розрахунок канатних анкерів у кріпильній системі виїмкових виробок; [7] – формування бази вихідних даних і виконання розрахунків, їх аналіз, обґрунтування залежностей; [8] – участь у написанні §§7.4, 8.2, 8.3, 9.7, 9.8; [11, 12] – обґрунтування геомеханіки взаємодії елементів системи «масив – кріплення», отримання закономірностей на базі методів кореляційно-дисперсійного аналізу.

АНОТАЦІЯ

Гусєв О.С. Обґрунтування параметрів системи кріплення виробок сталеполімерними та канатними анкерами. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин. – Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, 2017.

Захищаються виявлені нові закономірності керування синтезом процесів зміцнення порід покрівлі виїмкових виробок комбінованими анкерними системами відповідно до встановлених закономірностей досягнення максимуму опору вантажонесучими елементами. Встановлено, що в прилеглих породах покрівлі за допомогою комбінації канатних і сталеполімерних анкерів формується армопородна плита, висока вантажонесуча здатність якої досягається за рахунок збереження горизонтальних зусиль розпору, що знижує концентрації усіх компонент напружень до рівня, багаторазово нижчого міцнісних характеристик літотипів. Встановлено зниження напруженості верхняка і стояків рамного кріплення завдяки активному опору сталеполімерних і канатних анкерів процесам зрушення вуглевміщуючого масиву.

Обґрунтовано критерій оцінки рівня опору анкерів у складі комбінованої анкерної системи, який використаний для встановлення найбільш впливових геомеханічних факторів у частині ступеня навантаженості системи: глибина розміщення виробки, середній розрахунковий опір стисненню прилеглого масиву порід, відношення розрахункового опору стисненню порід безпосередньої покрівлі до її потужності. Встановлено закономірності ступеня навантаженості анкерів у складі комбінованої анкерної системи від основних впливних геомеханічних факторів. Виявлено закономірність збільшення реакції опору сталеполімерних анкерів у міру зміни координат їх установаження в напрямку периферійних ділянок верхняка рамного кріплення. Отримано розрахункові вирази, що визначають усі необхідні параметри зміцнення покрівлі виїмкових виробок як комбінованою анкерною системою.

Розроблено й затверджено ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» і ДВНЗ «Національний гірничий університет» «Методику розрахунків кріпильної системи дільничних виробок шахт Західного Донбасу», що дозволяє реалізувати ресурсозбері-

гаючі умови підтримання виїмкових виробок, які повторно використовуються. Фактичний економічний ефект по двом шахтам склав 41,8 млн грн.

Ключові слова: породний масив, виїмкова виробка, анкерне кріплення, зміцнення, розрахунок параметрів.

АННОТАЦИЯ

Гусев А.С. Обоснование параметров системы крепления выработок сталеполимерными и канатными анкерами. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, 2017.

Защищаются выявленные новые закономерности управления синтезом процессов укрепления пород кровли выемочных выработок комбинированными анкерными системами согласно установленным закономерностям достижения максимума сопротивления грузонесущими элементами. Установлено, что в близлежащих породах кровли с помощью комбинации канатных и сталеполимерных анкеров формируется армопородная плита, высокая грузонесущая способность которой достигается за счет сохранения горизонтальных усилий распора, что снижает концентрации всех компонент напряжений до уровня, многократно ниже прочностных характеристик литотипов. Установлено снижение напряженности верхняка и стоек рамного крепления благодаря активному сопротивлению сталеполимерных и канатных анкеров процессам сдвижения углевмещающего массива.

Обоснован критерий оценки уровня сопротивления анкеров в составе комбинированной анкерной системы, который использован для установления наиболее влиятельных геомеханических факторов в части степени нагруженности системы: глубина размещения выработки, среднее расчетное сопротивление сжатию близлежащего массива пород, отношение расчетного сопротивления сжатию пород непосредственной кровли к ее мощности. Установлена закономерность степени нагруженности анкеров в составе комбинированной анкерной системы от основных влияющих геомеханических факторов. Выявлена закономерность увеличения реакции сопротивления сталеполимерных анкеров в меру изменения координат их установления в направлении периферийных участков верхняка рамного крепления. Получены расчетные выражения, которые определяют все необходимые параметры укрепления кровли выемочных выработок как комбинированной анкерной системой.

Разработана и утверждена ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» и ГВУЗ «Национальный горный университет» «Методика расчетов крепежной системы участковых выработок шахт Западного Донбасса», которая позволяет реализовать ресурсосберегающие условия поддержания повторно используемых выемочных выработок. Фактический экономический эффект по двум шахтам составил 41,8 млн. грн.

Ключевые слова: породный массив, выемочная выработка, анкерная крепь, упрочнение, расчет параметров.

ABSTRACT

Gusiev O.S. Substantiation the parameters of system of supporting mine workings by resin-grouted and rope anchors. – Manuscript.

Thesis of the scientific degree of the Candidate of the Technical Science on specialty 05.15.02 – Underground mining of mineral deposits. – M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics NAS of Ukraine, Dnipro, 2017.

The revealed regularities of maintaining synthesis processes of strengthening the roof of extraction mine working according to estimated regularities maximum resistance achieve of load-bearing elements have been defended. It is established that in surrounded roof rocks by means of a combination of a rope and resin-grouted roof bolts are formed the reinforced plate which high load-carrying capacity is achieved by maintaining the horizontal force thrust that reduces a concentrations of all components of strains up to the level of multiple lower of lithotype strengthening characteristics. The strength reduction of set caps and legs of frame supports because of active resistance of resin-grouted and rope anchors by the processes of shifting coal-bearing massif is determined.

The criteria of estimation the level of resistance anchors as part of combined anchored system that is used for determination the most influential geomechanical factors with regard to degree of loading system: depth of mine working place, average calculated resistance to pressure of surrounding rocks, relation of calculated resistance to pressure of immediate mine roof to its thickness is substantiated. The regularities of a degree of anchor loading within combined anchored system as of the main influenced geomechanical factors are determined. The regular pattern of increasing the reaction of pressure resin-grouted bolts in the course of coordinate variation their installation in the direction of peripheral areas of a set cap of frame support is established. The calculated expressions that define the necessary parameters of strengthening the roof of extraction mine workings as a combined anchored system are received.

“Methodology of calculation the support system of excavations for Western Donbas mines” is designed and approved by PJSC “DTEK Pavlogradvyhillia” and SHEI “National Mining University”. It allows realizing resource-saving conditions of supporting of extraction mine workings that are reused. The actual economic effect for two mines is 41,8 mln. UAH.

Key words: rock massif, extraction mine working, rock anchor, strengthening, calculation parameters.

ГУСЄВ Олександр Станіславович

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ КРІПЛЕННЯ ВИРОБОК
СТАЛЕПОЛІМЕРНИМИ ТА КАНАТНИМИ АНКЕРАМИ

(Автореферат)

Підписано до друку 27.02.17. Формат 60х90/16.
Папір офсет. Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. №175

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