

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

ГРИГОР'ЄВ Олексій Євгенович

УДК 622.831.3



**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАПОБІЖНИХ ЦІЛИКІВ
КАПІТАЛЬНИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК В УМОВАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

Спеціальність 05.15.04 – “Шахтне та підземне будівництво”

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

Дніпропетровськ-2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівництва і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Шашенко Олександр Миколайович,
завідувач кафедри будівництва і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Бузило Володимир Іванович,
декан гірничого факультету, професор кафедри підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ);

кандидат технічних наук
Слащов Ігор Миколайович,
старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ).

Захист дисертації відбудеться “28” жовтня 2011 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 у Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ).

Автореферат розісланий “28” вересня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ефективність роботи вугільної шахти визначається станом підземних гірничих виробок, що забезпечують транспортування корисних копалин, доставку людей і матеріалів, вентиляцію, водовідлив та ін. Нормальний експлуатаційний стан більшості виробок, у свою чергу, залежить від заходів, що спрямовані на їх захист від дії гірського тиску. Такі заходи передбачаються в період будівництва, експлуатації виробок і, що особливо важливо з точки зору економії використання грошових ресурсів, на стадії проектування.

Проте охоронні заходи далеко не завжди дозволяють зберегти стійкість гірничих виробок, що особливо характерно для шахт, видобувні ділянки яких наразі переходять на все глибші горизонти. В цьому випадку спостерігається істотне зростання експлуатаційних витрат грошових і трудових ресурсів на ремонт і підтримку виробок, а також знижується продуктивність і безпека праці.

В той же час мають місце випадки, коли в результаті реалізації прийнятих проектних рішень, стійкість виробок забезпечується за рахунок зайвої витрати запасів корисної копалини в межах природних охоронних об'єктів – ціликів. Саме за рахунок залишення ціликів забезпечується охорона переважної більшості капітальних виробок від дії опорного тиску, а також охорона об'єктів поверхні і меж шахтного поля. При цьому втрати вугілля в ціликах сягають 10...15 % від загального об'єму балансових запасів шахти.

Так, наприклад, на ТДВ "Шахта Білозерська", яка в даній роботі прийнята як базове підприємство для виконання досліджень, протягом 1997...2001 років в результаті експерименту ширина ціликів була зменшена в 1,6...1,9 рази в порівнянні з проектними. Основою для подібного зменшення послужила відсутність будь-якого впливу очисних робіт на стан виробок, що охоронялися, після досягнення лавою проектною відмітки її призупинення. Крім того, як передбачалося, потужний пласт пісковика у покрівлі з коефіцієнтом міцності $f=4...6$ є своєрідним додатковим захистом виробок, саме за рахунок своїх міцнісних властивостей.

Тому геомеханічне обґрунтування параметрів запобіжних ціликів є актуальною задачею, вирішення якої дозволить знизити об'єми втрат, збільшити навантаження на видобувні стовпи і зменшити кінцеву собівартість видобутого вугілля.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дослідження виконані відповідно до програми науково-дослідних робіт Національного гірничого університету, яка пов'язана з держбюджетними темами ГП-338 "Теоретичні основи моделювання напружено-деформованого стану породного масиву навколо виробок на підставі сполучених чисельних методів" (№ держреєстрації 0104U000780) і ГП-379 "Закономірності зміни напружено-деформованого стану порідного масиву з плоскими дефектами навколо капітальної виробки" (№ держреєстрації 0106U001386), а також при підтримці науково-освітнього центру Національного гірничого університету в рамках гранту №USB1-021-DP-07 фонду цивільних досліджень CRDF (США) за темою «Обґрунтування геометричних параметрів ціликів, що охороняють капітальні гірничі виробки».

Мета досліджень полягає в геомеханічному обґрунтуванні ширини запобіжних ціликів, що охороняють капітальні гірничі виробки від взаємного впливу і впливу очисних робіт, залежно від гірничо-геологічних умов їх закладення.

Основна ідея роботи полягає в урахуванні міцнісних й геометричних параметрів порід покрівлі й складноструктурного запобіжного цілику при визначенні його припустимих розмірів.

Об'єктом досліджень є напружено-деформований стан вуглепородного масиву, який вміщує капітальні виробки, що охороняються запобіжними ціликами

Предметом досліджень є геометричні параметри запобіжного цілику, що охороняє капітальні гірничі виробки в умовах складноструктурного породного масиву, який вміщує пласт міцних порід покрівлі.

Для досягнення поставленої мети в дисертації сформульовані і виконані наступні **основні задачі досліджень**:

- аналіз і узагальнення літературних джерел з визначення геометричних параметрів запобіжних ціликів;
- вибір об'єкту досліджень і оцінка гірничо-геологічних умов закладення виробок, що охороняються запобіжними ціликами;
- визначення закономірностей деформації породного масиву навколо виробок, що охороняються ціликами, на моделях з еквівалентних матеріалів;
- встановлення закономірностей зміни стійкості цілику в залежності від структури масиву, що його складає з використанням чисельного моделювання;
- розробка розрахункових схем, встановлення закономірностей зміни напружено-деформованого стану породного масиву навколо капітальних виробок, що охороняються ціликами за різних гірничо-геологічних умов з використанням чисельного моделювання;
- розробка рекомендацій щодо визначення ширини запобіжних ціликів, що охороняють капітальні гірничі виробки;
- розрахунок очікуваного економічного ефекту від використання результатів досліджень.

Методи досліджень. Методичну основу досліджень складає комплексний підхід, що включає аналіз і узагальнення літературних даних за темою дисертації, шахтні дослідження, лабораторні дослідження з використанням методу еквівалентних матеріалів, математичне моделювання із застосуванням методу скінчених елементів, проведення експериментальних випробувань в шахтних умовах.

Наукові положення, що захищаються в дисертації, :

- коефіцієнт запасу міцності запобіжного цілику, як параметр, що характеризує його стійкість, є прямо пропорційним до ширини цілику і знаходиться у експоненціальній залежності до потужності вугільного пласту, що дозволяє регулювати розміри цілику, зменшуючи експлуатаційні втрати вугілля;
- мінімальна ширина запобіжного цілику між двома похилими виробками, що проведені за падінням знаходиться в експоненціальній залежності від потужності пласту пісковика, що залягає у покрівлі, і відстані від нього до подошви вугільного пласту, що дозволяє проектувати параметри системи підготовки вугільного пласту.

Наукова новизна отриманих результатів :

– вперше на основі адаптованої для гірничо-геологічних умов вугільних шахт методики встановлена закономірність зміни коефіцієнту запасу міцності запобіжного цілику, як параметра, що характеризує його стійкість, від потужності вугільного пласту, що складає цілик;

– вперше встановлені закономірності зміни напружено-деформованого стану породного масиву навколо капітальних виробок від ширини ціликів, що охороняють такі виробки для двох характерних ситуацій ТДВ шахти "Білозерська": "виробка-цілик-виробка" і "лава-цілик-виробка";

– вперше доведена наявність впливу міцного породного пласту, розташованого в покрівлі капітальних виробок і ціликів, що охороняють їх, на напружено-деформований стан породного масиву навколо таких виробок, що дозволило встановити залежності ширини запобіжних ціликів від потужності міцного породного пласту покрівлі;

– вперше встановлено, що розміри зони непружних деформацій, яка визначає стійкість виробок, що охороняються ціликом, залежать від потужності пласту масиву порід, що підстилає міцні породи покрівлі.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей зміни напружено-деформованого стану запобіжного цілика і його геометричних параметрів в умовах складноструктурного породного масиву.

Практичне значення роботи полягає в геомеханічному обґрунтуванні припустимої ширини ціликів між двома капітальними виробками, і між лавою і капітальною виробкою, яка забезпечує достатню стійкість як запобіжного цілику так і виробок, що охороняються і дозволяє зменшити втрати вугілля в умовах ТДВ "Шахта Білозерська".

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується використанням апробованих методів математичного і фізичного моделювання породного середовища, натурних вимірів, задовільною збіжністю результатів аналітичних і натурних досліджень (в межах 10 %) напружено-деформованого стану породного масиву навколо капітальних виробок, що охороняються ціликами.

Реалізація роботи в промисловості. Результати досліджень використані на ТДВ "Шахта Білозерська" при виконанні видобувних робіт на 2-й північній лаві горизонту 550 м пласту l_8 та при обґрунтуванні експериментального зменшення ціликів 3...5 північних лав в зазначених умовах.

Особистий вклад автора полягає у формулюванні мети, завдань досліджень, наукових положень, в розробці методики досліджень, в аналізі результатів лабораторного й чисельного моделювання, розробці й впровадженні рекомендацій з вибору параметрів запобіжних ціликів, що забезпечують стійкість вантажного ходу уклону №1 горизонту 550 м пласту l_8 ТДВ "шахта Білозерська".

Апробація результатів досліджень. Основні положення дисертаційної роботи викладені, обговорені і схвалені на міжнародних науково-технічних конференціях "Форум гірників" (м. Дніпропетровськ, ДВНЗ "НГУ", 2003, 2008), "Вдосконалення технології будівництва шахт і підземних споруд" (м. Донецьк, ДВНЗ

«ДонНТУ», 2003-2006) і "Перспективи освоєння підземного простору" (м. Дніпропетровськ, ДВНЗ "НГУ", 2007).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи викладені в 11 наукових працях, зокрема в 5 статтях, опублікованих у фахових виданнях і 6 статтях, опублікованих у збірках матеріалів конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку літературних джерел із 112 найменувань на 11 сторінках і одного додатку на 2 сторінках. Містить 117 сторінок машинописного тексту, 50 рисунків і 10 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 145 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Двадцятий вік став століттям інтенсивного використання вуглецевих копалин в найширшому спектрі сфер застосування. Особливу роль у світовому балансі споживання вуглецевих енергоносіїв займає вугілля, обсяги виробництва якого нині складають близько 30 %. В найближчому майбутньому у зв'язку з істотним зростанням цін і виснаженням запасів нафти і газу, потреба у вугіллі навіть з урахуванням збільшення прогнозованих цін на вугільну продукцію зростатиме.

В Україні вугілля – єдиний енергоносієвий запас якого вистачає для забезпечення потреб енергетики, хімічної та металургійної промисловості на десятиріччя вперед.

З часу отримання Україною незалежності обсяги виробництва вугілля знизилися і останніми роками складають 75...80 млн. т. на рік. Заходи у вигляді закриття нерентабельних шахт, інвестиції приватних і бюджетних засобів в галузь, часткова реалізація декількох програм розвитку, на жаль, не призвели до декларованих об'ємів видобутку у розмірі 90 млн. т вугілля на рік до 2010 року, основною причиною чого слід визнати недостатні обсяги інвестування. У зв'язку з цим особливу актуальність набувають науково обґрунтовані ефективні технології видобутку вугілля, які дозволяють при відносно невеликих витратах ресурсів забезпечити високий рівень видобутку вугілля.

Одним зі способів підвищення ефективності видобутку є зниження об'ємів втрат вугілля у природних охоронних конструкціях, які за різними оцінками складають понад 10 % від загальних балансових запасів підприємства. До таких охоронних конструкцій відносяться бар'єрні цілики, охоронні цілики у підготовчих та капітальних виробках і цілики під об'єктами поверхні.

Особливий інтерес викликають цілики, що охороняють капітальні виробки від їх взаємного впливу і від впливу на них фронту опорного тиску очисних робіт. Інтерес викликаний тим, що фактично підготовлені до видобутку високомеханізованим способом ділянки виймального стовпу досить часто не відпрацьовуються зовсім навіть після доопрацювання панелі в цілому. Тим часом, як показує практика, є ресурси зменшення таких ціликів, а відповідно, і втрат вугілля в них.

Так, наприклад, на ТДВ «Шахта Білозерська», яка в роботі прийнята як базове підприємство для виконання досліджень, протягом 1997...2001 років в результаті експерименту ширина ціликів була зменшена в 1,6...1,9 разів. Основою для подібного рішення стала відсутність будь-якого впливу очисних робіт на стан виро-

бок, що охоронялися, з досягнення лавою проектної відмітки її призупинення, про що свідчать результати спостережень маркшейдерських служб шахти. Відповідно спостереженням ділянки уклону №1, людського і вантажного ходків пласту l_8 горизонту 550 м після 12 років з часу проведення знаходяться в нормальному експлуатаційному стані. Це пояснюється, в першу чергу, специфічними гірничо-геологічними умовами закладення даних виробок. Наявність в покрівлі виробок, які проведені вугільним пластом, потужного і міцного пласту порід саме над ділянками з найменшим рівнем прояву гірського тиску, який виражається у мінімальних зміщеннях точок контуру, ймовірно, позначається сприятливо на їх стійкості. Про це свідчить й аналіз кривої, що відображає зміну висоти північного ходку за довжиною виробки (рис. 1), за результатами якого можна відзначити різке зменшення висоти виробки за межею наявності пісковика у покрівлі.

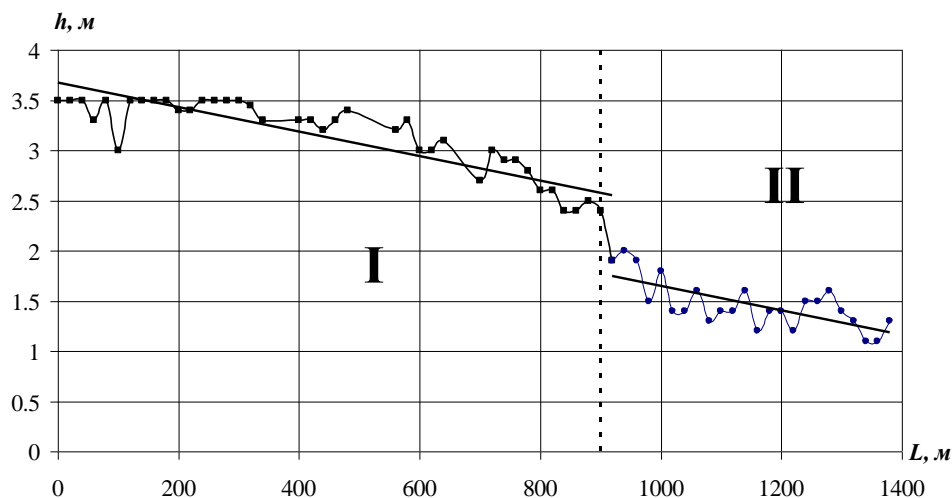


Рис. 1. Розподіл висоти за довжиною північного ходку уклону №1 пласту l_8 горизонту 550 м ТДВ "Шахта Білозерська". I – ділянка ходку з пісковиком в покрівлі, II – ділянка, де пісковик відсутній

Питанню визначення припустимих розмірів ціликів присвячені роботи Л.Д. Шевякова, В.В. Соколовського, К.В. Руппенейта, В.Д. Слесарева, Ц.О. Левіної, Д.І. Шермана, А.Г. Афендика, А.С. Космодам'янського, М.Г. Ялимова, В.Р. Рахімова, Ж.С. Єржанова, А.М. Ільштейна, А.Г. Мусіна, Г.Л. Фісенка, Ф.П. Бублика, Л.Я. Парчевського, В.І. Бузила, О.М. Шашенка та ін., на основі яких для проектування систем підготовки вугільних пластів розроблені нормативні методики розрахунку розмірів запобіжних ціликів. Але такі методики, деякі з котрих було запропоновано ще в 70-х роках минулого століття, потребують суттєвого геомеханічного наповнення, яке б базувалось на новітніх методах досліджень і теоретичних здобутках.

З метою встановлення загальних закономірностей і отримання якісної картини розвитку геомеханічних процесів в породному масиві, що вміщує дві виробки і запобіжний цілик, який охороняє їх від взаємного впливу, були виконані лабораторні дослідження з використанням методу еквівалентних матеріалів. За матеріали було застосовано піщано-парафіно-графітові суміші, а самі моделі сформовані відповідно до стратиграфічної колонки області масиву, що досліджується, у масштабі 1:100.

Моделювання виконувалось у два етапи, метою першого з котрих було обмеження граничних розмірів цілику між двома виробками для наступного моделювання із змінними значеннями потужності пісковиків і алевроліту. Для незмінних гірничо-геологічних умов за відсутності пісковиків визначалася способом фотофіксації конвергенція в модельованих виробках, внаслідок чого отримана залежність величин вертикальної і горизонтальної конвергенції від ширини цілику. Як видно з рис. 2 у міру наближення виробок має місце зростання конвергенції, що в природних умовах привело б до зниження стійкості виробок.

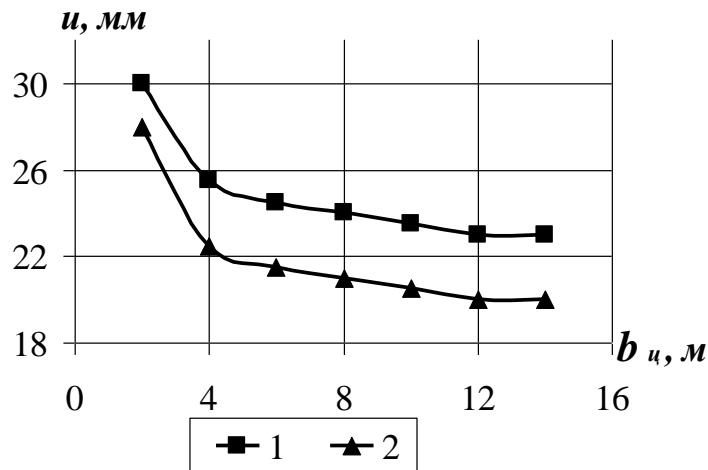


Рис. 2. Графіки залежності зміни вертикальної (1) і горизонтальної (2) конвергенцій від ширини цілику $b_{ц}$

На другому етапі моделювання варіювалися значення потужності пісковиків і потужності алевроліту, що підстилає пісковик, внаслідок чого отримані залежності величини конвергенції від вищезгаданих параметрів (рис. 3).

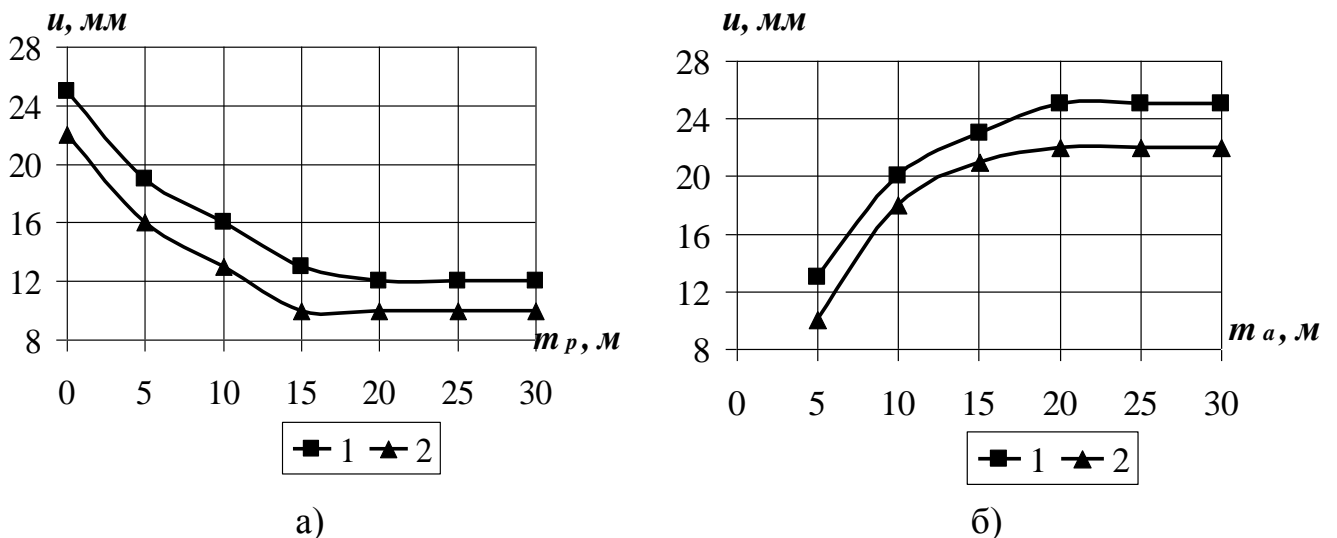


Рис. 3. Графіки залежності вертикальної й горизонтальної конвергенцій від потужності пісковиків (при $m_a=5 м$) (а) і від потужності пласту алевроліту (при $m_p=20 м$) (б)

Аналіз отриманих залежностей дозволяє зробити наступні висновки:

-при зменшенні ширини запобіжного цілику стійкість виробок знижується, що оцінюється в даному випадку за зміною вертикальної й горизонтальної конвергенцій. Істотний ріст конвергенції, відбувається при наближенні виробок на відстань, що майже дорівнює ширині самих виробок;

-потужність пласту міцних порід основної покрівлі є параметром, що істотно впливає на стійкість виробок, розташованих під ним. Чим вище потужність пісковуку, тим вище стійкість виробки, при цьому зміщення на контурі виробок при максимальній потужності пісковуку зменшуються в 3...3,3 рази. Проте, досягши певної межі (в даному випадку при $m_p=18$ м), величина зсувів в близькості виробок залишається незмінною;

-при розміщенні потужного пласту пісковуку на більшій відстані від вугільного пласта (а відповідно, й від виробок) зміщення контуру виробки істотно зростає. При розташуванні пласта пісковуку безпосередньо в покрівлі виробок конвергенція знижується в середньому в 3 рази.

Отримані залежності відображають лише якісну картину деформації породного масиву, кількісна ж оцінка можлива при використанні методик досліджень, заснованих на аналізі результуючої картини пружно-деформованого стану породного середовища біля виробок, отримання якої можливе завдяки застосуванню чисельних методів моделювання. Стосовно задач геомеханіки використання таких чисельних методів обґрунтовано в роботах Л.А. Розіна, О. Зенкевича, Д. Норрі, Ж. де Фріза, А.Б. Фадєєва, Б.З. Амусіна, Ж.С. Єржанова, Т.Д. Каримбаєва, Ю.А. Векслера, С.Б. Колоколова, Н.А. Жданкіна, І.М. Петухова, В.В. Зубкова, Л.В. Новикової, О.О. Сдвижкової, С.М. Гапєєва, О.В. Солодянкіна, І.М. Слащова О.М. Шашенка, та ін.

В роботі було застосовано метод скінчених елементів, який шляхом використання методу пружних рішень нелінійних задач О.А. Ільюшина адаптовано для вирішення пружно-пластичних задач у вигляді програмного продукту С.М. Гапєєва.

Своєрідним мірилом стійкості запобіжних ціликів є коефіцієнт запасу міцності \bar{K} , який являє собою відношення несучої здатності цілику до навантажень, що діють на нього. Задача визначення величини \bar{K} для ціликів вугільних шахт ускладнюється наявністю в межах цілика вугільного пласту і зон непружних деформацій навколо виробок, в межах яких зруйнований матеріал масиву має залишкову несучу здатність.

Для обчислення загального усередненого коефіцієнту міцності \bar{K} для умов пласту l_8 горизонту 550 м ТДВ "Шахта Білозерська" було змодельовано 36 характерних ситуацій, в яких варіювались потужність вугільного пласту m_y і ширина цілику b_y .

У результаті виконаного моделювання були отримані картини розподілу еквівалентних напружень, розрахунок яких виконувався за критерієм П.П. Баландіна (рис. 4), та визначені області непружних деформацій навколо виробок з відомими значеннями залишкової міцності у їх межах (рис. 5).

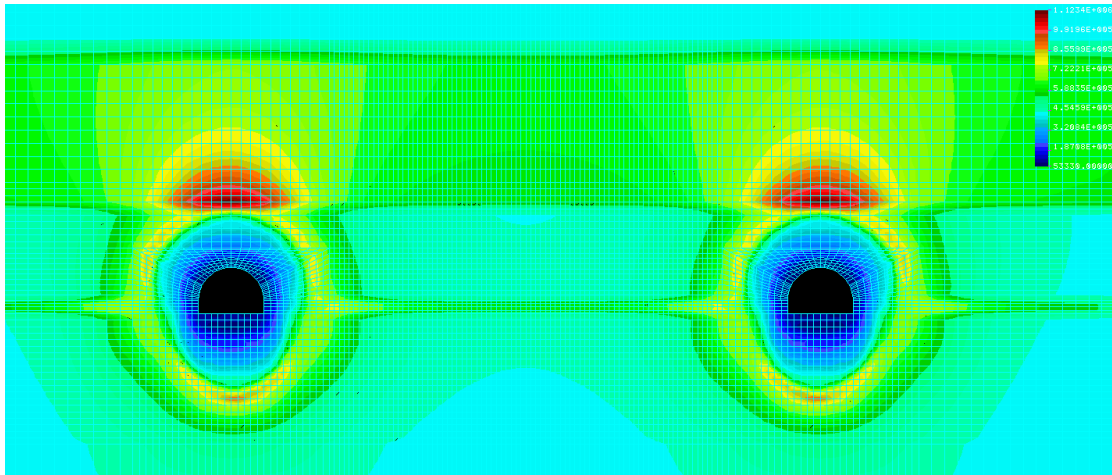


Рис. 4. Картина розподілу еквівалентних напружень σ_e

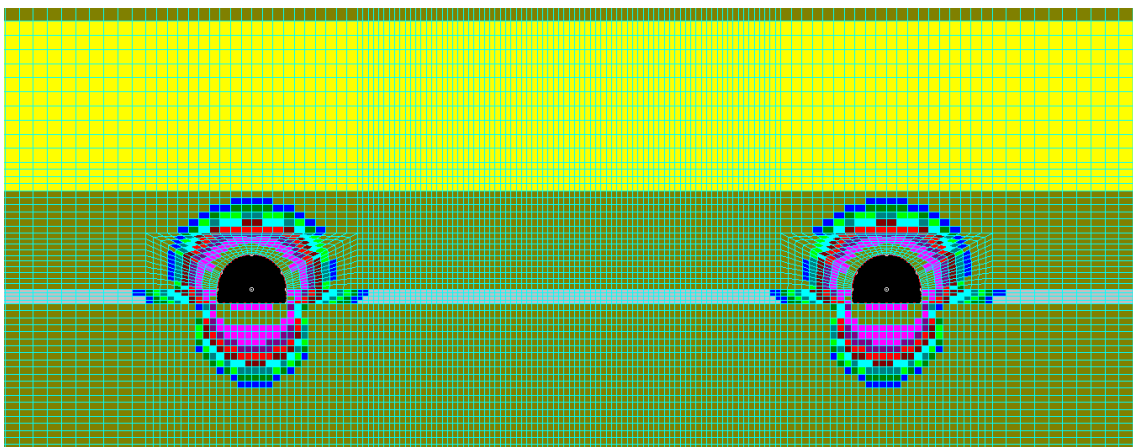


Рис. 5. Конфігурації зон непружних деформацій навколо виробок

Розрахунок величини \bar{K} здійснювався, як середньозважена сума коефіцієнтів запасу міцності на трьох характерних ділянках масиву: в межах зон непружних деформацій (I) і у центральній частині цілику (II) (рис. 6).

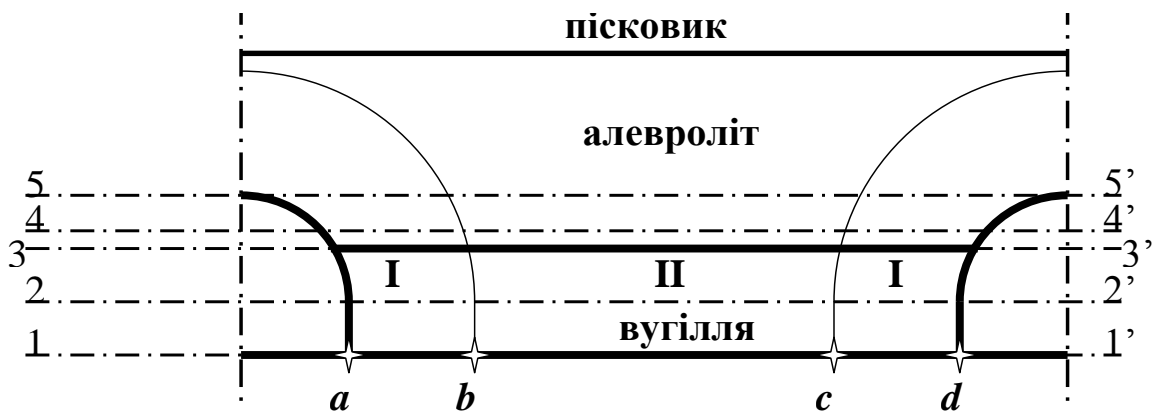


Рис. 6. Розрахункова схема до визначення коефіцієнту запасу міцності цілику

В свою чергу, у межах кожної з визначених ділянок шляхом розрахунку запасу міцності у точках масиву вздовж характерних вісей (1...5-1'...5') визначені за-

лежності розподілу точкового коефіцієнту запасу міцності k_3 (рис. 6), який визначався за формулою:

$$k_3 = \frac{R_C k_C}{\sigma_e}; \quad (1)$$

де R_C – межа міцності на одноосьове стиснення; k_C – коефіцієнт структурно-механічного ослаблення.

Аналіз отриманих залежностей дозволяє відзначити наступне:

- в межах зони непружних деформацій (ділянка I) коефіцієнт запасу міцності k_3 близький до одиниці;
- в центральній частині цілику розподіл величин k_3 описується поліномною функцією вигляду:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4. \quad (2)$$

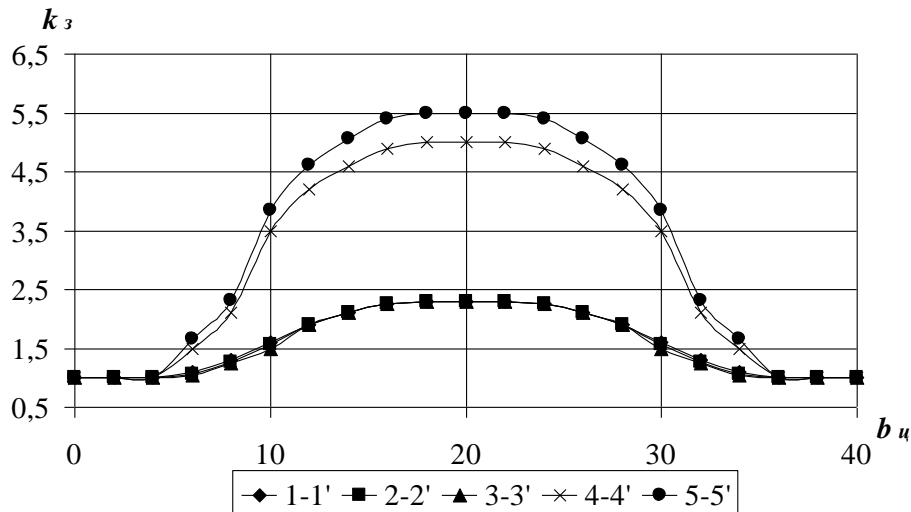


Рис. 7. Розподіл величини k_3 за шириною цілику

Шляхом розрахунку відношення інтегрування отриманих залежностей до ширини цілику були отримані значення \bar{K} (табл. 1), найменші з яких відповідають осям, що проходять вугільним пластом. При цьому розкид значень в межах пласта складає менше 1 % при будь-якій потужності вугільного пласту.

Таблиця 1

Розрахункові значення \bar{K} при потужності пласту вугілля $m_y=1$ м і ширині цілику $b_y=40$ м

Вісь	\bar{K}	Вісь	\bar{K}	Вісь	\bar{K}
1-1'	$\bar{K}_{1-1'} = 1,81$	2-2'	$\bar{K}_{2-2'} = 1,79$	3-3'	$\bar{K}_{3-3'} = 1,77$
4-4'	$\bar{K}_{4-4'} = 2,9$	5-5'	$\bar{K}_{5-5'} = 3,28$		

В подальшому оцінка запасу міцності на основі результатів чисельного моделювання для інших конфігурацій модельованого масиву виконувалась лише для горизонтального перерізу цілику (для плоскої задачі – вісі), що перетинає центра-

льну частину пласту. За вихідними даними моделювання отримані підсумкові залежності, що відображають ступінь впливу варійованих параметрів на величину \bar{K} (рис. 8, 9).

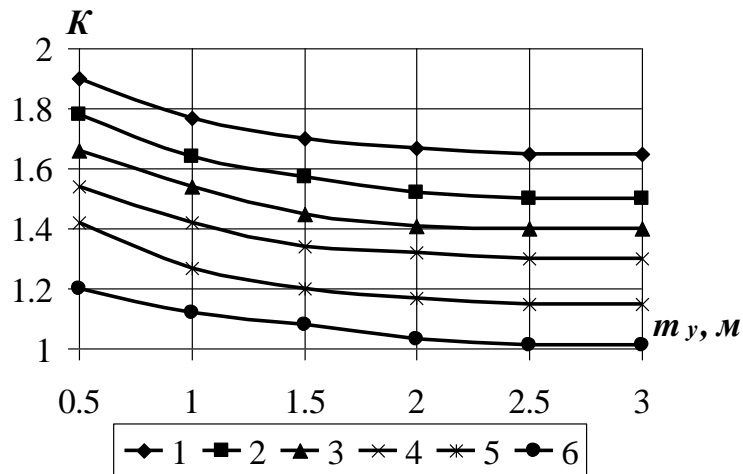


Рис. 8. Залежність усередненого значення коефіцієнту запасу міцності цілику \bar{K} від потужності вугільного пласту m_y при ширині цілику: 1. $b_u = 40$ м; 2. $b_u = 35$ м; 3. $b_u = 30$ м; 4. $b_u = 25$ м; 5. $b_u = 20$ м; 6. $b_u = 15$ м

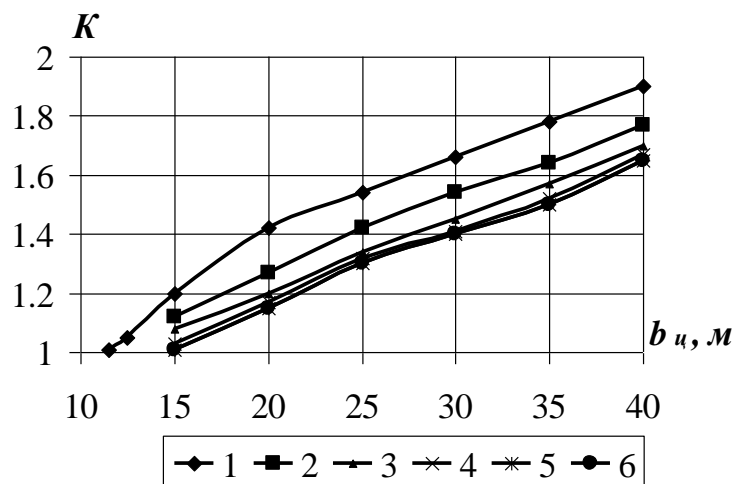


Рис. 9. Залежність усередненого значення коефіцієнту запасу міцності цілику \bar{K} від його ширини b_u при потужності вугільного пласту: 1. $m_y = 0,5$ м; 2. $m_y = 1,0$ м; 3. $m_y = 1,5$ м; 4. $m_y = 2,0$ м; 5. $m_y = 2,5$ м; 6. $m_y = 3,0$ м

Аналіз отриманих залежностей дозволяє зробити наступні висновки:

- коефіцієнт запасу міцності зменшується за експоненціальною залежністю у межах 15...20 % при збільшенні потужності вугільного пласту;

- при збільшенні ширини цілику величина \bar{K} зростає за лінійним законом і при досягненні мінімально допустимих розмірів цілику відповідно до нормативної методики ($b_u = 40$ м) запас міцності збільшується у 1,5...1,9 рази порівняно з мінімальним значенням.

При значеннях \bar{K} близьких до одиниці цілик знаходиться або у граничному або тією чи іншою мірою у зруйнованому стані, тому у залежності від потужності вугільного пласту мінімально припустима ширина цілику для заданих умов знаходиться у межах 11,5...15 м.

Виконані дослідження дозволяють визначити стан цілику та обґрунтувати його розмір, але для з'ясування міри впливу його геометричних параметрів на стійкість виробок, що охороняються, на другому етапі чисельного моделювання виконувались дослідження напружено-деформованого стану масиву навколо виробок у залежності від потужності міцного пласту порід покрівлі (пісковіку) m_n і відстані від нього до підшви вугільного пласту m_a .

Дослідження розподілу напружень і деформацій навколо виробок, пружнопластичної стійкості породного масиву та стійкості виробок за останній час виконані в роботах Н.П. Немчина, А.М. Лінькова, І.В. Баклашова, Б.А. Картозії, А.Г. Протосені, В.Т. Глушко, В.В. Віноградова, Р.М. Терещука, О.О. Сдвижкової, С.М. Гапєєва, О.В. Солодянкіна, О.М. Шашенка, В.І. Бузила.

Припустимою шириною цілику прийнята така ширина, при якій напруження, що виникають в порідному масиві навколо виробок не призводять до виникнення критичних зміщень точок контуру. У свою чергу, критичні зміщення визначаються відносним критичним радіусом зони непружних деформацій відповідно до формули проф. О.М. Шашенка, отриманою на основі біфуркаційної моделі здимання:

$$\overline{\varepsilon}_V r_l^{*2} \ln^2 r_l^* - 2 > 0 \quad (3)$$

де r_l^* – відносний критичний радіус зони непружних деформацій; ε_V – відносне об'ємне розпушення порід на контурі виробки.

Моделювання виконувалось для двох конфігурацій моделей, що вміщують системи «виробка-цілик-виробка» і «лава-цілик-виробка», приклади результуючих картин геометрії зон непружних деформацій яких навколо виробок надані на рис. 10.

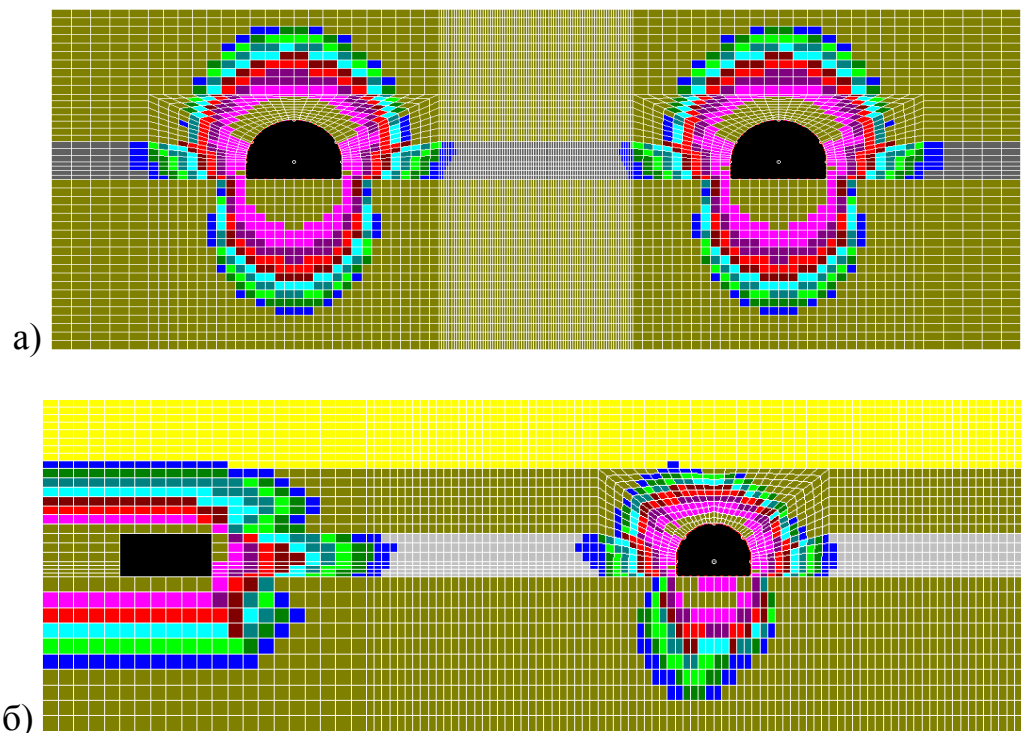


Рис. 10. Конфігурація зон непружних деформацій навколо виробок при:
а) $b_u=20$ м; $m_n=0$; б) $b_u=30$ м; $m_n=20$ м; $m_a=3$ м

Відповідно до цілей моделювання було сформовано понад 100 моделей, за результатами аналізу яких отримані залежності відносного радіусу непружних деформацій r_L і пов'язаних з ним виразом (4) відносних переміщень u від потужності пісковика m_n для різної величини потужності підстиляючого шару алевроліту, приклад однієї з яких надано на рис. 11.

$$u = \varepsilon_v \left(0,5 - \frac{r_L^2 \ln r_L}{r_L^2 - 1} \right), \quad (4)$$

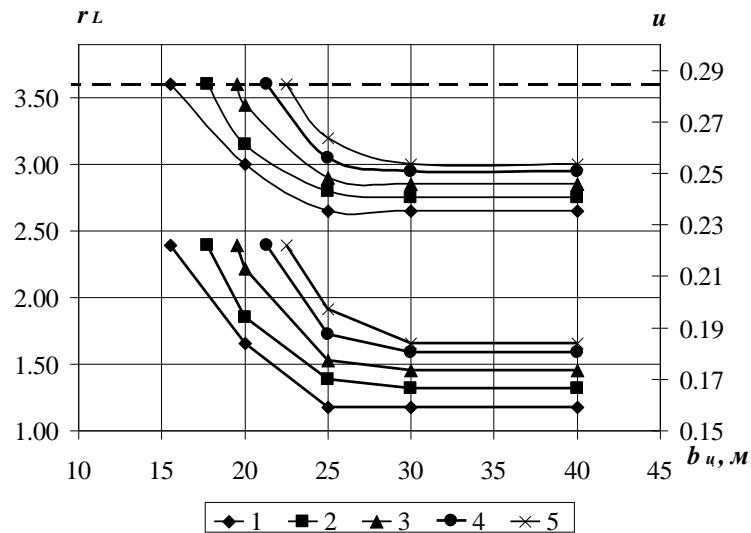


Рис. 11. Графік залежності відносного радіусу непружних деформацій r_L та відносних переміщень u від ширини цілика між лавою й ходком b_u при $m_n=20$ м.
1 – $m_a=5$ м; 2 – $m_a=10$ м; 3 – $m_a=15$ м; 4 – $m_a=20$ м; 5 – $m_a=25$ м, $m_n=0$ м

Усі залежності мають експоненціальний характер і стали основою для побудови підсумкових графіків, наведених на рис. 12, 13.

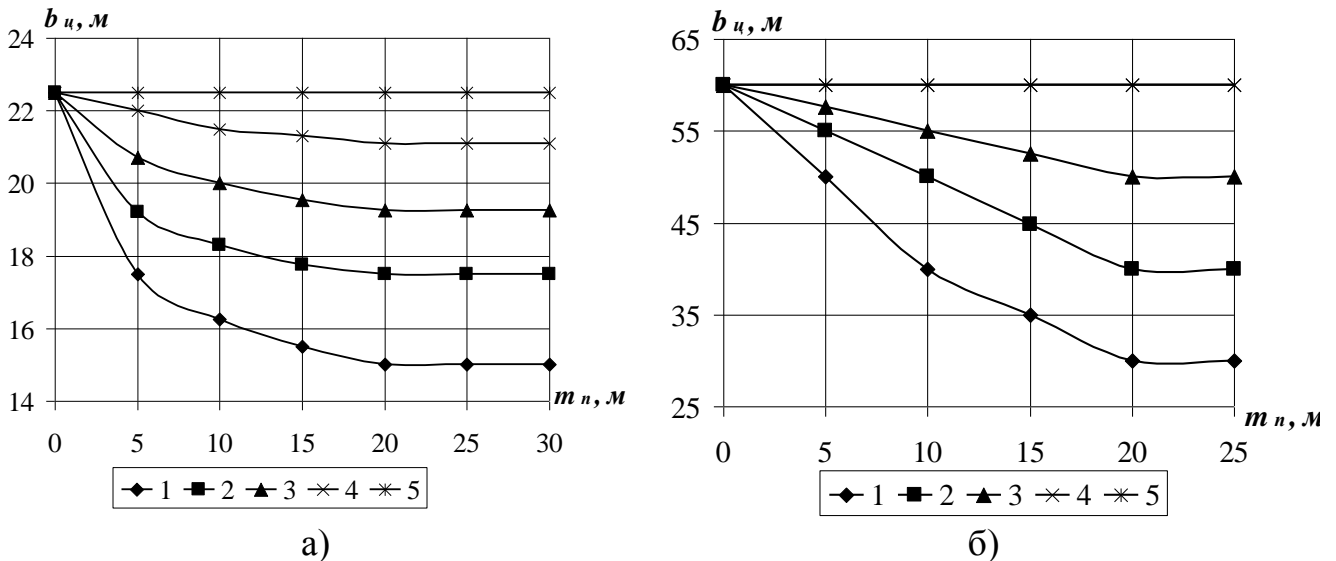


Рис. 12. Графіки залежності ширини цілика b_u від потужності пласту пісковика m_n для систем: а) «виробка-цілик-виробка», б) «виробка-цілик-лава»
1 – $m_a=5$ м, 2 – $m_a=10$ м, 3 – $m_a=15$ м, 4 – $m_a=20$ м, 5 – $m_a=25$ м

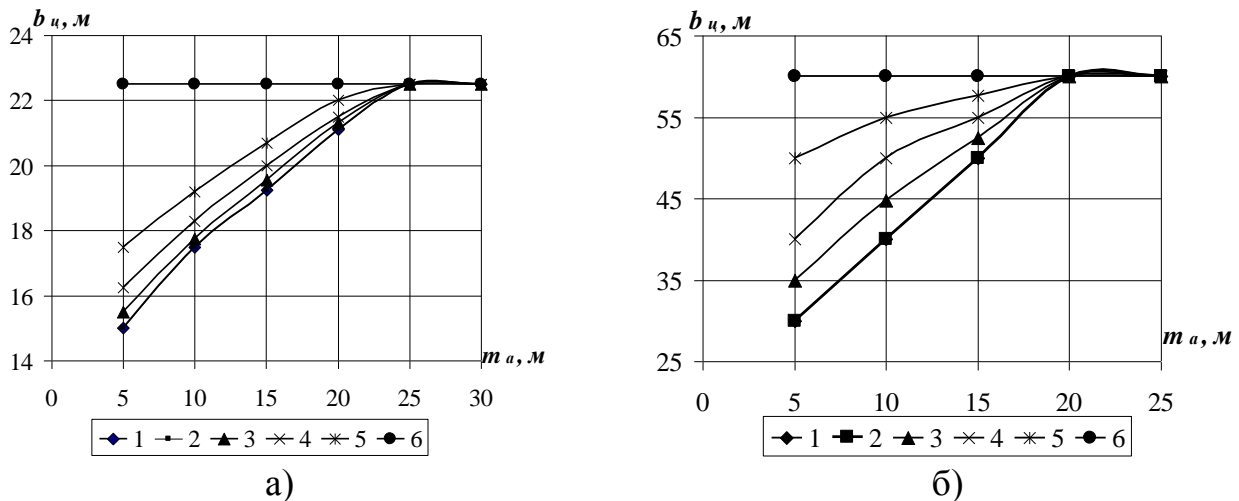


Рис. 13. Графіки залежності ширини цілика b_u від відстані між пластом пісковика й підшовою вугільного пласту m_a для систем: а) «виробка-цілик-виробка», б) «виробка-цілик-лава»

1 – $m_n=5$ м, 2 – $m_n=10$ м, 3 – $m_n=15$ м, 4 – $m_n=20$ м, 5 – $m_n=25$ м

Аналіз отриманих залежностей (рис. 11-13) показав наступне:

- незалежно від функціонального призначення цілику при зменшенні ширини цілику b_u величина відносного радіусу зони непружних деформацій r_L зростає за експоненціальним законом, сягаючи критичного значення в діапазоні $b_u=15\dots22,5$ м для системи «виробка-цілик-виробка» і $b_u=30\dots60$ м для системи «виробка-цілик-лава».

- для заданих гірничо-геологічних умов, вплив пласту пісковика у покрівлі вугільного пласту спостерігається при його потужності до $m_n=20$ м і при розташуванні на відстані до $m_a=20$ м. При віддаленні пісковика більше ніж на 20 м від вугільного пласта напружено-деформований стан породного масиву навколо виробок відповідає стану однорідного масиву. Залежності припустимої ширини цілику b_u від потужності пласту пісковика m_n та від відстані між ним й підшоною вугільного пласту описуються експоненціальними функціями.

Для перевірки висновків, отриманих при лабораторному і чисельному моделюванні відносно визначення раціональних геометричних параметрів ціликів були виконані натурні експерименти на ТДВ «Шахта Білозерська» безпосередньо в гірничо-геологічних умовах пласту l_8 при відпрацюванні 2-ої південної лави. Станції вимірів були закладені в похилому вантажному ходку, а спостереження за станом виробки виконувались протягом 60 діб з моменту призупинення лави.

Експериментально отримані величини переміщень близькі до розрахункових, отриманих при чисельному моделюванні, розкид результатів не перевищує 10 %. Задовільна збіжність аналітичних і натурних результатів підтверджує зроблені в роботі висновки щодо визначення припустимої ширини запобіжних ціликів в умовах ТДВ «Шахта Білозерська».

Виконані дослідження дозволили обґрунтувати економічну ефективність експериментального зменшення ціликів північного поля пласту l_8 , що дозволило отримати усереднений економічний ефект у розмірі 2,5 млн.грн/рік на кожний очисний вибій.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених для гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов ТДВ «Шахта Білозерська» встановлених закономірностей деформації контуру виробок, що охороняються запобіжними ціликами, та розподілу напружень в породному масиві навколо похилих виробок вирішена актуальна науково-технічна задача визначення припустимої ширини запобіжних ціликів, що має важливе значення для підвищення ефективності та безпеки гірничих робіт в умовах вугільних шахт.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Виконаний аналіз стану панельних похилих виробок ТДВ «шахти Білозерська», результати якого довели, що підвищити ефективність видобутку вугілля (зниження втрат вугілля в ціликах) можливо за рахунок обґрунтованого зменшення розмірів запобіжних ціликів з урахуванням впливу пласту пісковика в покрівлі.

2. Запропонована методика, адаптована до визначення запасу міцності ціликів вугільних шахт, за допомогою якої визначено, що залежність коефіцієнту запасу міцності складноструктурного цілику від потужності вугільного пласту носить експоненціальний характер, а для зазначених умов мінімальна ширина цілику складає 11,5...15 м.

3. Уперше для гірничо-геологічних умов ТДВ «Шахта Білозерська» визначені залежності зміни відносного радіусу непружних деформацій від ширини запобіжного цілику для двох характерних систем «виробка-цілик-виробка», «лава-цілик-виробка», які носять експоненціальний характер.

4. Вперше встановлено ступінь впливу пласту пісковика в покрівлі виробок і відстані від нього до подошви вугільного пласту, яка описується експоненціальними залежностями.

5. Для умов ТДВ «Шахта Білозерська» визначені діапазони ширини ціликів, які становлять 15...22,5 та 30...60 м для кожної з досліджуваних систем відповідно.

6. На основі досліджень обґрунтований економічний ефект, що досягається шляхом прирізки додаткових ділянок вугільних стовпів, склав 2,5 млн.грн/рік на кожний очисний вибій.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Григорьев А.Е. Проблемы устойчивости подготовительных выработок на шахте «Белозерская» ГХК «Добропольеуголь» / А.Е. Григорьев, С.Н. Гапеев, С.В. Кужель [и др.] // Наукові праці ДонНТУ. Серія: гірничо-геологічна. – 2002. – Вип. 54. – С.137-142.
2. Григор'єв О.Є. Фізичне моделювання вміщуючого породного масиву на моделях з еквівалентних матеріалів для гірничо-геологічних умов виробок шахти «Білозерська» / О.Є. Григор'єв, О.В. Скобенко, С.Я. Іванчишин // Сб. науч. трудов НГУ. – 2003. – №17. – С.356-359.

3. Григорьев А.Е. Моделирование системы «Протяженная выработка-целик-протяженная выработка» на эквивалентных материалах / А.Е. Григорьев // Известия Тульского государственного университета. Серия «Геомеханика. Механика подземных сооружений». – 2003. – Вып. 1. – С. 73-77.
4. Григорьев А.Е. К вопросу об охране наклонных выработок на шахте «Белозерская» ГП «Добропольеуголь» / А.Е. Григорьев // Наукові праці ДонНТУ. Серія: гірничо-геологічна. – 2004. – Вип. 72. – С.74-76.
5. Григорьев А.Е. Обоснование ширины целиков, охраняющих капитальные панельные горные выработки, с использованием метода конечных элементов. / А.Е. Григорьев // Зб. наук. праць НГУ. – 2010. – №34. – С.125-133.
6. Григорьев А.Е. Моделирование системы «выработанное пространство-целик-протяженная выработка» / А.Е. Григорьев // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Вып. 9: Материалы междунар. научн.-технич. конф. 14-16 апр. 2003 г.: тезисы докл. – Донецк: «Норд-Пресс», 2003. – С.46.
7. Григорьев А.Е. Компьютерное моделирование предельного напряженного состояния угольного пласта при отработке лав / А.Е. Григорьев, А.С. Иванов // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Вып. 10: Материалы междунар. научн.-технич. конф. 13-15 апр. 2004 г.: тезисы докл. – Донецк: «Норд-Пресс», 2004. – С.50-51.
8. Григорьев А.Е. Определение геометрических параметров зоны неупругих деформаций в окрестностях очистной выработки методом численного моделирования / А.Е. Григорьев, Д.М. Логунов, М.Г. Дятленко // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Вып. 11: Материалы междунар. научн.-технич. конф. 11-13 апр. 2005 г.: тезисы докл. – Донецк: «Норд-Пресс», 2005. – С.43-45.
9. Григорьев А.Е. Обоснование геометрических параметров охранных угольных целиков / А.Е. Григорьев, М.А. Выгодин, И.Ю. Старотиторов // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Вып. 11: Материалы междунар. научн.-технич. конф. 12-14 апр. 2006 г.: тезисы докл. – Донецк: «Норд-Пресс», 2006. – С.51-52.
10. Григорьев А.Е. Исследование степени влияния горно-геологических русловий на устойчивость ленточных охранных целиков / А.Е. Григорьев // Перспективи освоєння підземного простору. Вип. 1. Матеріали науково-практичної конференції. 18-20 апр. 2007 г.: тезисы докл. – Д.: РВК НГУ. – 2007. – С.21-22.
11. Григор'єв О.Є. Визначення геометричних параметрів охоронних ціликів за результатами моделювання на еквівалентних матеріалах / О.Є. Григор'єв // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників-2008». Том 2. 13-15 окт. 2008 г.: докл. – Д.: РВК НГУ. – 2008. – С. 199-201.

Особистий внесок здобувача в роботах, написаних у співавторстві: [1] – висвітлення проблем щодо втрат вугілля у запобіжних ціликах; [2] – фізичне моделювання системи «виробка-цілик-виробка» методом еквівалентних матеріалів; [7, 8] – розробка методики, виконання та аналіз результатів чисельного моделювання.

АНОТАЦІЯ

Григор'єв О.Є. Обґрунтування параметрів запобіжних ціликів капітальних гірничих виробок в умовах вугільних шахт. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.04 – "Шахтне та підземне будівництво". Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет", Дніпропетровськ, 2011.

У дисертації на основі вперше встановлених для гірничо-геологічних умов ТДВ "Шахта Білозерська" закономірностей зміни напружено-деформованого стану породного масиву навколо капітальних похилих виробок, вирішена актуальна науково-технічна задача визначення припустимих розмірів запобіжних ціликів.

На моделях з еквівалентних матеріалів встановлені закономірності зміни конвергенції для двох капітальних виробок, розділених ціликом, залежно від його ширини. Залежності зміни конвергенції від потужності пласта пісковика в покрівлі та відстані від нього до підшови вугільного пласта описуються експоненціальними функціями, а найменші зміщення контуру характерні для моделей, в яких пласт пісковика розташовується безпосередньо в покрівлі вугільного пласта.

На основі математичного моделювання методом скінчених елементів уперше для гірничо-геологічних умов шахти встановлені закономірності розподілу напружень в межах цілику.

Виявлені закономірності зміни розмірів області непружних деформацій навколо виробок залежно від потужності пласта пісковика в покрівлі і відстані від нього до підшови вугільного пласта, що носять експоненціальний характер. Визначені граничні розміри зони непружних деформацій навколо виробок, зміна яких залежить від параметрів складноструктурного породного масиву, що дозволило побудувати відповідні залежності.

Обґрунтована економічна ефективність експериментального зменшення розмірів ціликів між лавою і ходком, що склала 2,5 млн.грн./рік на один очисний вибій.

Ключові слова: запобіжний цілик, капітальні похилі гірничі виробки, зона непружних деформацій, коефіцієнт запасу міцності, стійкість виробки.

АННОТАЦИЯ

Григорьев А.Е. Обоснование параметров предохранительных целиков капитальных горных выработок в условиях угольных шахт. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.04 – «Шахтное и подземное строительство». Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2011.

В диссертации на основе впервые установленных для горно-геологических условий ТДО «Шахта Белозерская» закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности капитальных на-

клонных выработок, решена актуальная научно-техническая задача определения допустимых размеров предохранительных целиков, охраняющих выработки от взаимного влияния и от влияния опорного давления впереди очистных выработок.

На основании анализа результатов инструментального наблюдения за состоянием уклона и ходков пласта l_8 горизонта 550 м, а также горно-геологических условий их заложения, установлено, что интенсивность проявления горного давления, выражающегося в виде уменьшения высоты выработок, оказывается существенно ниже на тех участках, над которыми в основной кровле залегает мощный (до 22 м) пласт песчаника, крепость которого в 1,5...2 раза выше иных вмещающих породных пластов.

На моделях из эквивалентных материалов установлены закономерности изменения конвергенции для двух капитальных выработок, разделенных целиком, в зависимости от его ширины. Развитие деформационных процессов в моделях отличается в зависимости от ширины целика, мощности пласта песчаника в кровле и расстояния от него до почвы угольного пласта. Смещения точек контура выработок возрастают при уменьшении размеров целика. Увеличение мощности песчаника или приближение его к угольному пласту приводит к снижению величины конвергенции в выработках. Зависимости изменения конвергенции от указанных параметров описываются экспоненциальными функциями, а наименьшие смещения контура характерны для моделей, в которых пласт песчаника располагаемый непосредственно в кровле угольного пласта имеет мощность 18 м и более.

На основе математического моделирования методом конечных элементов впервые для горно-геологических условий ТДО «Шахта Белозерская» установлены закономерности распределения напряжений в пределах целика, допустимые размеры которого обоснованы с использованием адаптированной для особенностей напряженно-деформированного состояния породного массива угольных шахт методики определения коэффициента запаса прочности. Определены диапазоны минимальных размеров сложноструктурного предохранительного целика в зависимости от мощности угольного пласта, которые для заданных условий варьируются в пределах 11,5...15 м для двух выработок, разделенных целиком.

На численных моделях выявлены закономерности изменения размеров области неупругих деформаций в зависимости от мощности пласта песчаника в кровле и расстояния от него до почвы угольного пласта, носящие экспоненциальный характер, для двух характерных ситуаций шахты: «выработка-целик-выработка» и «лава-целик-выработка». На основании бифуркационной теории пучения определены граничные размеры зоны неупругих деформаций вокруг выработок, рост которых наблюдается при уменьшении ширины целика, удалении мощного слоя песчаника от угольного пласта или уменьшении его размеров, что позволило построить соответствующие зависимости. В зависимости от горно-геологических условий, характерных для шахты, рекомендуемая ширина предохранительного целика между двумя капитальными выработками составляет 15...22,5 м, между лавой и капитальной выработкой – 30...60 м.

Сравнение результатов измерения смещений точек контура выработок на замерных станциях и рассчитанных на основании численного моделирования показывает достаточно высокую сходимость (разброс менее 10 %).

Обоснована экономическая эффективность экспериментального уменьшения размеров целиков между лавой и ходком, составившая 2,5 млн.грн./год на одну очистную забой.

Ключевые слова: предохранительный целик, капитальные наклонные горные выработки, зона неупругих деформаций, коэффициент запаса прочности, устойчивость выработки.

THE SUMMARY

Grigoriev O.E. Substantiation of parameters of capital workings' protective pillars in a coal mine. - Manuscript.

The dissertation of obtaining a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences in speciality 05.15.04 – «Mine and Underground Construction». The State higher education institution «National Mining University», Dnipropetrovsk, 2011.

On the base of laws of change of the stress-strain state of rock mass around the capital inclined workings, defined for the first time for mining and geological conditions of Belozerskaya Mine an urgent task of determining the acceptable size of safety pillars is decided.

On models with equivalent materials the character of convergence change for the two capital workings separated by the pillar, depending on his width is determined. Dependences of convergence change on thickness of sandstone seam in the roof and distance from him to the foot coal seam are described by exponential functions, and the smallest contour displacements are characteristic ones for models, in which the sandstone layer is positioned directly in the roof of the coal seam.

Based on mathematical modeling of the finite element method, for the first time the regularities of stress distribution within the barrier are established for mining and geological conditions of the mine.

The regularities of resize region of inelastic deformation depending on thickness of sandstone seam in the roof and distance from it to the foot of coal seam, which are exponential in nature, are detected. Determined limits of inelastic deformation zone around the workings, a change of which is under the parameters of rock mass, that allowed building the appropriate dependencies.

The effectiveness of experimental reducing the size of safety barriers between longwall and pass was 2.5 mln. Hryvnias /year for the one face.

Keywords: safety barrier, capital inclined mine workings, zone of non-elastic deformation, load factor, stability of working.

ГРИГОР'ЄВ Олексій Євгенович

**Обґрунтування параметрів запобіжних ціликів
капітальних гірничих виробок в умовах вугільних шахт**

(Автореферат)

**Підписано до друку 26.09.2011. Формат 30x42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Умов. друк. арк. 0,9.
Обліково-видавн.арк.0,9.
Тираж 120 прим. Замовлення №**

**Державний ВНЗ «Національний гірничий університет».
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.**